

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Análise das condições de gestão de produtos químicos em uma Instituição
Federal de Ensino Superior**

Iara de Lys Andrade
Doctor Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026**

IARA DE LYS ANDRADE

**Análise das condições de gestão de produtos químicos em uma Instituição
Federal de Ensino Superior**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Biotecnologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Claudio L. M. de Siqueira

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A553a
2026
Andrade, Iara de Lys, 1984-
Análise das condições de gestão de produtos químicos em
uma Instituição Federal de Ensino Superior / Iara de Lys
Andrade. – Viçosa, MG, 2026.
1 dissertação eletrônica (231 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexos.

Inclui apêndices.

Orientador: Cláudio Lísias Mafra de Siqueira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, 2026.

Referências bibliográficas: f. 202-2012.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.127>

1. Substâncias perigosas – Gerenciamento. 2.
Biossegurança – Laboratórios. 3. Gestão de riscos – Instituições
de ensino. 4. Rastreabilidade – Produtos químicos. 5. Segurança
química – Custódia. 6. Resíduos químicos – Descarte. 7.
Controle de substâncias químicas perigosas. 8. Pesquisa
científica – Riscos de segurança. 9. Laboratórios – Segurança..
I. Siqueira, Cláudio Lísias Mafra de, 1965-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Bioquímica e Biologia
Molecular. Doutorado em Bioquímica e Biotecnologia.
III. Título.

CDD 22. ed. ? 363.1784

IARA DE LYS ANDRADE

**Análise das condições de gestão de produtos químicos em uma Instituição
Federal de Ensino Superior**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Biotecnologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2026.

Assentimento:

Iara de Lys Andrade
Autora

Claudio Lisias Mafra de Siqueira
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pela autora em 29/03/2026 às 16:59:25 e pelo orientador em 30/03/2026 às 08:58:15. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **CO44.GX1R.GMX1** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Início reconhecendo, com humildade e reverência, a presença amorosa de Deus em cada passo desta trajetória — pela vida, pela saúde e pelas bênçãos que me sustentaram nos momentos de desafio e de conquista.

Aos meus pais, Imaculada e Joaquim, alicerces da minha existência, deixo minha gratidão mais profunda pelo amor incondicional, pela retidão de valores e pelo exemplo silencioso de coragem que me acompanha desde sempre.

Aos meus avós queridos — Francisco Romano, Ricardina, Maria de Lys e Geraldo Brandão — em memória carinhosa, agradeço pela formação afetiva e ética que moldou minha essência e segue iluminando meu caminho.

Aos meus filhos, Thiago e Letícia, agradeço pelo amor que me revigora, pela paciência nos períodos de ausência e pela fé inabalável nos meus sonhos. Vocês são a minha motivação diária e o meu norte.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cláudio Mafra, registro minha imensa gratidão pela oportunidade de concretizar este projeto. Sua generosidade intelectual, rigor acadêmico e presença serena foram determinantes para a maturação desta pesquisa, assim como o apoio e o incentivo para desenvolver uma visão mais crítica e robusta além da confiança constante nas decisões que precisei tomar ao longo do caminho.

À professora Dra. Denise Bazzolli, expresso especial agradecimento pelo carinho constante, pela atenção cuidadosa e por ter sido meu firme ponto de apoio ao longo desta jornada. Sua escuta, confiança e incentivo, muitas vezes nos bastidores, fortaleceram-me nos momentos decisivos e contribuíram de modo substancial para a realização deste trabalho.

À minha querida professora de italiano, Marianna Schneider, agradeço pelo incentivo e pela dedicação que me permitiram apresentar este projeto no exterior, cuidando de cada detalhe e dando-me a confiança necessária para que este sonho se concretizasse.

Agradeço, ainda, a cada servidor e colaborador que compartilhou tempo e conhecimento na construção desta pesquisa — em especial a Ulisses Bifano, Renan de Almeida e a toda a equipe da Diretoria de

Gerenciamento de Resíduos — pelas trocas técnicas, pelo profissionalismo e pela parceria nas etapas de campo.

Estendo minha gratidão a todas as pessoas que, de algum modo, cruzaram o meu caminho ao longo desta jornada, inspirando, encorajando e contribuindo para a minha formação acadêmica e humana.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Aplicada, agradeço pela oportunidade de formação e pelo apoio institucional, que foram essenciais para a consecução deste estudo.

Por fim, registro o apoio institucional recebido da CAPES no âmbito do Programa de Cooperação Acadêmica em Defesa Nacional (CAPES/PROCAD-DEFESA). A pesquisa integra o projeto “Gestão e Governança em Biossegurança”, uma iniciativa da CAPES e do Ministério da Defesa, Brasil (número de concessão CAPES 88881.682224/2022-01).

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

“O essencial é invisível aos olhos”.
(Antoine de Saint-Exupéry)

RESUMO

ANDRADE, Iara de Lys, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2026. **Análise das condições de gestão de produtos químicos em uma Instituição Federal de Ensino Superior.** Orientador: Claudio Lisias Mafra de Siqueira.

As Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) utilizam rotineiramente produtos químicos perigosos e, em alguns casos, com potencial de uso duplo em atividades de ensino, pesquisa e extensão. Entretanto, a governança associada às etapas de aquisição, armazenamento, uso e descarte desses insumos tende a ocorrer de forma fragmentada, em razão da sobreposição de competências institucionais, da inexistência de regulamentação específica voltada aos laboratórios de ensino e pesquisa, da heterogeneidade da cultura de segurança e da limitada rastreabilidade dos materiais. Esse cenário pode resultar em riscos ambientais, ocupacionais e institucionais, além de gerar passivos legais e financeiros. Este estudo avaliou a gestão do ciclo de vida de produtos químicos — da aquisição ao descarte final — em uma IFES brasileira, cotejando práticas institucionais com referenciais técnico-legais nacionais e internacionais. A pesquisa teve caráter aplicado, exploratório e descritivo, adotando métodos mistos que integraram análise documental de registros institucionais, visitas técnicas a laboratórios e aplicação de formulário eletrônico. O universo da pesquisa compreendeu 275 laboratórios, tendo sido obtidas 35 respostas válidas (12,7%), concentradas no campus sede da instituição, o que reforça o caráter diagnóstico do estudo. No campo conceitual, o trabalho dialoga com a noção de uso duplo no contexto acadêmico e com o conceito de Dual Use Research of Concern (DURC), adotado de forma ampliada para o domínio da química, considerando que os principais riscos decorrem do acesso, da gestão e da custódia de produtos químicos sensíveis. A análise fundamenta-se nos princípios da biossegurança e da governança institucional de riscos, utilizando como referenciais a ISO 19011:2018, a ISO 15190:2020, a ISO/IEC 17025:2017 e a ISO 31000:2018, em articulação com normas ambientais, ocupacionais e sanitárias aplicáveis. Os resultados evidenciam fragilidades estruturais na rastreabilidade dos produtos químicos, na integração dos sistemas institucionais de aquisição e controle e na consolidação de uma cultura de segurança. Como encaminhamento, o estudo recomenda a padronização das práticas de gestão química, a integração dos sistemas institucionais de compras e inventário, o fortalecimento da custódia e a informatização dos processos de descarte de resíduos químicos, contribuindo para a

governança responsável da ciência, a sustentabilidade institucional e a resiliência das IFES.

Palavras-chave: biossegurança; gestão de produtos químicos; biocustódia; rastreabilidade; uso duplo; DURC

ABSTRACT

ANDRADE, Iara de Lys, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2026. **Analysis of the management conditions of chemical products in a Federal Institution of Higher Education.** Adviser: Claudio Lisias Mafra de Siqueira.

Federal Higher Education Institutions (IFES) routinely use hazardous chemical products and, in some cases, substances with dual-use potential in teaching, research, and extension activities. However, governance related to the stages of acquisition, storage, use, and disposal of these materials tends to occur in a fragmented manner, due to overlapping institutional responsibilities, the absence of specific regulations tailored to teaching and research laboratories, heterogeneity in safety culture, and limited material traceability. This scenario may result in environmental, occupational, and institutional risks, as well as generate legal and financial liabilities. This study assessed the management of the chemical product life cycle — from acquisition to final disposal — in a Brazilian IFES, comparing institutional practices with national and international technical-legal frameworks. The research adopted an applied, exploratory, and descriptive approach, using mixed methods that integrated documentary analysis of institutional records, technical laboratory visits, and the administration of an electronic survey instrument. The study population comprised 275 laboratories, from which 35 valid responses were obtained (12.7%), primarily concentrated at the institution's main campus, reinforcing the diagnostic nature of the study. Conceptually, the research engages with the notion of dual use in the academic context and with the concept of Dual Use Research of Concern (DURC), expanded here to the chemical domain, considering that the principal risks arise from access to, management of, and custody over sensitive chemical substances. The analysis is grounded in the principles of biosafety and institutional risk governance, using ISO 19011:2018, ISO 15190:2020, ISO/IEC 17025:2017, and ISO 31000:2018 as reference frameworks, articulated with applicable environmental, occupational, and sanitary regulations. The findings reveal structural weaknesses in chemical traceability, institutional integration of procurement and control systems, and consolidation of a safety culture. As a forward-looking recommendation, the study proposes the standardization of chemical management practices, integration of institutional procurement and inventory systems, strengthening of biocustody mechanisms, and digitalization of chemical waste disposal processes, thereby contributing to responsible governance of science,

institutional sustainability, and the resilience of Federal Higher Education Institutions.

Keywords: biosafety; chemical product management; biocustody; traceability; dual use; DURC

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Frequência de produtos químicos por centro/departamento, com predominância de substâncias não controladas e presença de itens sob regulação da Polícia Federal, normas estaduais e Exército Brasileiro, indicando maior concentração de produtos regulados em unidades com maior acervo 118
- Figura 2 – Distribuição de produtos químicos com e sem potencial de uso dual por departamento, evidenciando concentração de substâncias sensíveis em unidades específicas e maior necessidade de controle e rastreabilidade 123
- Figura 3 – Distribuição de produtos químicos por classes de perigo do GHS associadas ao potencial de uso dual, com maior proporção de substâncias críticas nas categorias inflamável, corrosivo e oxidante 126
- Figura 4 – Frequência dos principais produtos químicos utilizados nos laboratórios, destacando substâncias recorrentes com relevância regulatória e elevado potencial de uso dual 131
- Figura 5 – Proporção de produtos químicos com e sem potencial de uso dual no inventário laboratorial, evidenciando presença significativa de substâncias críticas no contexto acadêmico 136
- Figura 6 – Distribuição de produtos químicos por centro/departamento segundo categoria regulatória, com concentração de substâncias controladas em unidades específicas e assimetria no perfil de risco institucional 138
- Figura 7 – Distribuição desigual de produtos químicos entre departamentos, com coexistência de substâncias controladas e não controladas e maior complexidade de governança em unidades com maior acervo 140
- Figura 8 – Distribuição percentual de produtos químicos segundo classes de perigo do GHS associadas ao uso dual, com predominância de substâncias não classificadas e presença relevante de inflamáveis, corrosivos e tóxicos 142
- Figura 9 – Distribuição de substâncias com potencial de uso dual por grupo químico, com destaque para solventes orgânicos, ácidos/oxidantes e metais pesados como categorias de maior risco 146
- Figura 10 – Distribuição do inventário químico por classes de perigo do GHS e grau de risco, evidenciando predominância de itens não classificados e presença de substâncias críticas de alta severidade 150
- Figura 11 – Distribuição de produtos químicos por centro/departamento segundo classificação de risco do GHS, com concentração de substâncias críticas em unidades de maior intensidade experimental 162
- Figura 12 – Classificação dos produtos químicos segundo níveis de potencial de uso dual associados às classes de perigo do GHS, evidenciando presença de substâncias com diferentes graus de criticidade 166

Figura 13 – Distribuição de produtos químicos segundo classificação de risco do GHS, com predominância de substâncias corrosivas, tóxicas e inflamáveis de maior impacto ocupacional e ambiental	168
Figura 14 – Distribuição de produtos químicos segundo órgãos de controle regulatório, evidenciando fragmentação normativa e coexistência de diferentes regimes de fiscalização	174
Figura 15 – Distribuição de produtos químicos segundo categorias de risco (alto, médio, baixo e não classificado), com predominância de substâncias de alta periculosidade e lacunas de classificação	176
Figura 16 – Frequência dos dez produtos químicos mais recorrentes nos laboratórios, destacando ácidos minerais e solventes orgânicos associados a riscos ocupacionais e potencial de uso dual	181
Figura 17 – Comparação entre produtos químicos registrados em sistemas laboratoriais e administrativos, evidenciando inconsistências e falhas na rastreabilidade institucional	183
Figura 18 – Distribuição dos procedimentos de biossegurança por departamento, com alta adesão a EPI básicos e baixa implementação de treinamentos e inspeções formais	186

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Grupos de substâncias em relação aos termos de uso dual ilícito e de impacto ambiental	149
Quadro 2 – Marcos internacionais relevantes e implicações para a governança universitária (CAQ/OPCW, UNSCR 1540, SAICM, Agenda 2030, WHO 2020 e Australia Group) como referência técnica	219
Quadro 3 — Mapa regulatório nacional aplicável à gestão de químicos em IFES: ocupacional; ambiental; sanitário; controlados; transporte; normas ABNT, com exemplos de implicações práticas e “pontos de fricção” para IFES.....	220

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de resposta dos laboratórios	114
Tabela 2 – Perfil dos respondentes segundo a função	116

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CAB	Convenção sobre Armas Biológicas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAQ	Convenção de Armas Químicas
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CEPA	<i>Canadian Environmental Protection Act</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNS	Conselho Nacional de Saúde
CoC	Cadeia de Custódia
COLOG	Comando Logístico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CR	Certificado de Registro
CRW	<i>Chemical Reactivity Worksheet</i>
CTF/APP	Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras
CTNBio	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
CWMP	<i>Chemical Waste Management Program</i>
DAM	Diretoria de Meio Ambiente
DEA	Drug Enforcement Administration
DMT	Diretoria de Material
DTI	Diretoria de Tecnologia da Informação
DURC	<i>Dual Use Research of Concern</i>
EB	Exército Brasileiro
ECHA	<i>European Chemicals Agency</i>
ECFR	<i>Electronic Code of Federal Regulations</i>
EHRS	<i>Environmental Health & Radiation Safety</i>
EMCDDA	<i>European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPCs	Equipamentos de Proteção Coletiva

EPIs	Equipamentos de Proteção Individual
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
FACEV	Fundação Artística, Cultural e de Educação para a Cidadania de Viçosa
FDS	Ficha de Dados de Segurança
FDSR	Ficha com Dados de Segurança de Resíduos
Fiocruz	Fundação Oswaldo Cruz
FISPQ	Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FUNARBE	Fundação Arthur Bernardes
FSAP	Federal Select Agent Program
GHS	Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos
GLP	<i>Good Laboratory Practice</i>
HEPA	<i>High Efficiency Particulate Air</i>
HHS	<i>Health and Human Services</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBC	Comitês de Biossegurança Institucional
IFES	Instituições Federais de Ensino Superior
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LBM	<i>Laboratory Biosafety Manual</i>
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MJSP	Ministério da Justiça e Segurança Pública
MPOG	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
MS	Ministério da Saúde
NASEM	National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine
NB	Nível de Biossegurança
NBR	Norma Brasileira
NFPA	<i>National Fire Protection Association</i>
NR	Norma Regulamentadora
NSABB	<i>National Science Advisory Board for Biosecurity</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>

OGMs	Organismos Geneticamente Modificados
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAQ	Organização para a Proibição de Armas Químicas
OPCW	<i>Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons</i>
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PAD	Pró-Reitoria de Administração
PC	Polícia Civil
PCB	Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança
PCE	Produtos Controlados pelo Exército
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PF	Polícia Federal
PGC	Plano de Gestão de Contratações
PGR	Programa de Gerenciamento de Riscos
PGRQ	Planos de Gerenciamento de Resíduos Químicos
PGRS	Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
PQC	Produtos Químicos Controlados
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
REACH	<i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
SAICM	<i>Strategic Approach to International Chemicals Management</i>
SEI	Sistema Eletrônico de Informações
SIASG	Sistema de Compras do Governo Federal
SIC	Serviço de Informação ao Cidadão
SIF	Sociedade de Investigações Florestais
SIPAC	Sistema Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos
SIPROQUIM	Sistema de Controle e Fiscalização de Produtos Químicos
SISCOFIS	Sistema de Controle Físico
SNGPC	Sistema Nacional de Gerenciamento de Produtos Controlados
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde

TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)
TLVs	<i>Threshold Limit Values</i>
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFPA	Universidade Federal de Lavras
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNECE	<i>United Nations Economic Commission for Europe</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNODA	<i>United Nations Office for Disarmament Affairs</i>
UNODC	<i>United Nations Office on Drugs and Crime</i>
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USP	Universidade de São Paulo
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	28
2.1 Gestão de produtos químicos em laboratórios universitários: escopo e relevância	28
2.2 Conceitos estruturantes: biossegurança, bioproteção e proteção institucional.....	29
2.3 Governança e gestão de riscos: ISO 31000 e interfaces com sistemas de gestão	30
2.4 Marcos internacionais: desarmamento, não proliferação, responsabilidade e sustentabilidade	31
2.5 Marcos regulatórios nacionais: fragmentação normativa e desafios de implementação em IFES.....	32
2.4.1 Camada ocupacional e comunicação de perigos: NR e GHS como base mínima, porém insuficiente	33
2.4.2 Camada ambiental e gestão de resíduos: PNRS e desafios estruturais em IFES.....	34
2.4.3 Camada sanitária: RDC 222/2018 e interfaces com rotinas laboratoriais	35
2.4.4 Normas técnicas ABNT e o papel da padronização operacional	35
2.4.5 Substâncias controladas: multiplicidade de órgãos, bases e exigências	36
2.4.6 Transporte e movimentação interna: lacuna operacional frequente.....	37
2.4.7 O problema das “múltiplas portas de entrada” e o efeito sobre governança	37
2.4.8 Síntese: por que a fragmentação regulatória demanda um modelo institucional integrador	38
2.5 Inventário, rastreabilidade e sistemas de gestão: do controle local ao controle institucional	39
2.5.1 O inventário como ferramenta de gestão de risco	39
2.5.2 Controle local versus visão institucional: limitações recorrentes	40
2.5.3 Rastreabilidade como extensão do inventário	40
2.5.4 Inventário digital e integração com processos administrativos.....	41
2.5.5 Inventário “por frasco” e níveis de criticidade	42
2.5.6 Auditoria, reconciliação e confiabilidade dos dados.....	42
2.5.7 Inventário, resíduos e prevenção de passivos.....	43
2.5.8 Desafios específicos em IFES brasileiras.....	43
2.5.9 Síntese: inventário como eixo estruturante da governança institucional	44

2.6 Armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos: fundamentos técnicos e implicações para a governança institucional	44
2.6.1 Armazenamento como prática técnica e indicador de maturidade institucional	44
2.6.2 Compatibilidade química e prevenção de riscos sistêmicos	45
2.6.3 Comunicação de perigos: rotulagem, GHS e FDS/FISPQ	46
2.6.4 Armazenamento, comunicação e cultura de biossegurança	47
2.6.5 Relação com inventário, rastreabilidade e biocustódia	47
2.6.6 Implicações para a definição de objetivos e hipóteses da tese	48
2.6.6 Síntese: da prática técnica ao diagnóstico institucional	48
2.7 Resíduos químicos, sustentabilidade e o problema dos “resíduos passivos” em instituições universitárias	48
2.7.1 Resíduos químicos como parte integrante do ciclo de vida	49
2.7.2 Sustentabilidade e gestão de produtos químicos em universidades	49
2.7.3 Resíduos passivos: definição e relevância para a governança institucional	50
2.7.4 Implicações ambientais, ocupacionais e financeiras dos resíduos passivos	50
2.7.5 Marcos normativos e diretrizes aplicáveis à gestão de resíduos químicos	51
2.7.6 Relação entre resíduos, inventário e rastreabilidade	51
2.7.7 Resíduos químicos e cultura organizacional	52
2.7.8 Implicações para os objetivos e hipóteses da pesquisa	52
2.8 Cultura de biossegurança, treinamento e fatores humanos em laboratórios acadêmicos	53
2.8.1 Cultura de biossegurança: conceito e evolução	53
2.8.2 Fatores humanos e o ambiente universitário	54
2.8.3 Treinamento como eixo estruturante da governança	54
2.8.4 Cultura reativa versus cultura preventiva	55
2.8.5 Relação entre cultura, inventário e rastreabilidade	55
2.8.6 Governança, liderança e responsabilidade institucional	56
2.8.7 Cultura de biossegurança e proteção institucional	56
2.8.8 Implicações para os objetivos, hipóteses e metodologia da tese	57
2.9 Bens sensíveis, listas de controle e o componente uso duplo em universidades	57
2.9.1 Conceito de uso duplo e sua aplicação ao ambiente acadêmico	58
2.9.2 Bens sensíveis e listas de controle: referenciais internacionais	58
2.9.3 Interfaces entre produtos químicos, uso duplo e governança institucional	

.....	59
2.9.4 Bioproteção, proteção institucional e ambiente universitário.....	59
2.9.5 Uso duplo, cultura organizacional e responsabilidade científica	60
2.9.6 Governança de bens sensíveis e integração com inventário e rastreabilidade	60
2.9.7 Implicações para os objetivos e hipóteses da pesquisa.....	61
2.10 Síntese crítica da revisão bibliográfica e identificação de lacunas	61
2.10.1 Fragmentação temática e normativa na literatura.....	62
2.10.2 Lacuna de abordagens integradas baseadas no ciclo de vida.....	63
2.10.3 Custódia, dual use e proteção institucional: campo emergente e pouco explorado	63
2.10.4 Cultura de segurança e fatores humanos: consenso conceitual, fragilidade empírica.....	64
2.10.5 Sustentabilidade e resíduos passivos: convergência conceitual, implementação desigual	64
2.10.6 Justificativa científica da pesquisa	65
2.10.6 Transição para o capítulo metodológico.....	65
2.11 Modelo conceitual de referência para a análise da governança do ciclo de vida de produtos químicos em IFES	65
2.12 Modelo conceitual integrado de governança do ciclo de vida de produtos químicos.....	66
2.12.1 O ciclo de vida do produto químico como eixo estruturante.....	66
2.13 Gestão de produtos químicos em laboratórios universitários: escopo e relevância	67
2.14 Conceitos estruturantes: biossegurança, bioproteção e proteção institucional.....	68
2.15 Governança e gestão de riscos: ISO 31000 e interfaces com sistemas de gestão	69
2.16 Marcos internacionais: desarmamento, não proliferação, responsabilidade e sustentabilidade.....	69
2.17 Marcos regulatórios nacionais: fragmentação normativa e desafios de implementação em IFES.....	71
2.17.1 Camada ocupacional e comunicação de perigos: NR e GHS como base mínima, porém insuficiente	71
2.17.2 Camada ambiental e gestão de resíduos: PNRS e desafios estruturais em IFES.....	72
2.17.3 Camada sanitária: RDC 222/2018 e interfaces com rotinas laboratoriais	73
2.17.4 Normas técnicas ABNT e o papel da padronização operacional	73

2.17.5 Substâncias controladas: multiplicidade de órgãos, bases e exigências	74
2.17.6 Transporte e movimentação interna: lacuna operacional frequente.....	75
2.17.7 O problema das “múltiplas portas de entrada” e o efeito sobre governança	75
2.17.8 Síntese: por que a fragmentação regulatória demanda um modelo institucional integrador	76
2.18 Inventário, rastreabilidade e sistemas de gestão: do controle local ao controle institucional.....	77
2.18.1 O inventário como ferramenta de gestão de risco	77
2.18.2 Controle local versus visão institucional: limitações recorrentes	78
2.18.3 Rastreabilidade como extensão do inventário	78
2.18.4 Inventário digital e integração com processos administrativos	79
2.18.5 Inventário “por frasco” e níveis de criticidade	79
2.18.6 Auditoria, reconciliação e confiabilidade dos dados.....	80
2.18.7 Inventário, resíduos e prevenção de passivos.....	80
2.18.8 Desafios específicos em IFES brasileiras.....	81
2.18.9 Síntese: inventário como eixo estruturante da governança institucional	81
2.19 Armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos: fundamentos técnicos e implicações para a governança institucional	81
2.19.1 Armazenamento como prática técnica e indicador de maturidade institucional	82
2.19.2 Compatibilidade química e prevenção de riscos sistêmicos	83
2.19.3 Comunicação de perigos: rotulagem, GHS e FDS/FISPQ.....	83
2.19.4 Armazenamento, comunicação e cultura de biossegurança	84
2.19.5 Relação com inventário, rastreabilidade e biocustódia	85
2.19.6 Implicações para a definição de objetivos e hipóteses da tese.....	85
2.19.7 Síntese: da prática técnica ao diagnóstico institucional	85
2.20 Resíduos químicos, sustentabilidade e o problema dos “resíduos passivos” em instituições universitárias	86
2.20.1 Resíduos químicos como parte integrante do ciclo de vida.....	86
2.20.2 Sustentabilidade e gestão de produtos químicos em universidades	87
2.20.3 Resíduos passivos: definição e relevância para a governança institucional	87
2.20.4 Implicações ambientais, ocupacionais e financeiras dos resíduos passivos.....	88
2.20.5 Marcos normativos e diretrizes aplicáveis à gestão de resíduos químicos	88

2.20.6	Relação entre resíduos, inventário e rastreabilidade	88
2.20.7	Resíduos químicos e cultura organizacional	89
2.20.8	Implicações para os objetivos e hipóteses da pesquisa.....	89
2.21	Cultura de biossegurança, treinamento e fatores humanos em laboratórios acadêmicos	90
2.21.1	Cultura de biossegurança: conceito e evolução.....	90
2.21.2	Fatores humanos e o ambiente universitário.....	91
2.21.3	Treinamento como eixo estruturante da governança.....	91
2.21.4	Cultura reativa versus cultura preventiva.....	92
2.21.5	Relação entre cultura, inventário e rastreabilidade	92
2.21.6	Governança, liderança e responsabilidade institucional.....	93
2.21.7	Cultura de biossegurança e proteção institucional.....	93
2.21.8	Implicações para os objetivos, hipóteses e metodologia da tese	94
2.22	Bens sensíveis, listas de controle e o componente <i>dual use</i> em universidades	94
2.22.1	Conceito de <i>dual use</i> e sua aplicação ao ambiente acadêmico.....	94
2.22.2	Bens sensíveis e listas de controle: referenciais internacionais	95
2.22.3	Interfaces entre produtos químicos, <i>dual use</i> e governança institucional	96
2.22.4	Bioproteção, proteção institucional e ambiente universitário.....	96
2.22.5	<i>Dual use</i> , cultura organizacional e responsabilidade científica	97
2.22.6	Governança de bens sensíveis e integração com inventário e rastreabilidade	97
2.22.7	Implicações para os objetivos e hipóteses da pesquisa.....	98
2.23	Síntese crítica da revisão bibliográfica e identificação de lacunas	98
2.23.1	Fragmentação temática e normativa na literatura.....	99
2.23.2	Lacuna de abordagens integradas baseadas no ciclo de vida.....	99
2.23.3	Biocustódia, uso duplo e proteção institucional: campo emergente e pouco explorado	100
2.23.4	Cultura de segurança e fatores humanos: consenso conceitual, fragilidade empírica.....	100
2.23.5	Sustentabilidade e resíduos passivos: convergência conceitual, implementação desigual	101
2.23.6	Justificativa científica da pesquisa	101
2.23.7	Transição para o capítulo metodológico.....	102
2.24	Modelo conceitual de referência para a análise da governança do ciclo de vida de produtos químicos em IFES	102
2.24.1	O ciclo de vida do produto químico como eixo estruturante.....	102

2.24.2	Gestão de riscos como princípio transversal	103
2.24.3	Camadas de controle: integração entre biossegurança, sustentabilidade e proteção institucional	104
2.24.4	Articulação do modelo com os objetivos e hipóteses da pesquisa	104
2.24.5	Delimitação do escopo analítico	105
2.24.6	Encaminhamento para o capítulo metodológico	105
3	OBJETIVOS	106
3.1	Objetivo geral	106
3.2	Objetivos específicos.....	106
3.3	Hipóteses de pesquisa.....	107
4	METODOLOGIA	108
4.1	Delineamento da pesquisa	108
4.2	Universo, recorte e caracterização da amostra.....	108
4.3	Aspectos éticos da pesquisa	109
4.4	Construção do instrumento de coleta e observação em campo.....	109
4.5	Fontes administrativas e triangulação de dados	110
4.6	Identificação de múltiplas portas de entrada e lacunas institucionais...	110
4.7	Análise de riscos e referenciais normativos	110
4.8	Tratamento e análise dos dados	111
4.9	Limitações do estudo	111
4.10	Transparência e documentação	111
4.11	Limitações metodológicas do estudo.....	112
5	RESULTADOS	114
5.1	Taxa de resposta e perfil dos respondentes	114
5.2	Integração com resíduos e substâncias controladas	153
5.3	Desalinhamento do arranjo alfabético (Jotform) com o GHS/compatibilidade	154
5.4	Base normativa nacional e internacional (e suas lacunas)	155
5.4.1	Classificação, rótulo e FDS	155
5.4.2	Armazenamento e compatibilidade	155
5.4.3	Ventilação de laboratórios e cabines de exaustão.....	156
5.4.4	HVAC/Qualidade do ar interior (PMOC)	156
5.5	Manutenção preventiva: cabines/exaustores e HVAC (o que é mínimo aceitável).....	156
5.5.1	Cabines de exaustão (ducted).....	156
5.5.2	Cabines ductless/filtrantes e BSC	157

5.5.3 HVAC/PMOC	157
5.6 Comparativo com outras IFES e padrões internacionais (o que elas estão fazendo)	157
5.7 Recomendações práticas (para reduzir o gap entre o “estado atual” e o “estado da arte”).....	158
5.7.1 Leitura técnica dos padrões	159
5.7.2 Implicações operacionais por centro (plano 90 dias).....	160
5.7.3 Indicadores de maturidade para comparar com outras IFES.....	161
5.7.4 Pontos críticos	171
5.7.5 Conclusão.....	171
5.8 Distribuição percentual aproximada por grupo.....	178
5.8.1 Pontos críticos identificados	179
5.8.2 Relevância para gestão institucional	180
6 DISCUSSÃO	190
6.1 Governança do ciclo de vida de produtos químicos em IFES: evidências empíricas e enquadramento conceitual	190
6.1.1 Inventário, rastreabilidade e biocustódia: confirmação das hipóteses H1 e H2.....	190
6.1.2 Armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos: evidências da fragmentação operacional.....	191
6.1.3 Descarte, resíduos passivos e sustentabilidade: confirmação da Hipótese H3.....	192
6.1.4 Substâncias de uso dual e proteção institucional: confirmação da Hipótese H4.....	192
6.1.5 Cultura de biossegurança e fatores humanos: elemento transversal aos resultados	193
6.1.6 Síntese integradora da discussão	193
6.1.7 Integração entre Governança Química em IFES, QBRN e Defesa Nacional	194
7 CONCLUSÃO	196
8 RECOMENDAÇÕES	198
8.1 Fortalecimento da governança institucional e integração sistêmica	198
8.2 Inventário, rastreabilidade e custódia de produtos sensíveis.....	198
8.3 Padronização de práticas operacionais e comunicação de perigos.....	199
8.4 Gestão de resíduos químicos e sustentabilidade institucional.....	199
8.5 Capacitação contínua e fortalecimento da cultura de biossegurança....	200
8.6 Articulação normativa e alinhamento a boas práticas internacionais	200
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	201

REFERÊNCIAS.....	202
APÊNDICE A – Questionário para pesquisa em laboratórios de instituições de ensino superior.....	213
APÊNDICE B – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	216
APÊNDICE C – Quadros	219
ANEXO A – Parecer consubstanciado do Comitê de Ética	221
ANEXO B – Formulário técnico para avaliação da gestão de produtos químicos nos laboratórios da UFV.....	228

1 INTRODUÇÃO

A gestão do ciclo de vida de produtos químicos em instituições públicas de ensino e pesquisa ultrapassa os limites operacionais de armazenamento, uso e descarte. Envolve diretamente aspectos de biossegurança, sustentabilidade e proteção institucional, sobretudo quando há manipulação de substâncias com propriedades tóxicas, reativas, persistentes ou com potencial de uso indevido.

Em laboratórios acadêmicos, a ausência de sistemas integrados de inventário, controle de acesso e rastreabilidade pode resultar em perdas, desvios, descarte inadequado e exposição ocupacional, comprometendo não apenas a integridade das atividades científicas, mas também a segurança da comunidade universitária e do meio ambiente. Esses riscos se ampliam quando substâncias enquadradas como de uso duplo — com aplicações civis e potencial bélico — são manipuladas sem protocolos de custódia claros, capacitação específica ou auditoria institucional.

A relevância da temática é reconhecida por tratados e normas internacionais, como a Convenção sobre Armas Químicas (CAQ), a Agenda 2030 da ONU e as diretrizes de biossegurança e bioproteção da OMS, que orientam a criação de políticas e práticas institucionais robustas. No plano normativo nacional, porém, observa-se uma fragmentação entre legislações trabalhistas, sanitárias, ambientais e de segurança pública, dificultando a implementação de uma abordagem integrada em universidades.

Nesse contexto, esta tese analisa a governança de produtos químicos em uma universidade pública federal brasileira, com foco em aspectos críticos da custódia — entendida aqui como a guarda, rastreabilidade e controle de substâncias sensíveis — e da mitigação de riscos associados ao uso cotidiano de insumos químicos em ambientes laboratoriais.

O objetivo geral é avaliar as condições institucionais para a gestão segura, rastreável e sustentável de produtos químicos na Universidade Federal de Viçosa (UFV), à luz das exigências normativas e das boas práticas de biossegurança. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Caracterizar as práticas de inventário e controle de entrada e saída de reagentes;
2. Avaliar as condições de armazenamento, segregação por compatibilidade e rotulagem;

3. Analisar os procedimentos de descarte adotados e sua aderência a referenciais técnicos e legais;
4. Identificar a presença de substâncias com potencial de uso duplo e discutir suas implicações para a governança institucional.

A pesquisa parte das seguintes hipóteses:

- (H1) As práticas de controle do ciclo de vida de produtos químicos são heterogêneas e parcialmente formalizadas entre os laboratórios;
- (H2) Há oportunidades significativas de aprimoramento na rastreabilidade e nos mecanismos de entrada e saída, com impacto direto na segurança institucional;
- (H3) A integração entre exigências ocupacionais, ambientais e de proteção institucional pode ser fortalecida por mecanismos de governança e cultura organizacional;
- (H4) Existe, nos laboratórios universitários, um subconjunto relevante de substâncias com potencial de uso duplo, cuja gestão demanda protocolos adicionais de custódia e controle.

Ao abordar o tema com base em evidências empíricas e marcos regulatórios, este estudo busca contribuir para o aprimoramento das práticas institucionais em universidades públicas brasileiras, oferecendo recomendações alinhadas aos compromissos nacionais e internacionais em biossegurança, sustentabilidade e governança responsável da ciência.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gestão de produtos químicos em laboratórios universitários: escopo e relevância

A gestão do ciclo de vida de produtos químicos em instituições federais de ensino superior (IFES) constitui um campo interdisciplinar que integra dimensões ocupacionais, ambientais, institucionais e, em situações específicas, de segurança. Em laboratórios de ensino e pesquisa, os produtos químicos são adquiridos, recebidos, armazenados, manipulados, transferidos e descartados em condições frequentemente heterogêneas, influenciadas por fatores como cultura departamental, rotatividade de pessoal, diversidade de linhas de pesquisa e limitações estruturais típicas do setor público.

Nesse contexto, falhas na gestão de reagentes e resíduos podem produzir impactos em múltiplas escalas. No plano micro, afetam diretamente a segurança de estudantes, técnicos e docentes, ao aumentar a exposição a agentes tóxicos, corrosivos, inflamáveis ou reativos, elevando a probabilidade de incidentes (derramamentos, queimaduras, intoxicações e incêndios). No plano meso, comprometem a continuidade das atividades científicas (perdas de amostras, interdições, danos à infraestrutura e a equipamentos) e geram passivos administrativos (inconsistências em inventários, lacunas documentais, inconformidades com rotulagem e com FDS/FISPQ). No plano macro, relacionam-se à sustentabilidade e à conformidade ambiental e, de modo delimitado, à proteção institucional frente a riscos de desvio e uso indevido (uso duplo) (*World Health Organization, 2020*).

A literatura internacional de biossegurança e governança de riscos em laboratório enfatiza que a segurança não deve ser reduzida a “armazenamento correto” e “destinação final”, mas deve incluir inventário, controle de acesso, rastreabilidade, resposta a incidentes e cultura organizacional (WHO, 2020). Em universidades, onde a atividade-fim é o ensino e a pesquisa, a gestão do risco enfrenta um paradoxo recorrente: trata-se de um ambiente altamente especializado e produtivo, porém frequentemente submetido a estruturas de governança

fragmentadas e com autonomia elevada de laboratórios e grupos, o que dificulta a adoção de padrões institucionais uniformes.

2.2 Conceitos estruturantes: biossegurança, bioproteção e proteção institucional

O Manual de Biossegurança em Laboratório da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2020) consolida uma abordagem em que a biossegurança não se limita a barreiras físicas e ao uso de EPIs/EPCs, mas se organiza como um sistema de gestão orientado por risco, integrando requisitos técnicos, fatores humanos e governança institucional. Nesse enquadramento, riscos relacionados a substâncias químicas — por exemplo, vapores tóxicos, reatividade, incompatibilidades, incêndio/explosão e geração de resíduos perigosos — são compreendidos como parte do escopo da segurança laboratorial, sobretudo quando a densidade de insumos e processos torna a prevenção dependente de rotina, padronização e monitoramento.

Bioproteção (do inglês, *biosecurity*) é usualmente associado à prevenção de acesso não autorizado, perda, roubo, uso indevido ou liberação intencional de agentes biológicos e materiais correlatos. Contudo, documentos internacionais e abordagens institucionais ampliam o foco para insumos e capacidades que componham cadeias de risco, incluindo reagentes e precursores com potencial de uso duplo (WHO, 2020). Em universidades, essa ampliação é relevante porque ambientes de pesquisa, quando desprovidos de governança e controles proporcionais, podem apresentar vulnerabilidades associadas a inventários incompletos, circulação interna sem rastreabilidade e controle de acesso pouco padronizado.

Nessa perspectiva, adota-se neste trabalho a noção operacional de biocustódia como conjunto de práticas de custódia e rastreabilidade aplicáveis ao ciclo de vida de produtos químicos em contexto acadêmico. A biocustódia é entendida como: (i) inventário confiável e auditável; (ii) controles de entrada e saída; (iii) identificação e rotulagem; (iv) segregação por compatibilidade; (v) registros de movimentação e responsabilização; e (vi) auditorias e revisões internas. Embora o termo seja mais frequente em materiais associados a bioproteção, sua aplicação operacional a produtos químicos se justifica quando o objetivo é fortalecer a proteção institucional,

prevenir perdas e desvios, promover conformidade e reduzir riscos ao longo do ciclo de vida (WHO, 2020).

2.3 Governança e gestão de riscos: ISO 31000 e interfaces com sistemas de gestão

A ISO 31000 (ISO, 2018a) constitui referência consolidada para gestão de riscos, ao propor princípios e processos para identificação, análise, avaliação e tratamento, além de comunicação, consulta, monitoramento e melhoria contínua. Aplicada à gestão de produtos químicos, a norma oferece um arcabouço para estruturar a governança do ciclo de vida de insumos perigosos com base em risco, permitindo que controles sejam estabelecidos de forma proporcional à criticidade das substâncias e às vulnerabilidades do ambiente institucional.

No contexto universitário, a ISO 31000 contribui para superar abordagens fragmentadas, ao favorecer um desenho sistêmico: a gestão de produtos químicos deixa de ser exclusivamente responsabilidade do laboratório e passa a integrar níveis de decisão e controle (departamentos, centros, campus, pró-reitorias e áreas técnicas). Ao articular processo decisório, responsabilidades e métricas, a governança do risco pode incorporar inventário, rastreabilidade, auditorias, capacitação, resposta a emergências e gestão de resíduos como elementos interdependentes. Assim, o ciclo de vida de produtos químicos pode ser modelado como cadeia contínua, na qual falhas em uma etapa — por exemplo, recebimento sem conferência e rotulagem — geram efeitos em cascata, como armazenamento incompatível, uso indevido, formação de resíduos passivos e descarte irregular.

Além da ISO 31000, abordagens internacionais alinhadas à cultura de segurança e à melhoria contínua convergem no entendimento de que controles técnicos precisam ser acompanhados de governança, competência e monitoramento. Em universidades, essa convergência torna-se particularmente relevante, pois há grande variação de maturidade e recursos entre laboratórios, e a alta rotatividade de estudantes intensifica a necessidade de capacitação e padronização.

2.4 Marcos internacionais: desarmamento, não proliferação, responsabilidade e sustentabilidade

A discussão sobre produtos químicos e biossegurança em laboratório dialoga com regimes internacionais que, embora não tenham sido desenhados para o cotidiano universitário, influenciam conceitos, listas, princípios e expectativas institucionais. A Convenção sobre Armas Químicas (CAQ) estabeleceu um dos mais robustos regimes internacionais de controle e verificação, incluindo listas de substâncias e mecanismos de inspeção por meio da OPAQ/OPCW (*Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons*, s.d.; OPCW, 2018). A CAQ reforça a centralidade do controle de substâncias relevantes e a necessidade de sistemas nacionais que internalizem obrigações e previnam a conversão de capacidades químicas civis em aplicações hostis.

De modo complementar, a Resolução 1540 do Conselho de Segurança da ONU (UNSC, 2004) determina que os Estados adotem medidas para impedir que atores não estatais adquiram e utilizem armas nucleares, químicas e biológicas, incluindo “controles internos apropriados”. Embora esse instrumento opere em nível estatal, ele é frequentemente interpretado como estímulo ao fortalecimento de controles em cadeias de suprimento, instituições e ambientes onde substâncias críticas possam circular.

A Convenção sobre Armas Biológicas (CAB, 1972), ainda que centrada no domínio biológico, integra o ecossistema normativo de não proliferação e governança responsável, reforçando o debate sobre uso indevido do conhecimento e a necessidade de mecanismos institucionais de prevenção, especialmente em ambientes científicos (*United Nations*, 1972). Em convergência, a literatura sobre *Dual-Use Research of Concern* (DURC) enfatiza que o avanço científico pode gerar conhecimentos e práticas passíveis de uso hostil, demandando mecanismos institucionais de revisão e mitigação (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020; Hess, 2021).

No eixo da sustentabilidade, iniciativas como o SAICM e a Agenda 2030 consolidam a expectativa internacional de gestão segura e ambientalmente responsável de substâncias químicas ao longo do ciclo de vida, conectando segurança, saúde pública e proteção ambiental (*United Nations Environment Programme*, 2012; *United Nations*, 2015). Para universidades, esse eixo é

especialmente relevante porque laboratórios são geradores importantes de resíduos perigosos e, quando não dispõem de sistemas estruturados, tendem a formar resíduos passivos (estoques antigos, desconhecidos ou sem destinação), elevando risco e custo institucional (Quadro 2 — Apêndice C).

2.5 Marcos regulatórios nacionais: fragmentação normativa e desafios de implementação em IFES

No Brasil, a governança e o controle de produtos químicos aplicáveis a laboratórios universitários organizam-se em camadas regulatórias e técnicas parcialmente sobrepostas, distribuídas entre campos ocupacional, ambiental, sanitário, de transporte, normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e regimes de controle de substâncias por diferentes órgãos federais e estaduais. Embora esse arcabouço ofereça fundamentos relevantes para a segurança química, sua estrutura apresenta fragmentação normativa e ausência de diretrizes específicas voltadas aos laboratórios de ensino e pesquisa (Brasil, 1988, 2010; Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2018; Machado; Fonseca, 2022).

A Constituição Federal de 1988 distribui competências entre União, Estados e Municípios, estabelecendo bases gerais para proteção ambiental e saúde pública, mas sem disciplinar de forma específica a gestão integrada de produtos químicos em ambientes acadêmicos (Brasil, 1988). A Política Nacional de Resíduos Sólidos institui princípios e responsabilidades compartilhadas para o gerenciamento de resíduos, incluindo resíduos químicos, porém com escopo amplo e não direcionado às particularidades dos laboratórios universitários (Brasil, 2010). Da mesma forma, a RDC nº 222/2018 da Anvisa regulamenta o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, estabelecendo diretrizes relevantes, mas não estruturadas especificamente para as rotinas acadêmicas de ensino e pesquisa (ANVISA, 2018).

Em consequência, as Instituições Federais de Ensino Superior frequentemente precisam compor seus sistemas internos de gestão a partir de normas com objetivos distintos, escopos próprios e linguagens regulatórias específicas, o que pode gerar interpretações divergentes, lacunas operacionais e heterogeneidade entre unidades acadêmicas (Lopes; Moura; Souza, 2023). Essa dinâmica contribui para a variabilidade institucional na adoção de práticas de rastreabilidade, segregação,

armazenamento e descarte de produtos químicos, reforçando a necessidade de modelos internos de governança baseados em integração normativa, gestão de riscos e padronização de procedimentos.

2.4.1 Camada ocupacional e comunicação de perigos: NR e GHS como base mínima, porém insuficiente

A dimensão ocupacional fornece o alicerce normativo para proteger trabalhadores e usuários de laboratório frente a agentes químicos perigosos, incluindo sinalização e comunicação de riscos, limites de exposição e medidas de proteção. Nesse domínio, a NR-26 tem papel central ao tratar da sinalização de segurança e da rotulagem preventiva, incorporando requisitos associados ao Sistema Globalmente Harmonizado (GHS). Na prática, isso se traduz em exigência de identificação adequada de perigos, uso de pictogramas e informações essenciais ao manejo seguro de substâncias e misturas, em alinhamento com práticas contemporâneas de comunicação de perigo (Brasil, 2022; UNEP, 2019).

Entretanto, apesar de essencial, a NR-26 tende a operar como camada mínima de conformidade normativa, não configurando, isoladamente, um sistema estruturado de gestão do ciclo de vida de produtos químicos. Em ambiente universitário, onde coexistem frascos originais, frascos secundários, soluções preparadas e amostras intermediárias, os problemas mais frequentes decorrem de: (i) rotulagem incompleta de frascos secundários; (ii) ausência de data, concentração e responsável; (iii) coexistência de padrões distintos entre laboratórios; e (iv) baixa integração entre rotulagem e disponibilidade de FDS/FISPQ. Assim, ainda que o marco ocupacional estabeleça princípios de comunicação de perigo, ele não garante, por si só, rastreabilidade, custódia, padronização institucional e prevenção de passivos químicos, elementos que demandam abordagem sistêmica baseada em gestão de riscos e auditoria interna estruturada (ISO, 2018a, 2018b; Machado; Fonseca, 2022). Adicionalmente, normas como a NR-15 (insalubridade e parâmetros de exposição) subsidiam decisões relacionadas a riscos ocupacionais e medidas de controle, reforçando a lógica de prevenção e proteção do trabalhador (Brasil, 2022). Contudo, em IFES, a aplicação tende a ser desigual, tanto por limitações de infraestrutura — como cabines e ventilação inadequadas — quanto pela ausência

de rotinas sistemáticas de avaliação e monitoramento ambiental em laboratório, o que reforça a necessidade de governança institucional capaz de transformar requisitos normativos em práticas consolidadas de gestão (ISO, 2018a).

2.4.2 Camada ambiental e gestão de resíduos: PNRS e desafios estruturais em IFES

No campo ambiental, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e o Decreto nº 10.936/2022 constituem o principal marco estruturante da gestão de resíduos no Brasil, ao consolidarem princípios de responsabilidade compartilhada, planejamento e gestão integrada (Brasil, 2010, 2022). Para universidades, esse arcabouço é particularmente relevante, uma vez que laboratórios são geradores contínuos de resíduos químicos potencialmente perigosos, o que impõe a necessidade de organização institucional compatível com a complexidade dessas atividades.

Entretanto, a aplicação prática desses dispositivos depende da capacidade institucional de implementar rotinas sistemáticas de segregação, acondicionamento, armazenamento temporário e destinação final. Em IFES, dificuldades operacionais podem incluir restrições orçamentárias para contratação de serviços especializados, ausência de inventários integrados que permitam prever geração e custos, descentralização das rotinas laboratoriais e heterogeneidade na execução de procedimentos, fatores que dificultam a execução contínua e preventiva da política pública (Machado; Fonseca, 2022; Lopes; Moura; Souza, 2023). Tais desafios evidenciam a necessidade de estrutura organizacional orientada por princípios de gestão de risco e melhoria contínua (ISO, 2018a).

Normas técnicas como a ABNT NBR 10004, que classifica resíduos quanto à periculosidade, fornecem base técnica para decisões sobre segregação, acondicionamento e destinação (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004). Contudo, a existência de norma técnica não assegura sua aplicação uniforme. Para que os requisitos legais e técnicos sejam efetivamente implementados, é necessário sistema institucional estruturado, com definição clara de responsabilidades, padronização de procedimentos, monitoramento contínuo e mecanismos de melhoria, em consonância com abordagens baseadas em gestão de risco (ISO, 2018a).

2.4.3 Camada sanitária: RDC 222/2018 e interfaces com rotinas laboratoriais

Embora parte importante do marco sanitário tenha sido estruturada com foco em serviços de saúde, instrumentos como a RDC nº 222/2018 (ANVISA) dialogam com laboratórios universitários, sobretudo onde há geração de resíduos que combinam risco químico e biológico, ou onde práticas e fluxos se aproximam de rotinas laboratoriais biomédicas (ANVISA, 2018). O desafio, em IFES, é que esse conjunto normativo frequentemente é aplicado por analogia, gerando: (i) dúvidas sobre enquadramento; (ii) soluções heterogêneas; e (iii) sobreposição com marcos ambientais e ocupacionais (ANVISA, 2018; Brasil, 2010; Brasil, 2022).

Na prática, isso reforça a necessidade de um marco institucional próprio (política interna, procedimentos e critérios) que traduza o que é aplicável ao contexto de ensino e pesquisa, sem depender exclusivamente de interpretação local, em consonância com abordagens baseadas em risco e melhoria contínua (ISO, 2018a, 2018b). Esse ponto é particularmente relevante em universidades com múltiplas áreas (química, bioquímica, biotecnologia, agrárias, veterinária, engenharia), porque o perfil de resíduos e de substâncias varia consideravelmente entre departamentos (WHO, 2020).

2.4.4 Normas técnicas ABNT e o papel da padronização operacional

O ambiente universitário depende fortemente de normas técnicas para orientar controles operacionais: rotulagem, FDS/FISPQ, compatibilidade, armazenagem e segurança de equipamentos e instalações (cabines, armários, ventilação, contenção secundária). A ABNT NBR 14725, ao internalizar o GHS, estrutura a comunicação de perigos e a padronização das FDS/FISPQ (ABNT, 2023; UNEP, 2019). Contudo, em IFES, é comum observar a coexistência de diferentes versões e práticas, com atualizações não sistemáticas, o que impacta diretamente a prontidão para emergências e a qualidade do gerenciamento de risco (WHO, 2020; ISO, 2018a).

A experiência em laboratórios universitários sugere que a principal fragilidade não é a inexistência de normas técnicas, mas a ausência de mecanismos institucionais para: (i) garantir atualização; (ii) controlar frascos secundários e soluções preparadas; (iii) padronizar práticas entre unidades; e (iv) auditar conformidade de modo recorrente

(ISO, 2018a, 2018b). Assim, as normas ABNT são necessárias, mas insuficientes sem governança interna e recursos operacionais (WHO, 2020; ISO, 2020a, 2017).

2.4.5 Substâncias controladas: multiplicidade de órgãos, bases e exigências

Um eixo crítico para a governança institucional de produtos químicos em IFES é o controle de substâncias reguladas por diferentes órgãos, com finalidades distintas e exigências próprias. Entre os exemplos mais relevantes no contexto universitário, destacam-se:

- **Polícia Federal (PF):** controle de substâncias suscetíveis a desvio para produção ilícita (por exemplo, precursores associados a drogas e, em certos casos, a explosivos), com listas e exigências administrativas específicas (Brasil, 2019).
- **Exército Brasileiro/COLOG (EB/COLOG):** controle de produtos químicos de interesse militar e itens correlatos, incluindo categorias que dialogam com regimes internacionais de controle químico (Brasil, 2019b).
- **ANVISA:** controle sanitário de substâncias entorpecentes, psicotrópicas e precursoras em contexto de saúde pública, com regras próprias de registro, aquisição, armazenamento e prestação de contas (Brasil, 1998).
- **Polícia Civil (PC), em alguns estados:** exigências estaduais pontuais, muitas vezes relacionadas a inflamáveis/corrosivos e fiscalização local, ampliando a heterogeneidade do ambiente regulatório brasileiro (Brasil, 1988).

Em IFES, a coexistência desses regimes cria pelo menos quatro tipos de desafio prático:

- **Identificação:** laboratórios nem sempre reconhecem que determinada substância está sob controle de órgão específico, sobretudo quando se trata de substâncias “comuns” em rotinas científicas;
- **Harmonização:** regras distintas de aquisição, armazenamento, registros e auditorias geram confusão e soluções locais improvisadas;
- **Rastreabilidade:** a substância pode entrar por múltiplos canais (projetos, convênios, doações, compras diretas), sem padronização de conferência e registro;
- **Prestação de contas:** sem inventário integrado, relatórios e auditorias tornam-se trabalhosos, reativos e sujeitos a inconsistências (ISO 2018a, 2018b).

Essa multiplicidade é especialmente sensível em universidades porque o uso é tipicamente legítimo e científico, porém o ambiente possui características estruturais que elevam vulnerabilidades: alta rotatividade de usuários, múltiplos responsáveis, heterogeneidade de cultura e autonomia departamental (WHO, 2020; Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2022). Assim, um desenho institucional eficiente precisa operar com lógica de controles proporcionais ao risco, não apenas “controle por lista” (ISO, 2018a, 2018b).

2.4.6 Transporte e movimentação interna: lacuna operacional frequente

Outro ponto recorrente em IFES é a lacuna entre o controle regulatório de transporte externo de produtos perigosos e a realidade da movimentação interna em campus universitário. Ainda que existam referências para transporte de produtos perigosos em vias públicas, a movimentação cotidiana em ambiente universitário — entre prédios, laboratórios, campi e unidades — tende a ocorrer sem protocolos suficientemente padronizados (Agência Nacional de Transportes Terrestres, 2021; WHO, 2020). Isso inclui transporte manual de frascos, ausência de contenção secundária, inexistência de rotas definidas e variação de práticas entre equipes (WHO, 2020).

Embora, na prática, muitas instituições adotem recomendações internas, a ausência de um padrão nacional voltado a campus universitário reforça a necessidade de políticas institucionais claras: requisitos mínimos de embalagem, contenção, rotas, autorização, registro e treinamento (ISO, 2018a).

2.4.7 O problema das “múltiplas portas de entrada” e o efeito sobre governança

No ambiente universitário, a estrutura de financiamento e aquisição frequentemente amplia a fragmentação. Editais de fomento, convênios, compras descentralizadas, cartão pesquisador, doações e aquisições diretas criam um cenário de múltiplas portas de entrada que dificulta rastreabilidade e aumenta a probabilidade de inventários paralelos (ISO, 2018a; WHO, 2020).

Esse fenômeno tem efeito direto sobre:

- a confiabilidade do inventário institucional;

- a prevenção de compras duplicadas;
- a formação de resíduos passivos;
- a capacidade de auditar substâncias controladas; e
- a resposta a emergências (WHO, 2020; ISO 19011, 2018).

Por isso, a revisão aponta que a governança do ciclo de vida em IFES não depende apenas de “mais normas”, mas de integração sistêmica entre compras, recebimento, inventário, armazenamento, uso, descarte e destinação (ISO, 2018a, 2018b).

2.4.8 Síntese: por que a fragmentação regulatória demanda um modelo institucional integrador

A literatura e os marcos nacionais indicam que o Brasil dispõe de instrumentos relevantes para comunicação de perigos, proteção ocupacional, gestão ambiental e controle de substâncias reguladas (Brasil, 2010; Brasil, 2022; Anvisa, 2018). Entretanto, a ausência de regulamentação específica para laboratórios de ensino e pesquisa, somada à fragmentação de competências e à falta de integração de sistemas, cria um cenário em que IFES precisam construir soluções internas de governança, frequentemente com diferentes níveis de maturidade (ISO, 2018a; Lopes; Moura; Souza, 2023).

Diante disso, a implicação central para esta tese é que a gestão de produtos químicos em IFES requer um modelo institucional integrador, capaz de traduzir marcos normativos em rotinas executáveis e auditáveis: inventário centralizado, rastreabilidade, procedimentos padronizados, treinamento contínuo, auditorias proporcionais ao risco e integração entre dimensões ocupacional, ambiental e de proteção institucional (ISO, 2018a, 2018b; WHO, 2020) (Quadro 3 — Apêndice C).

A análise do arcabouço normativo evidencia um modelo regulatório fragmentado e multissetorial, no qual diferentes órgãos exercem competências específicas sem que exista, no âmbito federal, um instrumento integrador voltado exclusivamente à governança química em instituições acadêmicas (Brasil, 2010, 2019, 2022). Tal configuração normativa impõe às IFES necessidade de:

- Articulação intersetorial interna (SST, meio ambiente, compras, almoxarifado, coordenações laboratoriais);

- Implementação de mecanismos institucionais de rastreabilidade documental;
- Estruturação de sistemas integrados de inventário e controle de ciclo de vida (ISO, 2018a, 2018b).

Os “pontos de fricção” identificados não decorrem da inexistência de normas, mas da ausência de interoperabilidade entre obrigações legais, resultando em vulnerabilidades técnicas, administrativas e, potencialmente, jurídicas (ISO, 2018a).

2.5 Inventário, rastreabilidade e sistemas de gestão: do controle local ao controle institucional

O inventário de produtos químicos é reconhecido, na literatura internacional e nos manuais de biossegurança, como pilar estruturante da segurança em laboratório. Mais do que uma listagem estática de reagentes, o inventário constitui a base informacional sobre a qual se apoiam a avaliação de riscos, a prevenção de acidentes, a resposta a emergências, a conformidade regulatória e a sustentabilidade institucional (WHO, 2020). Em ambientes universitários, contudo, o inventário frequentemente assume caráter local, fragmentado e descontínuo, o que limita sua utilidade como instrumento de governança (Kelly; Moran, 2020).

2.5.1 O inventário como ferramenta de gestão de risco

Do ponto de vista da gestão de riscos, o inventário permite identificar o que existe, quanto existe, onde está, quem é responsável e qual o nível de risco associado a cada substância. Essas informações são essenciais para:

- avaliar a criticidade do estoque (quantidade, classe de perigo, incompatibilidades);
- identificar substâncias controladas ou de uso duplo;
- reduzir compras duplicadas e excesso de estoque;
- apoiar decisões de substituição por alternativas menos perigosas;
- subsidiar planos de emergência e resposta a incidentes;
- prever e planejar a geração de resíduos (ISO, 2018a; WHO, 2020).

A literatura enfatiza que inventários incompletos ou desatualizados criam uma falsa sensação de controle, pois impedem a identificação precoce de riscos emergentes e fragilizam a tomada de decisão institucional (Kelly; Moran, 2020; WHO,

2020). Em universidades, esse problema é agravado pela diversidade de linhas de pesquisa, pela rotatividade de usuários e pela autonomia de laboratórios, que tendem a adotar práticas próprias de controle (WHO, 2020).

2.5.2 Controle local versus visão institucional: limitações recorrentes

Em muitas IFES, o inventário permanece restrito ao nível do laboratório ou do projeto, frequentemente mantido em planilhas individuais, formulários impressos ou sistemas não integrados. Embora essas soluções possam atender a demandas pontuais, elas apresentam limitações significativas quando analisadas sob a ótica institucional:

- inexistência de visão consolidada do estoque químico da instituição;
- dificuldade de auditoria e prestação de contas a órgãos reguladores;
- ausência de padronização de campos e critérios;
- dependência excessiva da memória institucional de indivíduos;
- vulnerabilidade a perdas de informação quando há troca de pessoal (WHO, 2020; ISO 19011, 2018).

Esse modelo de controle local não dialoga adequadamente com exigências contemporâneas de governança, rastreabilidade e proteção institucional, nem com a necessidade de integração entre gestão de risco, sustentabilidade e conformidade normativa. Como resultado, falhas em um laboratório tendem a permanecer invisíveis até que se materializem como incidentes, passivos ambientais ou problemas regulatórios (ISO, 2018a; WHO, 2020).

2.5.3 Rastreabilidade como extensão do inventário

A rastreabilidade amplia o conceito de inventário ao incorporar a dimensão dinâmica do ciclo de vida do produto químico. Não se trata apenas de saber “o que está armazenado”, mas de acompanhar como a substância circula dentro da instituição. Isso inclui:

- aquisição e recebimento;
- armazenamento inicial e secundário;
- uso e consumo;

- transferências internas entre laboratórios ou unidades;
- geração de resíduos;
- descarte e destinação final (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Em sistemas maduros, cada uma dessas etapas gera registros que permitem reconstruir a trajetória da substância ao longo do tempo. Essa capacidade é central para a custódia, pois reduz lacunas de responsabilidade, facilita investigações internas e externas e fortalece a prevenção de desvios intencionais ou não intencionais (WHO, 2020; Organisation for Economic Co-operation and Development, 2022).

2.5.4 Inventário digital e integração com processos administrativos

A literatura e as boas práticas internacionais convergem na recomendação de inventários digitais centralizados, integrados a outros processos institucionais, especialmente compras, almoxarifado, logística e gestão de resíduos (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020; Hess, 2021). Essa integração permite:

- eliminar ou reduzir múltiplas portas de entrada de reagentes;
- garantir conferência, rotulagem e registro já no recebimento;
- associar cada frasco a um responsável e a um local específico;
- gerar alertas automáticos para validade, incompatibilidades e excesso de estoque;
- produzir relatórios consolidados para auditorias internas e externas (ISO 19011, 2018).

Mesmo quando não há integração direta com bases externas (PF, EB, ANVISA), a consolidação institucional do inventário representa um avanço significativo em governança, pois cria trilhas auditáveis e reduz dependência de controles informais (ISO, 2018a, 2018b). Em universidades de grande porte, esse tipo de sistema é apontado como fator crítico para reduzir custos, riscos e passivos ambientais (Kelly; Moran, 2020; Hess, 2021).

2.5.5 Inventário “por frasco” e níveis de criticidade

Uma discussão relevante na literatura diz respeito ao nível de granularidade do inventário. Abordagens mais maduras tendem a adotar o inventário por frasco, em vez de inventários genéricos por substância. Esse modelo permite:

- distinguir diferentes concentrações e formas físicas;
- rastrear frascos abertos, parcialmente utilizados ou obsoletos;
- associar cada unidade a registros de uso e movimentação;
- facilitar reconciliações periódicas (Kelly; Moran, 2020; WHO, 2020).

No contexto da tese, esse modelo dialoga diretamente com a proposta de controles proporcionais ao risco. Substâncias de baixo risco podem demandar controles mais simples, enquanto substâncias perigosas, controladas ou com potencial de uso duplo justificam níveis adicionais de rastreabilidade, reconciliação e controle de acesso (ISO, 2018a; OECD, 2022).

2.5.6 Auditoria, reconciliação e confiabilidade dos dados

Inventários só produzem valor quando são confiáveis. Para isso, a literatura recomenda a combinação de:

- atualizações regulares obrigatórias;
- auditorias internas periódicas;
- reconciliações físicas por amostragem;
- definição clara de responsabilidades (ISO 19011, 2018; ISO/IEC 17025, 2017).

Em IFES, a ausência dessas rotinas faz com que inventários se tornem rapidamente obsoletos, reduzindo sua utilidade prática. Auditorias não devem ser encaradas como instrumentos punitivos, mas como mecanismos de melhoria contínua, alinhados à cultura de segurança e à gestão de riscos (ISO 19011, 2018; ISO, 2018a; WHO, 2020).

2.5.7 Inventário, resíduos e prevenção de passivos

A relação entre inventário e gestão de resíduos é direta. Inventários desatualizados dificultam a identificação de substâncias vencidas, degradadas ou desnecessárias, favorecendo o acúmulo de resíduos passivos. Por outro lado, inventários bem estruturados permitem:

- planejar destinação de resíduos de forma antecipada;
- reduzir volumes armazenados por longos períodos;
- evitar compras desnecessárias;
- integrar planejamento financeiro e ambiental (Machado; Fonseca, 2022; WHO, 2020).

Nesse sentido, o inventário se consolida como ferramenta-chave para alinhar biossegurança, biocustódia e sustentabilidade, reduzindo riscos ocupacionais, ambientais e institucionais (WHO, 2020; ISO, 2018a).

2.5.8 Desafios específicos em IFES brasileiras

No contexto brasileiro, a implementação de inventários institucionais enfrenta desafios adicionais:

- diversidade de fontes de financiamento e aquisição;
- resistência cultural à padronização;
- carência de sistemas informatizados adequados
- limitação de recursos humanos dedicados à governança de laboratório (Lopes; Moura; Souza, 2023; Machado; Fonseca, 2022).

Esses fatores explicam, em parte, a persistência de controles fragmentados em universidades públicas. Contudo, a literatura também aponta que IFES possuem potencial singular para avançar nesse campo, ao integrar ensino, pesquisa e extensão em modelos inovadores de gestão e governança (Souza; Torres, 2022).

2.5.9 Síntese: inventário como eixo estruturante da governança institucional

A revisão evidencia que o inventário não é um fim em si mesmo, mas um eixo estruturante da governança do ciclo de vida de produtos químicos. Em IFES, sua efetividade depende da transição do controle local para o controle institucional, da integração com processos administrativos e da incorporação de rotinas de auditoria e melhoria contínua (ISO, 2018a, 2018b; WHO, 2020). Para esta tese, o inventário é compreendido como ponto de convergência entre biossegurança, biocustódia e sustentabilidade, fornecendo base empírica para diagnóstico, análise crítica e proposição de recomendações aplicáveis à realidade das universidades federais brasileiras.

2.6 Armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos: fundamentos técnicos e implicações para a governança institucional

O armazenamento seguro de produtos químicos, a segregação por compatibilidade e a comunicação adequada de perigos constituem elementos técnicos basilares da segurança em laboratório, amplamente reconhecidos por normas internacionais, guias técnicos e literatura especializada (WHO, 2020; ABNT, 2023). Contudo, em instituições universitárias, essas práticas frequentemente se apresentam de forma heterogênea, parcial ou informal, refletindo não apenas limitações estruturais, mas também lacunas de governança e cultura organizacional (ISO, 2018a, 2020a).

2.6.1 Armazenamento como prática técnica e indicador de maturidade institucional

O armazenamento de produtos químicos não deve ser compreendido apenas como disposição física de frascos em armários ou prateleiras. Trata-se de uma prática técnica complexa, que envolve decisões sobre:

- segregação por classe de perigo;
- compatibilidade química;
- ventilação e contenção;
- controle de acesso;

- sinalização e identificação;
- condições ambientais (temperatura, umidade, iluminação) (WHO, 2020; ISO, 2020a).

A literatura aponta que falhas de armazenamento estão entre as principais causas de incidentes laboratoriais, incluindo incêndios, explosões, liberação de vapores tóxicos e reações acidentais (WHO, 2020). Em ambientes universitários, esses riscos são potencializados pela elevada densidade de reagentes, pela rotatividade de usuários e pela coexistência de atividades de ensino e pesquisa em um mesmo espaço (WHO, 2020).

Do ponto de vista desta tese, o armazenamento é tratado não apenas como variável operacional, mas como indicador indireto da maturidade da governança institucional. Laboratórios com armazenamento improvisado, ausência de segregação por compatibilidade ou uso de mobiliário inadequado tendem a refletir:

- fragilidade de normas internas;
- ausência de inspeções regulares;
- insuficiência de treinamento;
- baixa integração entre níveis técnico e administrativo (ISO 2018a, 2018b; WHO, 2020).

Essa leitura fundamenta a inclusão do armazenamento como dimensão avaliada na metodologia adotada.

2.6.2 Compatibilidade química e prevenção de riscos sistêmicos

A segregação por compatibilidade química é princípio técnico essencial para a prevenção de reações perigosas. Ácidos, bases, oxidantes, inflamáveis, tóxicos, reativos e substâncias sensíveis à umidade ou ao calor demandam arranjos específicos de armazenamento, amplamente descritos em guias técnicos e normas de referência (WHO, 2020; ABNT, 2023).

Entretanto, a literatura destaca que, em universidades, a compatibilidade química é frequentemente tratada de forma simplificada ou intuitiva, baseada na experiência individual dos usuários, e não em procedimentos institucionais padronizados (Kelly; Moran, 2020). Essa prática aumenta a dependência do fator humano e reduz a confiabilidade do sistema de segurança (WHO, 2020).

Na perspectiva da gestão de risco (ISO 31000), a ausência de segregação adequada configura uma falha de controle primário, capaz de gerar efeitos em cascata:

- aumento do risco de acidentes;
- necessidade de respostas emergenciais;
- geração de resíduos perigosos;
- impactos financeiros e reputacionais (ISO, 2018a; WHO, 2020).

Essa lógica sustenta a hipótese central da tese de que a fragilidade na gestão de produtos químicos não se manifesta apenas na ausência de inventários ou normas formais, mas também em práticas técnicas cotidianas, como o armazenamento e a compatibilidade (ISO, 2018a; WHO, 2020).

2.6.3 Comunicação de perigos: rotulagem, GHS e FDS/FISPQ

A comunicação de perigos é componente indispensável da segurança química. O Sistema Globalmente Harmonizado (GHS), internalizado no Brasil por meio da ABNT NBR 14725, estabelece critérios para classificação de perigos, rotulagem e elaboração de FDS/FISPQ, com o objetivo de garantir que informações críticas estejam acessíveis a todos os usuários (ABNT, 2023; UNEP, 2019).

Contudo, estudos relatam recorrentes inconformidades, tais como:

- frascos secundários sem rotulagem;
- rótulos incompletos ou ilegíveis;
- FDS/FISPQ desatualizadas ou inacessíveis;
- ausência de padronização entre laboratórios (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020).

Essas falhas comprometem diretamente a resposta a emergências, dificultam o treinamento de novos usuários e ampliam o risco ocupacional (WHO, 2020). Além disso, fragilizam a conformidade com normas trabalhistas e ambientais, expondo a instituição a passivos legais (Brasil, 2010; ABNT, 2023).

No contexto desta tese, a comunicação de perigos é analisada como elo entre técnica e governança. A existência de rótulos e FDS não garante, por si só, segurança efetiva; sua disponibilidade, atualização e uso adequado dependem de políticas institucionais, treinamento e monitoramento — aspectos avaliados no desenho metodológico adotado (ISO 2018a, 2020a).

2.6.4 Armazenamento, comunicação e cultura de biossegurança

A literatura internacional enfatiza que práticas como armazenamento adequado e rotulagem correta são expressões visíveis da cultura de segurança (WHO, 2020). Em instituições com cultura madura, essas práticas são internalizadas como rotina; em contextos frágeis, tornam-se ações pontuais, frequentemente reativas a inspeções ou incidentes (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Essa distinção é central para a tese, pois sustenta a análise de que:

- a predominância de EPIs não compensaria a ausência de medidas coletivas e estruturantes;
- falhas recorrentes em armazenamento e rotulagem indicam modelo reativo de biossegurança;
- a governança institucional exerce papel decisivo na consolidação dessas práticas (WHO, 2020; ISO, 2018a, 2018b).

Essa leitura dialoga diretamente com as hipóteses relacionadas à baixa institucionalização da biossegurança e à ênfase excessiva em barreiras individuais, posteriormente testadas a partir dos dados empíricos.

2.6.5 Relação com inventário, rastreabilidade e biocustódia

Armazenamento e comunicação de perigos estão intrinsecamente ligados à qualidade do inventário e da rastreabilidade. Inventários incompletos ou desatualizados dificultam:

- identificação de frascos incompatíveis;
- controle de validade;
- planejamento de descarte;
- definição de responsabilidades (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020).

Da mesma forma, frascos sem rotulagem adequada inviabilizam a rastreabilidade, comprometendo a biocustódia e ampliando o risco de perdas, extravios ou uso indevido (WHO, 2020; OECD, 2022). Assim, esta seção reforça a premissa metodológica da tese de que as dimensões técnicas não podem ser analisadas isoladamente, mas como parte de um sistema integrado de governança do ciclo de vida do produto químico (ISO, 2018a).

2.6.6 Implicações para a definição de objetivos e hipóteses da tese

A inclusão desta dimensão na revisão bibliográfica fundamenta diretamente:

- o objetivo de avaliar as condições de armazenamento, identificação e controle nos laboratórios da UFV;
- a hipótese de que práticas estruturantes apresentam menor adesão do que medidas individuais;
- a análise da comunicação de perigos como indicador de maturidade institucional (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Além disso, justifica a escolha metodológica de utilizar instrumentos de coleta capazes de captar percepções, práticas declaradas e inconsistências operacionais, em vez de restringir a análise à existência formal de normas (ISO 19011, 2018).

2.6.6 Síntese: da prática técnica ao diagnóstico institucional

A literatura revisada demonstra que armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos são dimensões críticas da segurança química em laboratórios universitários. Contudo, sua efetividade depende menos da existência de regras isoladas e mais da integração entre técnica, governança e cultura institucional (WHO, 2020; ISO, 2018a, 2020a).

Para esta tese, essas dimensões são tratadas como indicadores estratégicos da governança de produtos químicos, permitindo avaliar não apenas o “como se faz”, mas o “como a instituição organiza, supervisiona e sustenta” essas práticas ao longo do tempo (ISO 19011, 2018; WHO, 2020).

2.7 Resíduos químicos, sustentabilidade e o problema dos “resíduos passivos” em instituições universitárias

A gestão de resíduos químicos constitui uma das etapas mais críticas do ciclo de vida de produtos químicos em laboratórios universitários, com implicações diretas para a biossegurança, a proteção ambiental, a saúde ocupacional e a sustentabilidade institucional. Diferentemente de ambientes industriais, onde fluxos e volumes tendem a ser mais previsíveis, laboratórios acadêmicos caracterizam-se por diversidade de reagentes, pequenas quantidades por frasco, rotatividade de projetos e encerramento

frequente de atividades, o que torna a gestão de resíduos mais complexa e dependente de governança estruturada (WHO, 2020; Machado; Fonseca, 2022).

2.7.1 Resíduos químicos como parte integrante do ciclo de vida

A literatura contemporânea enfatiza que resíduos não devem ser tratados como “etapa final” desconectada das demais fases do ciclo de vida do produto químico. Pelo contrário, decisões tomadas nas fases de aquisição, armazenamento e uso influenciam diretamente a quantidade, a periculosidade e a complexidade dos resíduos gerados (UNEP, 2012; WHO, 2020).

Nesse sentido, abordagens baseadas em ciclo de vida reforçam que:

- compras excessivas aumentam o risco de sobras e vencimentos;
- ausência de inventário confiável dificulta o planejamento de descarte;
- falhas de rotulagem transformam resíduos em materiais de identidade desconhecida;
- uso descentralizado sem registro favorece acúmulo e dispersão (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020).

Esses fatores são amplamente discutidos na literatura como causas estruturais da ineficiência na gestão de resíduos em ambientes acadêmicos, especialmente em instituições públicas, onde processos administrativos e orçamentários apresentam maior rigidez (Machado; Fonseca, 2022; WHO, 2020).

2.7.2 Sustentabilidade e gestão de produtos químicos em universidades

A sustentabilidade, no contexto da gestão de produtos químicos, envolve a redução de riscos ambientais, a minimização da geração de resíduos perigosos e a otimização do uso de recursos financeiros e materiais. Iniciativas internacionais, como o SAICM e a Agenda 2030, reforçam a expectativa de que instituições adotem práticas de consumo responsável, prevenção da poluição e proteção da saúde humana ao longo de todo o ciclo de vida das substâncias químicas (UNEP, 2012; United Nations, 2015).

Universidades ocupam posição singular nesse debate: além de grandes consumidoras de reagentes, são espaços de formação e produção de conhecimento, com responsabilidade ampliada na disseminação de boas práticas. A literatura aponta

que falhas recorrentes na gestão de resíduos químicos em universidades geram não apenas impactos ambientais, mas também contradições institucionais, ao comprometer a coerência entre discurso acadêmico e prática operacional (Machado; Fonseca, 2022; UNEP, 2012).

2.7.3 Resíduos passivos: definição e relevância para a governança institucional

O conceito de resíduos passivos refere-se ao acúmulo de produtos químicos e resíduos perigosos que permanecem armazenados por longos períodos, frequentemente sem identificação adequada, responsável definido ou plano de destinação. Esses resíduos podem incluir:

- reagentes vencidos;
- substâncias herdadas de projetos encerrados;
- frascos sem rótulo ou com rótulos ilegíveis;
- misturas antigas de composição desconhecida (WHO, 2020; Machado; Fonseca, 2022).

A literatura destaca que resíduos passivos representam um dos maiores desafios para instituições acadêmicas, pois combinam risco técnico, incerteza jurídica e elevado custo de destinação (WHO, 2020). Além disso, sua existência é frequentemente indicativa de falhas sistêmicas na governança do ciclo de vida de produtos químicos, e não apenas de problemas pontuais de descarte (ISO, 2018a).

2.7.4 Implicações ambientais, ocupacionais e financeiras dos resíduos passivos

Do ponto de vista ambiental, resíduos passivos aumentam a probabilidade de vazamentos, contaminação do solo e da água, e emissões acidentais. No plano ocupacional, representam risco significativo para trabalhadores que manipulam materiais de composição desconhecida, especialmente durante tentativas de limpeza ou reorganização de espaços laboratoriais (WHO, 2020).

A literatura também enfatiza o impacto financeiro desses passivos. A destinação emergencial de resíduos antigos tende a ser significativamente mais onerosa do que o descarte planejado, exigindo contratação de empresas especializadas, análises laboratoriais adicionais e, em alguns casos, intervenções estruturais. Em instituições públicas, esses custos podem comprometer orçamentos

já limitados, gerando ciclos de adiamento e agravamento do problema (Machado; Fonseca, 2022; WHO, 2020).

2.7.5 Marcos normativos e diretrizes aplicáveis à gestão de resíduos químicos

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece princípios como responsabilidade compartilhada, prevenção e gerenciamento integrado, com implicações diretas para instituições geradoras de resíduos perigosos (Brasil, 2010). O Decreto nº 10.936/2022 reforça a necessidade de planos de gerenciamento, rastreabilidade e destinação ambientalmente adequada (Brasil, 2022).

Normas técnicas, como a ABNT NBR 10004, oferecem critérios para classificação de resíduos quanto à periculosidade, orientando decisões sobre segregação e tratamento (ABNT, 2004). Contudo, a literatura ressalta que, em universidades, a aplicação dessas normas enfrenta desafios práticos relacionados à diversidade de resíduos, à falta de padronização interna e à escassez de equipes especializadas (Machado; Fonseca, 2022; WHO, 2020). Esse cenário normativo fragmentado reforça a necessidade de abordagens institucionais que integrem requisitos ambientais, ocupacionais e administrativos em um único sistema de governança (ISO, 2018a).

2.7.6 Relação entre resíduos, inventário e rastreabilidade

Diversos estudos apontam que a formação de resíduos passivos está fortemente associada à ausência de inventários confiáveis e sistemas de rastreabilidade (Kelly; Moran, 2020; WHO, 2020). Sem registros claros de entrada, uso e saldo de reagentes, torna-se difícil:

- identificar responsáveis;
- planejar descarte antes do vencimento;
- priorizar substituição de substâncias perigosas;
- consolidar resíduos para destinação conjunta (WHO, 2020; Machado; Fonseca, 2022).

Essa relação fundamenta a abordagem da tese de tratar resíduos não como problema isolado, mas como resultado acumulado de falhas ao longo do ciclo de vida. Assim, a análise da literatura sustenta a inclusão da gestão de resíduos como

dimensão essencial para avaliar a governança institucional de produtos químicos (ISO, 2018a; WHO, 2020).

2.7.7 Resíduos químicos e cultura organizacional

A literatura sobre cultura de segurança e sustentabilidade destaca que a gestão de resíduos reflete valores institucionais e incentivos organizacionais. Em ambientes onde a responsabilidade pelo descarte é difusa ou percebida como custo indesejado, há maior propensão ao adiamento e ao acúmulo de resíduos (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Por outro lado, instituições que incorporam a gestão de resíduos como parte de sua cultura de biossegurança tendem a adotar:

- treinamentos regulares;
- procedimentos claros para encerramento de projetos;
- auditorias periódicas de estoques e resíduos;
- integração entre compras, inventário e descarte (WHO, 2020; ISO 19011, 2018).

Esses elementos são recorrentes na literatura como fatores de prevenção de resíduos passivos e promoção de sustentabilidade (UNEP, 2012; WHO, 2020).

2.7.8 Implicações para os objetivos e hipóteses da pesquisa

A revisão bibliográfica evidencia que a gestão de resíduos químicos é componente central da governança do ciclo de vida de produtos químicos e está diretamente associada à segurança, sustentabilidade e eficiência institucional (Machado; Fonseca, 2022; WHO, 2020). Essa constatação sustenta os objetivos da tese relacionados à avaliação das práticas de descarte e gerenciamento de resíduos, bem como a hipótese de que a ausência de integração sistêmica favorece a formação de passivos ambientais e financeiros (ISO, 2018a; WHO, 2020). Ao delimitar esse arcabouço conceitual, a revisão fornece base teórica para a análise empírica subsequente, sem antecipar resultados, mas esclarecendo por que a gestão de resíduos químicos é dimensão estratégica para compreender a governança institucional em IFES.

2.8 Cultura de biossegurança, treinamento e fatores humanos em laboratórios acadêmicos

A literatura internacional em biossegurança e gestão de riscos reconhece que falhas em ambientes laboratoriais raramente decorrem apenas de deficiências técnicas ou estruturais. Em grande parte dos casos, incidentes, exposições e perdas estão associados a fatores humanos, organizacionais e culturais, que condicionam a forma como normas, procedimentos e sistemas são efetivamente aplicados no cotidiano (WHO, 2020).

Nesse contexto, a cultura de biossegurança emerge como elemento central para compreender por que laboratórios com infraestrutura semelhante apresentam níveis distintos de risco, conformidade e resiliência institucional.

2.8.1 Cultura de biossegurança: conceito e evolução

Cultura de biossegurança pode ser definida como o conjunto de valores, percepções, atitudes, competências e padrões de comportamento que determinam o comprometimento de indivíduos e organizações com a segurança em atividades laboratoriais. A OMS enfatiza que cultura não é sinônimo de cumprimento formal de normas, mas sim de internalização de princípios de prevenção, responsabilidade e aprendizagem organizacional (WHO, 2020).

A evolução do conceito acompanha a transição de modelos prescritivos — centrados em regras e barreiras físicas — para modelos sistêmicos, que integram:

- liderança institucional;
- comunicação eficaz;
- capacitação contínua;
- reporte de incidentes sem punição;
- revisão periódica de práticas (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Em universidades, essa evolução enfrenta desafios específicos, uma vez que a missão institucional prioriza ensino e pesquisa, e não necessariamente a gestão de riscos como atividade-fim (WHO, 2020).

2.8.2 Fatores humanos e o ambiente universitário

Laboratórios acadêmicos apresentam características que amplificam a influência dos fatores humanos:

- alta rotatividade de estudantes de graduação e pós-graduação;
- coexistência de usuários com diferentes níveis de experiência;
- múltiplos vínculos (bolsistas, estagiários, terceirizados);
- autonomia significativa de grupos e coordenadores;
- pressão por produtividade científica (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020).

A literatura aponta que esses fatores tendem a produzir assimetria de conhecimento e práticas, com dependência excessiva da experiência informal e da transmissão oral de procedimentos (Kelly; Moran, 2020). Em tal cenário, a ausência de treinamento estruturado e recorrente aumenta a probabilidade de comportamentos inseguros, mesmo quando normas formais existem (WHO, 2020; ISO, 2020a).

2.8.3 Treinamento como eixo estruturante da governança

O treinamento é amplamente descrito como um dos pilares da biossegurança. Contudo, a literatura distingue claramente treinamentos pontuais de programas institucionais contínuos. Enquanto os primeiros tendem a ter impacto limitado e temporário, os segundos contribuem para a consolidação de cultura organizacional e para a padronização de práticas (WHO, 2020; ISO, 2020a).

Em instituições com maior maturidade em segurança laboratorial, os programas de capacitação costumam incluir:

- treinamento inicial obrigatório antes do acesso ao laboratório;
- reciclagens periódicas;
- avaliação de competências;
- conteúdos diferenciados conforme nível de risco;
- integração entre segurança química, biológica e ambiental (WHO, 2020; ISO/IEC 17025, 2017).

Por outro lado, estudos indicam que, em universidades, treinamentos são frequentemente tratados como requisito burocrático ou opcional, com baixa frequência

e pouca integração com processos de autorização de acesso ou uso de substâncias perigosas (WHO, 2020; Lopes; Moura; Souza, 2023).

2.8.4 Cultura reativa versus cultura preventiva

A literatura sobre segurança distingue culturas reativas — que respondem a incidentes após sua ocorrência — de culturas preventivas, orientadas por identificação antecipada de riscos, monitoramento e melhoria contínua (WHO, 2020; ISO, 2018a). Em ambientes acadêmicos, a predominância de culturas reativas é frequentemente associada a:

- ausência de auditorias internas regulares;
- inspeções esporádicas;
- baixo reporte de quase-acidentes;
- percepção de que segurança “atrapalha” a pesquisa (WHO, 2020; ISO 19011, 2018).

Essa distinção é particularmente relevante para a tese, pois fundamenta a análise de que a mera disponibilidade de EPIs não equivale à adoção de práticas estruturantes de biossegurança. A literatura indica que culturas preventivas dependem menos de ações individuais isoladas e mais de governança institucional, liderança e incentivos alinhados (WHO, 2020; ISO, 2018a, 2018b).

2.8.5 Relação entre cultura, inventário e rastreabilidade

A efetividade de sistemas de inventário e rastreabilidade está fortemente condicionada à cultura organizacional. Inventários digitais, por exemplo, só se mantêm confiáveis quando os usuários:

- registram entradas e saídas de forma consistente;
- compreendem a finalidade do controle;
- percebem valor institucional na rastreabilidade (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020).

Sem cultura de segurança, sistemas formais tendem a se tornar incompletos ou desatualizados, reduzindo sua utilidade para gestão de riscos. A literatura enfatiza que falhas humanas — omissões, atalhos, registros tardios — não devem ser tratadas

apenas como desvios individuais, mas como sinais de fragilidade organizacional (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Essa perspectiva sustenta a abordagem da tese de avaliar não apenas a existência de sistemas e procedimentos, mas também a adesão declarada e percebida às práticas de segurança, aspecto central da metodologia adotada (ISO 19011, 2018).

2.8.6 Governança, liderança e responsabilidade institucional

A literatura converge ao afirmar que cultura de biossegurança não se sustenta sem liderança institucional clara. Em universidades, onde estruturas decisórias são frequentemente descentralizadas, a ausência de diretrizes institucionais robustas tende a transferir a responsabilidade integral para indivíduos ou laboratórios, gerando heterogeneidade e vulnerabilidades (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Modelos de governança mais maduros incorporam:

- definição explícita de responsabilidades;
- comissões ou instâncias técnicas de apoio;
- canais formais de comunicação;
- auditorias internas periódicas;
- mecanismos de retroalimentação e melhoria (ISO, 2018a, 2018b).

Esses elementos são recorrentes na literatura como fatores críticos para a consolidação de práticas de segurança em ambientes complexos e descentralizados, como as IFES (WHO, 2020).

2.8.7 Cultura de biossegurança e proteção institucional

Além da prevenção de acidentes, a literatura mais recente enfatiza que a cultura de biossegurança também contribui para a proteção institucional, especialmente no que se refere à prevenção de perdas, desvios e uso indevido de substâncias sensíveis (WHO, 2020; OECD, 2022). Em ambientes onde a cultura é frágil, controles formais podem ser contornados ou negligenciados, ampliando vulnerabilidades institucionais (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Essa abordagem dialoga com o debate sobre uso duplo e governança responsável da ciência, reforçando que a prevenção de riscos depende tanto de controles técnicos quanto de comportamento ético, responsabilidade e consciência institucional (OECD, 2022; WHO, 2020).

2.8.8 Implicações para os objetivos, hipóteses e metodologia da tese

A revisão bibliográfica evidencia que cultura de biossegurança, treinamento e fatores humanos são dimensões transversais que influenciam todas as etapas do ciclo de vida dos produtos químicos (WHO, 2020; ISO, 2018a). Essa constatação fundamenta:

- a inclusão de variáveis relacionadas a treinamento, percepção de risco e práticas declaradas na metodologia;
- a hipótese de que práticas estruturantes apresentam menor adesão do que medidas individuais;
- a análise da governança institucional como determinante da efetividade da biossegurança (WHO, 2020; ISO 19011, 2018).

Ao delimitar esse arcabouço teórico, a revisão prepara o terreno para a investigação empírica subsequente, permitindo que os resultados sejam interpretados à luz de referenciais consolidados na literatura internacional (WHO, 2020).

2.9 Bens sensíveis, listas de controle e o componente uso duplo em universidades

A discussão contemporânea sobre segurança em ciência e tecnologia reconhece que riscos associados ao uso indevido de conhecimentos, insumos e capacidades não se restringem a contextos industriais ou militares. Universidades e instituições públicas de pesquisa, por sua natureza aberta e formadora, ocupam posição estratégica nesse debate, ao mesmo tempo em que enfrentam desafios específicos de governança, custódia e rastreabilidade (OECD, 2022; WHO, 2020).

2.9.1 Conceito de uso duplo e sua aplicação ao ambiente acadêmico

O termo uso duplo refere-se a materiais, tecnologias, conhecimentos ou práticas que possuem aplicações legítimas para fins científicos, educacionais ou industriais, mas que também podem ser desviados para usos nocivos ou proibidos. A literatura enfatiza que o risco de uso duplo não está intrinsecamente associado à intenção do pesquisador, mas à possibilidade de conversão de capacidades em contextos inadequados ou não autorizados (WHO, 2020; OECD, 2022).

Em ambientes universitários, essa discussão ganha contornos particulares, pois:

- a circulação de estudantes e visitantes é intensa;
- há múltiplos projetos simultâneos;
- substâncias e reagentes são compartilhados entre grupos;
- a governança tende a ser descentralizada (WHO, 2020).

Assim, mesmo quando o uso é legítimo, a ausência de controles proporcionais pode gerar vulnerabilidades institucionais (ISO, 2018a; OECD, 2022).

2.9.2 Bens sensíveis e listas de controle: referenciais internacionais

Diversos regimes e instrumentos internacionais estabelecem listas e orientações técnicas para identificação de substâncias e materiais sensíveis. No campo químico, a Convenção sobre Armas Químicas (CAQ) e os documentos técnicos da OPAQ/OPCW fornecem listas de substâncias e precursores sujeitos a monitoramento e controle (OPCW, 2018). Embora esses instrumentos não tenham sido concebidos especificamente para o cotidiano universitário, eles influenciam políticas nacionais e expectativas regulatórias.

De forma complementar, grupos técnicos internacionais, como o Australia Group, produzem listas orientativas de substâncias e equipamentos relevantes para fins de não proliferação, amplamente utilizadas como referência técnica por autoridades nacionais (Australia Group, s.d.; Arms Control Association, s.d.). A literatura ressalta que tais listas devem ser interpretadas como ferramentas de apoio à análise de risco, e não como proibição automática de uso acadêmico (OECD, 2022; WHO, 2020).

No domínio biológico, instrumentos como a Convenção sobre Armas Biológicas (CAB) e documentos associados ao debate sobre *Dual-Use Research of Concern* (DURC) reforçam a necessidade de mecanismos institucionais de revisão, supervisão e mitigação de riscos associados à pesquisa científica (*United Nations*, 1972; WHO, 2020).

2.9.3 Interfaces entre produtos químicos, uso duplo e governança institucional

Embora o conceito de uso duplo seja frequentemente associado a agentes biológicos, a literatura mais recente reconhece que produtos químicos comuns em laboratórios acadêmicos podem integrar cadeias de risco quando considerados como precursores, reagentes habilitadores ou componentes de processos sensíveis. Substâncias amplamente utilizadas para fins legítimos podem adquirir relevância sob a ótica da proteção institucional quando:

- não há inventário confiável;
- os controles de acesso são inexistentes;
- a rastreabilidade é limitada;
- não há distinção entre níveis de criticidade (WHO, 2020; OECD, 2022).

Nesse sentido, a governança institucional passa a ser elemento-chave. A literatura destaca que o risco não decorre da simples presença de substâncias sensíveis, mas da combinação entre disponibilidade, ausência de controles e fragilidade cultural (WHO, 2020; OECD, 2022; ISO, 2018a).

2.9.4 Bioproteção, proteção institucional e ambiente universitário

O conceito de bioproteção, conforme adotado por organismos internacionais, refere-se à prevenção de acesso não autorizado, perda, roubo, uso indevido ou liberação intencional de materiais perigosos. Embora tradicionalmente aplicado a agentes biológicos, o conceito é progressivamente utilizado de forma ampliada para abranger insumos, informações e capacidades que possam ser exploradas de maneira indevida (WHO, 2020; OECD, 2022).

No contexto universitário, essa ampliação não implica militarização ou restrição indevida da pesquisa, mas sim o fortalecimento de mecanismos de governança, tais como:

- inventários auditáveis;
- controles proporcionais ao risco;
- autorização de acesso baseada em perfil e treinamento;
- responsabilização clara (WHO, 2020; ISO, 2018a).

A literatura enfatiza que tais medidas são compatíveis com a liberdade acadêmica e com a missão universitária, desde que baseadas em análise de risco e proporcionalidade (OECD, 2022; WHO, 2020).

2.9.5 Uso duplo, cultura organizacional e responsabilidade científica

O debate sobre uso duplo em universidades também dialoga com a noção de responsabilidade científica. Autores destacam que a mitigação de riscos não depende apenas de controles técnicos, mas de consciência ética, treinamento e cultura organizacional (Hess, 2021; OECD, 2022).

Nesse sentido, programas institucionais de biossegurança e governança de riscos são apontados como mecanismos eficazes para:

- sensibilizar pesquisadores e estudantes;
- promover reflexão sobre impactos potenciais da pesquisa;
- integrar segurança ao planejamento científico, sem comprometer inovação (OECD, 2022; WHO, 2020).

A literatura alerta que, na ausência desses mecanismos, a gestão de riscos tende a ser reativa e fragmentada, aumentando a vulnerabilidade institucional (WHO, 2020; ISO, 2018a).

2.9.6 Governança de bens sensíveis e integração com inventário e rastreabilidade

Estudos internacionais convergem ao afirmar que a governança de bens sensíveis em universidades deve ser integrada aos sistemas de inventário e rastreabilidade. A simples identificação de uma substância como “sensível” é insuficiente se não houver:

- registros confiáveis de entrada e saída;
- definição de responsáveis;
- auditorias periódicas;

- integração com compras e logística (WHO, 2020; ISO, 2018b; OECD, 2022).

A literatura descreve modelos institucionais em que controles adicionais são aplicados de forma graduada, conforme o nível de risco, evitando tanto a ausência de controle quanto a imposição de barreiras desproporcionais (OECD, 2022; ISO, 2018a). Essa abordagem reforça a pertinência de avaliar, no âmbito da tese, como as instituições lidam com diferentes categorias de produtos químicos (WHO, 2020).

2.9.7 Implicações para os objetivos e hipóteses da pesquisa

A revisão bibliográfica evidencia que o componente uso duplo e a gestão de bens sensíveis são dimensões relevantes da governança de produtos químicos em universidades, especialmente quando analisadas sob a ótica da proteção institucional (OECD, 2022; WHO, 2020). Essa constatação fundamenta:

- a inclusão de perguntas relacionadas à presença de substâncias controladas ou sensíveis;
- a análise da integração (ou ausência dela) entre inventário, controle e governança;
- a hipótese de que lacunas institucionais ampliam vulnerabilidades, independentemente da intenção dos usuários (WHO, 2020; OECD, 2022).

Ao delimitar esse referencial teórico, a revisão prepara o terreno para a análise empírica, permitindo que os dados coletados sejam interpretados à luz de conceitos consolidados e sem extrapolações indevidas.

2.10 Síntese crítica da revisão bibliográfica e identificação de lacunas

A revisão bibliográfica apresentada neste capítulo evidencia que a gestão de produtos químicos em laboratórios universitários é um tema consolidado sob diferentes perspectivas — ocupacional, ambiental, normativa e, em menor medida, institucional —, mas ainda fragmentado em termos de abordagem integrada. A literatura internacional e nacional converge ao reconhecer que substâncias químicas representam riscos relevantes à saúde, ao meio ambiente e à continuidade das atividades científicas, demandando sistemas estruturados de prevenção, controle e resposta (WHO, 2020; ISO, 2018a; UNEP, 2012).

Entretanto, essa convergência conceitual não se traduz, de forma homogênea, em modelos de governança aplicáveis ao contexto das instituições federais de ensino

superior (IFES), especialmente em países em desenvolvimento (Lopes; Moura; Souza, 2023). O ambiente universitário apresenta características singulares — autonomia de laboratórios, diversidade de linhas de pesquisa, alta rotatividade de estudantes, múltiplas fontes de aquisição de insumos e restrições orçamentárias — que tensionam a implementação de sistemas padronizados e sustentáveis de gestão do ciclo de vida de produtos químicos (WHO, 2020; Machado; Fonseca, 2022).

2.10.1 Fragmentação temática e normativa na literatura

A análise da literatura revela uma fragmentação temática relevante. Estudos sobre segurança química em laboratórios tendem a concentrar-se em aspectos específicos, como:

- uso de EPIs e EPCs;
- compatibilidade e armazenamento;
- rotulagem e FDS/FISPQ;
- descarte e gestão de resíduos perigosos (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020).

Embora esses elementos sejam fundamentais, eles frequentemente são tratados de forma operacional e setorial, sem integração explícita com modelos de governança institucional, gestão de riscos ou proteção institucional (ISO, 2018a, 2018b). A literatura ambiental, por sua vez, aborda a geração e destinação de resíduos químicos, mas raramente articula esses processos com inventários, rastreabilidade e controle de insumos ao longo do ciclo de vida (Machado; Fonseca, 2022; WHO, 2020). No plano normativo, observa-se um arcabouço robusto, porém disperso.

Normas trabalhistas, ambientais, sanitárias e de controle de substâncias coexistem, mas não constituem, isoladamente, um sistema coerente de gestão do ciclo de vida de produtos químicos em IFES (Brasil, 2010, 2019; ANVISA, 2018). A ausência de uma legislação nacional específica para biossegurança laboratorial fora do escopo de OGMs reforça essa lacuna, transferindo às instituições a responsabilidade de compor seus próprios arranjos de governança a partir de referenciais heterogêneos (Lopes; Moura; Souza, 2023; ISO, 2018).

2.10.2 Lacuna de abordagens integradas baseadas no ciclo de vida

Outro achado central da revisão é a escassez de estudos que adotem explicitamente o ciclo de vida do produto químico como eixo analítico em instituições de ensino superior. A maior parte das publicações aborda etapas isoladas (armazenamento, uso ou descarte), sem considerar as interdependências entre aquisição, recebimento, inventário, movimentação interna, uso, geração de resíduos e destinação final (WHO, 2020; Machado; Fonseca, 2022).

Essa lacuna é particularmente relevante, pois a literatura de gestão de riscos (ISO 31000) e de biossegurança (WHO, 2020) enfatiza que falhas em etapas iniciais tendem a produzir efeitos em cascata, ampliando riscos ocupacionais, ambientais e institucionais (ISO, 2018a; WHO, 2020). A ausência de estudos que analisem essas interconexões limita a compreensão sistêmica do problema e dificulta a formulação de recomendações estruturantes para IFES (Lopes; Moura; Souza, 2023).

2.10.3 Custódia, dual use e proteção institucional: campo emergente e pouco explorado

A revisão evidencia que o debate sobre uso duplo, bioproteção e proteção institucional está amplamente consolidado no campo biológico, mas ainda é incipiente quando aplicado à gestão de produtos químicos em universidades (OECD, 2022; WHO, 2020). Quando presente, o tema aparece de forma periférica ou associado exclusivamente a substâncias altamente controladas, sem examinar práticas cotidianas de inventário, rastreabilidade e custódia em ambientes acadêmicos (WHO, 2020).

A literatura indica que o risco institucional não decorre apenas da presença de substâncias sensíveis, mas da combinação entre disponibilidade, ausência de controles proporcionais e fragilidade de governança (OECD, 2022; ISO, 2018a). No entanto, há poucos estudos empíricos que avaliem como universidades brasileiras lidam, na prática, com:

- identificação de substâncias com potencial de uso duplo;
- diferenciação de níveis de criticidade;
- integração entre inventário, controle de acesso e responsabilidade institucional (Lopes; Moura; Souza, 2023; Machado; Fonseca, 2022).

Essa lacuna justifica a inclusão, na presente tese, da custódia como conceito operacional, não com viés securitário, mas como ferramenta de governança responsável e proteção institucional (WHO, 2020; OECD, 2022).

2.10.4 Cultura de segurança e fatores humanos: consenso conceitual, fragilidade empírica

A literatura é consistente ao apontar a cultura de segurança como elemento determinante para a efetividade de qualquer sistema de biossegurança (WHO, 2020). Entretanto, estudos empíricos que correlacionem cultura organizacional, práticas de inventário, gestão de resíduos e governança institucional em IFES ainda são limitados, especialmente no contexto brasileiro (Lopes; Moura; Souza, 2023; Machado; Fonseca, 2022).

A predominância de abordagens descritivas ou normativas, sem análise integrada de comportamento, treinamento e adesão a rotinas administrativas, revela uma lacuna importante (WHO, 2020; ISO 19011, 2018). Essa lacuna é particularmente sensível em universidades, onde a alta rotatividade de pessoal e a pressão por produtividade científica tendem a fragilizar a institucionalização de práticas de segurança (WHO, 2020).

2.10.5 Sustentabilidade e resíduos passivos: convergência conceitual, implementação desigual

A integração entre biossegurança e sustentabilidade é amplamente defendida em marcos internacionais (SAICM, Agenda 2030), mas a literatura aponta dificuldades persistentes de implementação em instituições públicas de ensino superior (UNEP, 2012; United Nations, 2015; Machado; Fonseca, 2022). O problema dos resíduos passivos emerge como expressão concreta dessa lacuna: substâncias adquiridas e não utilizadas, estoques antigos sem identificação e resíduos armazenados indefinidamente (WHO, 2020; Machado; Fonseca, 2022).

Embora existam estudos sobre gerenciamento de resíduos em universidades, poucos os conectam de forma sistemática à governança do ciclo de vida de produtos químicos, ao planejamento de compras e à rastreabilidade (Machado; Fonseca, 2022;

WHO, 2020). Essa desconexão reforça a necessidade de abordagens que articulem segurança, sustentabilidade e gestão institucional (ISO, 2018a).

2.10.6 Justificativa científica da pesquisa

Diante desse panorama, a revisão bibliográfica evidencia uma lacuna relevante de conhecimento aplicado: a ausência de diagnósticos integrados sobre as condições de governança e gestão do ciclo de vida de produtos químicos em IFES, que articulem biossegurança, custódia, sustentabilidade e cultura organizacional sob uma abordagem baseada em risco (WHO, 2020; ISO, 2018a; Lopes; Moura; Souza, 2023).

Essa lacuna fundamenta a presente pesquisa, que se propõe a analisar, de forma sistemática, as práticas institucionais relacionadas a inventário, controle, armazenamento, descarte e governança de produtos químicos em uma IFES, à luz de referenciais técnicos e normativos consolidados (ISO, 2017, 2018b, 2020a; WHO, 2020). Ao fazê-lo, a tese busca produzir evidências empíricas que subsidiem recomendações factíveis e replicáveis, contribuindo para o fortalecimento da biossegurança e da gestão responsável da ciência no contexto universitário (OECD, 2022; WHO, 2020).

2.10.6 Transição para o capítulo metodológico

A síntese crítica apresentada neste capítulo fornece o arcabouço conceitual que orienta a definição dos objetivos, hipóteses e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. As lacunas identificadas — fragmentação normativa, ausência de abordagem de ciclo de vida, fragilidade de inventários, desafios de cultura organizacional e insuficiente integração entre segurança e sustentabilidade — informam diretamente as escolhas metodológicas, os instrumentos de coleta de dados e os critérios de análise apresentados no capítulo seguinte.

2.11 Modelo conceitual de referência para a análise da governança do ciclo de vida de produtos químicos em IFES

A partir da revisão bibliográfica realizada, torna-se evidente que a gestão de produtos químicos em instituições federais de ensino superior demanda uma

abordagem integrada, capaz de articular dimensões técnicas, normativas, organizacionais e culturais. Os referenciais internacionais e nacionais analisados convergem ao reconhecer que riscos associados a produtos químicos não decorrem exclusivamente das propriedades intrínsecas das substâncias, mas da forma como estas são geridas ao longo de todo o seu ciclo de vida, em contextos institucionais complexos e dinâmicos, como o ambiente universitário (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Com base nessa convergência, esta tese adota um modelo conceitual integrador, estruturado a partir de três eixos centrais:

- o ciclo de vida do produto químico;
- a gestão de riscos baseada em princípios da ISO 31000; e
- camadas complementares de controle, que articulam biossegurança, sustentabilidade e proteção institucional (ISO, 2018a; WHO, 2020; OECD, 2022).

2.12 Modelo conceitual integrado de governança do ciclo de vida de produtos químicos

2.12.1 O ciclo de vida do produto químico como eixo estruturante

O ciclo de vida do produto químico constitui o eixo analítico central do modelo proposto nesta tese. Para fins desta pesquisa, esse ciclo compreende etapas interdependentes que articulam dimensões técnicas, administrativas e institucionais:

- aquisição e planejamento de compras;
- recebimento e conferência;
- inventário e registro;
- rotulagem e comunicação de perigos;
- armazenamento e segregação por compatibilidade;
- uso e manipulação em atividades de ensino e pesquisa;
- transferências internas e compartilhamento;
- geração de resíduos;
- armazenamento temporário de resíduos;
- destinação final ambientalmente adequada (WHO, 2020; ISO, 2018a).

2.13 Gestão de produtos químicos em laboratórios universitários: escopo e relevância

A gestão do ciclo de vida de produtos químicos em instituições federais de ensino superior (IFES) constitui um campo interdisciplinar que integra dimensões ocupacionais, ambientais, institucionais e, em situações específicas, de segurança. Em laboratórios de ensino e pesquisa, os produtos químicos são adquiridos, recebidos, armazenados, manipulados, transferidos e descartados em condições frequentemente heterogêneas, influenciadas por fatores como cultura departamental, rotatividade de pessoal, diversidade de linhas de pesquisa e limitações estruturais típicas do setor público.

Nesse contexto, falhas na gestão de reagentes e resíduos podem produzir impactos em múltiplas escalas. No plano **micro**, afetam diretamente a segurança de estudantes, técnicos e docentes, ao aumentar a exposição a agentes tóxicos, corrosivos, inflamáveis ou reativos, elevando a probabilidade de incidentes (derramamentos, queimaduras, intoxicações e incêndios). No plano **meso**, comprometem a continuidade das atividades científicas (perdas de amostras, interdições, danos à infraestrutura e a equipamentos) e geram passivos administrativos (inconsistências em inventários, lacunas documentais, inconformidades com rotulagem e com FDS/FISPQ). No plano **macro**, relacionam-se à sustentabilidade e à conformidade ambiental e, de modo delimitado, à proteção institucional frente a riscos de desvio e uso indevido (uso duplo) (WHO, 2020).

A literatura internacional de biossegurança e governança de riscos em laboratório enfatiza que a segurança não deve ser reduzida a “armazenamento correto” e “destinação final”, mas deve incluir inventário, controle de acesso, rastreabilidade, resposta a incidentes e cultura organizacional (WHO, 2020). Em universidades, onde a atividade-fim é o ensino e a pesquisa, a gestão do risco enfrenta um paradoxo recorrente: trata-se de um ambiente altamente especializado e produtivo, porém frequentemente submetido a estruturas de governança fragmentadas e com autonomia elevada de laboratórios e grupos, o que dificulta a adoção de padrões institucionais uniformes.

2.14 Conceitos estruturantes: biossegurança, bioproteção e proteção institucional

O Manual de Biossegurança em Laboratório da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2020) consolida uma abordagem em que a biossegurança não se limita a barreiras físicas e ao uso de EPIs/EPCs, mas se organiza como um sistema de gestão orientado por risco, integrando requisitos técnicos, fatores humanos e governança institucional. Nesse enquadramento, riscos relacionados a substâncias químicas — por exemplo, vapores tóxicos, reatividade, incompatibilidades, incêndio/explosão e geração de resíduos perigosos — são compreendidos como parte do escopo da segurança laboratorial, sobretudo quando a densidade de insumos e processos torna a prevenção dependente de rotina, padronização e monitoramento.

A bioproteção é usualmente associada à prevenção de acesso não autorizado, perda, roubo, uso indevido ou liberação intencional de agentes biológicos e materiais correlatos. Contudo, documentos internacionais e abordagens institucionais ampliam o foco para insumos e capacidades que componham cadeias de risco, incluindo reagentes e precursores com potencial de uso dual (WHO, 2020). Em universidades, essa ampliação é relevante porque ambientes de pesquisa, quando desprovidos de governança e controles proporcionais, podem apresentar vulnerabilidades associadas a inventários incompletos, circulação interna sem rastreabilidade e controle de acesso pouco padronizado.

Nessa perspectiva, adota-se neste trabalho a noção operacional de biocustódia como conjunto de práticas de custódia e rastreabilidade aplicáveis ao ciclo de vida de produtos químicos em contexto acadêmico. A biocustódia é entendida como: (i) inventário confiável e auditável; (ii) controles de entrada e saída; (iii) identificação e rotulagem; (iv) segregação por compatibilidade; (v) registros de movimentação e responsabilização; e (vi) auditorias e revisões internas. Embora o termo seja mais frequente em materiais associados a bioproteção, sua aplicação operacional a produtos químicos se justifica quando o objetivo é fortalecer a proteção institucional, prevenir perdas e desvios, promover conformidade e reduzir riscos ao longo do ciclo de vida (WHO, 2020).

2.15 Governança e gestão de riscos: ISO 31000 e interfaces com sistemas de gestão

A ISO 31000 (ISO, 2018a) constitui referência consolidada para gestão de riscos, ao propor princípios e processos para identificação, análise, avaliação e tratamento, além de comunicação, consulta, monitoramento e melhoria contínua. Aplicada à gestão de produtos químicos, a norma oferece um arcabouço para estruturar a governança do ciclo de vida de insumos perigosos com base em risco, permitindo que controles sejam estabelecidos de forma proporcional à criticidade das substâncias e às vulnerabilidades do ambiente institucional.

No contexto universitário, a ISO 31000 contribui para superar abordagens fragmentadas, ao favorecer um desenho sistêmico: a gestão de produtos químicos deixa de ser exclusivamente responsabilidade do laboratório e passa a integrar níveis de decisão e controle (departamentos, centros, campus, pró-reitorias e áreas técnicas). Ao articular processo decisório, responsabilidades e métricas, a governança do risco pode incorporar inventário, rastreabilidade, auditorias, capacitação, resposta a emergências e gestão de resíduos como elementos interdependentes. Assim, o ciclo de vida de produtos químicos pode ser modelado como cadeia contínua, na qual falhas em uma etapa — por exemplo, recebimento sem conferência e rotulagem — geram efeitos em cascata, como armazenamento incompatível, uso indevido, formação de resíduos passivos e descarte irregular.

Além da ISO 31000, abordagens internacionais alinhadas à cultura de segurança e à melhoria contínua convergem no entendimento de que controles técnicos precisam ser acompanhados de governança, competência e monitoramento. Em universidades, essa convergência torna-se particularmente relevante, pois há grande variação de maturidade e recursos entre laboratórios, e a alta rotatividade de estudantes intensifica a necessidade de capacitação e padronização.

2.16 Marcos internacionais: desarmamento, não proliferação, responsabilidade e sustentabilidade

A discussão sobre produtos químicos e biossegurança em laboratório dialoga com regimes internacionais que, embora não tenham sido desenhados para o cotidiano universitário, influenciam conceitos, listas, princípios e expectativas

institucionais. A Convenção sobre Armas Químicas (CAQ) estabeleceu um dos mais robustos regimes internacionais de controle e verificação, incluindo listas de substâncias e mecanismos de inspeção por meio da OPAQ/OPCW (OPCW, s.d.; OPCW, 2018). A CAQ reforça a centralidade do controle de substâncias relevantes e a necessidade de sistemas nacionais que internalizem obrigações e previnam a conversão de capacidades químicas civis em aplicações hostis.

De modo complementar, a Resolução 1540 do Conselho de Segurança da ONU (UNSC, 2004) determina que os Estados adotem medidas para impedir que atores não estatais adquiram e utilizem armas nucleares, químicas e biológicas, incluindo “controles internos apropriados”. Embora esse instrumento opere em nível estatal, ele é frequentemente interpretado como estímulo ao fortalecimento de controles em cadeias de suprimento, instituições e ambientes onde substâncias críticas possam circular.

A Convenção sobre Armas Biológicas (CAB, 1972), ainda que centrada no domínio biológico, integra o ecossistema normativo de não proliferação e governança responsável, reforçando o debate sobre uso indevido do conhecimento e a necessidade de mecanismos institucionais de prevenção, especialmente em ambientes científicos (United Nations, 1972). Em convergência, a literatura sobre *Dual-Use Research of Concern* (DURC) enfatiza que o avanço científico pode gerar conhecimentos e práticas passíveis de uso hostil, demandando mecanismos institucionais de revisão e mitigação (WHO, 2020; Kelly; Moran, 2020; Hess, 2021).

No eixo da sustentabilidade, iniciativas como o SAICM e a Agenda 2030 consolidam a expectativa internacional de gestão segura e ambientalmente responsável de substâncias químicas ao longo do ciclo de vida, conectando segurança, saúde pública e proteção ambiental (UNEP, 2012; United Nations, 2015). Para universidades, esse eixo é especialmente relevante porque laboratórios são geradores importantes de resíduos perigosos e, quando não dispõem de sistemas estruturados, tendem a formar resíduos passivos (estoques antigos, desconhecidos ou sem destinação), elevando risco e custo institucional (Quadro 2 — Apêndice C).

2.17 Marcos regulatórios nacionais: fragmentação normativa e desafios de implementação em IFES

No Brasil, a governança e o controle de produtos químicos aplicáveis a laboratórios universitários se organizam em camadas regulatórias e técnicas parcialmente sobrepostas, distribuídas entre campos ocupacional, ambiental, sanitário, de transporte, normas técnicas ABNT e regimes de controle de substâncias por diferentes órgãos. Embora esse arcabouço ofereça fundamentos relevantes para a segurança química, sua estrutura é fragmentada e não foi desenhada especificamente para o cotidiano de laboratórios de ensino e pesquisa.

Em consequência, as IFES frequentemente precisam “compor” seu sistema de gestão a partir de normas de objetivos distintos, com escopo e linguagem próprios, gerando interpretações divergentes, lacunas operacionais e grande heterogeneidade entre unidades acadêmicas.

2.17.1 Camada ocupacional e comunicação de perigos: NR e GHS como base mínima, porém insuficiente

A dimensão ocupacional fornece o alicerce normativo para proteger trabalhadores e usuários de laboratório frente a agentes químicos perigosos, incluindo sinalização e comunicação de riscos, limites de exposição e medidas de proteção. Nesse domínio, a NR-26 tem papel central ao tratar da sinalização de segurança e da rotulagem preventiva, incorporando requisitos associados ao Sistema Globalmente Harmonizado (GHS). Na prática, isso se traduz em exigência de identificação adequada de perigos, uso de pictogramas, e informações essenciais ao manejo seguro de substâncias e misturas, em alinhamento com práticas contemporâneas de comunicação de perigo.

Entretanto, apesar de essencial, a NR-26 tende a operar como camada mínima de conformidade e não como um sistema de gestão do ciclo de vida. Em ambiente universitário, onde coexistem frascos originais, frascos secundários, soluções preparadas e amostras intermediárias, os problemas mais frequentes decorrem de: (i) rotulagem incompleta de frascos secundários; (ii) ausência de data, concentração e responsável; (iii) coexistência de padrões distintos entre laboratórios; e (iv) baixa integração entre rotulagem e disponibilidade de FDS/FISPQ. Assim, ainda que o

marco ocupacional estabeleça princípios, ele não garante, por si só, rastreabilidade, custódia, padronização institucional e prevenção de passivos.

Adicionalmente, normas como a NR-15 (insalubridade e parâmetros de exposição) subsidiam decisões relacionadas a riscos ocupacionais e medidas de controle, reforçando a lógica de prevenção e proteção do trabalhador. Porém, em IFES, a aplicação tende a ser desigual, tanto por limitações de infraestrutura (cabines e ventilação) quanto por ausência de rotinas sistemáticas de avaliação e monitoramento em laboratório — o que reforça a necessidade de governança institucional para transformar “norma” em “rotina”.

2.17.2 Camada ambiental e gestão de resíduos: PNRS e desafios estruturais em IFES

No campo ambiental, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305/2010) e o Decreto nº 10.936/2022 representam um marco estruturante ao consolidar princípios de responsabilidade compartilhada, planejamento e gestão integrada de resíduos. Para universidades, esse arcabouço é decisivo porque laboratórios são geradores contínuos de resíduos perigosos e, quando não há governança robusta, formam-se estoques “herdados” — os chamados resíduos passivos — que acumulam risco e custo ao longo do tempo.

Em IFES, a implementação da PNRS enfrenta barreiras recorrentes: (i) restrições orçamentárias para contratação de destinação final; (ii) dificuldades de padronização de segregação e rotulagem de resíduos; (iii) ausência de inventário integrado que permita prever geração e custos; (iv) armazenamento temporário prolongado, elevando risco de degradação de embalagens e perda de identificação; e (v) dependência de rotinas descentralizadas em laboratórios, com capacidade variável de execução. O efeito prático é que a norma existe e é robusta, mas a execução tende a ser intermitente e reativa, frequentemente acionada por auditorias, incidentes ou demandas pontuais.

Normas técnicas como a ABNT NBR 10004 (classificação de resíduos quanto à periculosidade) fornecem base para decisões sobre segregação, acondicionamento e destinação. Contudo, para que essa base seja aplicada de modo consistente, a instituição precisa de processos padronizados (procedimentos operacionais, treinamento, inspeções) e de infraestrutura de suporte (pontos de coleta, armazenamento temporário adequado, contratos de transporte e destinação). Em

outras palavras: a PNRS e a NBR 10004 não “resolvem” o problema; elas exigem um sistema institucional capaz de executar e auditar.

2.17.3 Camada sanitária: RDC 222/2018 e interfaces com rotinas laboratoriais

Embora parte importante do marco sanitário tenha sido estruturada com foco em serviços de saúde, instrumentos como a RDC nº 222/2018 (ANVISA) dialogam com laboratórios universitários, sobretudo onde há geração de resíduos que combinam risco químico e biológico, ou onde práticas e fluxos se aproximam de rotinas laboratoriais biomédicas. O desafio, em IFES, é que esse conjunto normativo frequentemente é aplicado por analogia, gerando: (i) dúvidas sobre enquadramento; (ii) soluções heterogêneas; e (iii) sobreposição com marcos ambientais e ocupacionais.

Na prática, isso reforça a necessidade de um marco institucional próprio (política interna, procedimentos e critérios) que traduza o que é aplicável ao contexto de ensino e pesquisa, sem depender exclusivamente de interpretação local. Esse ponto é particularmente relevante em universidades com múltiplas áreas (química, bioquímica, biotecnologia, agrárias, veterinária, engenharia), porque o perfil de resíduos e de substâncias varia consideravelmente entre departamentos.

2.17.4 Normas técnicas ABNT e o papel da padronização operacional

O ambiente universitário depende fortemente de normas técnicas para orientar controles operacionais: rotulagem, FDS/FISPQ, compatibilidade, armazenagem e segurança de equipamentos e instalações (cabines, armários, ventilação, contenção secundária). A ABNT NBR 14725 (ABNT, 2023), ao internalizar o GHS, estrutura a comunicação de perigos e a padronização das FDS/FISPQ. Contudo, em IFES, é comum observar a coexistência de diferentes versões e práticas, com atualizações não sistemáticas, o que impacta diretamente a prontidão para emergências e a qualidade do gerenciamento de risco.

A experiência em laboratórios universitários sugere que a principal fragilidade não é a inexistência de normas técnicas, mas a ausência de mecanismos institucionais para: (i) garantir atualização; (ii) controlar frascos secundários e soluções preparadas; (iii) padronizar práticas entre unidades; e (iv) auditar conformidade de modo

recorrente. Assim, as normas ABNT são necessárias, mas insuficientes sem governança interna e recursos operacionais.

2.17.5 Substâncias controladas: multiplicidade de órgãos, bases e exigências

Um eixo crítico para a governança institucional de produtos químicos em IFES é o controle de substâncias reguladas por diferentes órgãos, com finalidades distintas e exigências próprias. Entre os exemplos mais relevantes no contexto universitário, destacam-se:

- **Polícia Federal (PF):** controle de substâncias suscetíveis a desvio para produção ilícita (por exemplo, precursores associados a drogas e, em certos casos, a explosivos), com listas e exigências administrativas específicas.
- **Exército Brasileiro/COLOG (EB/COLOG):** controle de produtos químicos de interesse militar e itens correlatos, incluindo categorias que dialogam com regimes internacionais de controle químico.
- **ANVISA:** controle sanitário de substâncias entorpecentes, psicotrópicas e precursoras em contexto de saúde pública, com regras próprias de registro, aquisição, armazenamento e prestação de contas.
- **Polícia Civil (PC), em alguns estados:** exigências estaduais pontuais, muitas vezes relacionadas a inflamáveis/corrosivos e fiscalização local, ampliando a heterogeneidade do ambiente regulatório brasileiro.

Em IFES, a coexistência desses regimes cria pelo menos quatro tipos de desafio prático:

- **Identificação:** laboratórios nem sempre reconhecem que determinada substância está sob controle de órgão específico, sobretudo quando se trata de substâncias “comuns” em rotinas científicas;
- **Harmonização:** regras distintas de aquisição, armazenamento, registros e auditorias geram confusão e soluções locais improvisadas;
- **Rastreabilidade:** a substância pode entrar por múltiplos canais (projetos, convênios, doações, compras diretas), sem padronização de conferência e registro;
- **Prestação de contas:** sem inventário integrado, relatórios e auditorias tornam-se trabalhosos, reativos e sujeitos a inconsistências.

Essa multiplicidade é especialmente sensível em universidades porque o uso é tipicamente legítimo e científico, porém o ambiente possui características estruturais

que elevam vulnerabilidades: alta rotatividade de usuários, múltiplos responsáveis, heterogeneidade de cultura e autonomia departamental. Assim, um desenho institucional eficiente precisa operar com lógica de **controles proporcionais ao risco**, não apenas “controle por lista”.

2.17.6 Transporte e movimentação interna: lacuna operacional frequente

Outro ponto recorrente em IFES é a lacuna entre o controle regulatório de transporte externo de produtos perigosos e a realidade da movimentação interna em campus universitário. Ainda que existam referências para transporte de produtos perigosos em vias públicas, a movimentação cotidiana em ambiente universitário — entre prédios, laboratórios, campi e unidades — tende a ocorrer sem protocolos suficientemente padronizados. Isso inclui transporte manual de frascos, ausência de contenção secundária, inexistência de rotas definidas e variação de práticas entre equipes.

Embora, na prática, muitas instituições adotem recomendações internas, a ausência de um padrão nacional voltado a campus universitário reforça a necessidade de políticas institucionais claras: requisitos mínimos de embalagem, contenção, rotas, autorização, registro e treinamento.

2.17.7 O problema das “múltiplas portas de entrada” e o efeito sobre governança

No ambiente universitário, a estrutura de financiamento e aquisição frequentemente amplia a fragmentação. Editais de fomento, convênios, compras descentralizadas, cartão pesquisador, doações e aquisições diretas criam um cenário de múltiplas portas de entrada que dificulta rastreabilidade e aumenta a probabilidade de inventários paralelos. Esse fenômeno tem efeito direto sobre:

- a confiabilidade do inventário institucional;
- a prevenção de compras duplicadas;
- a formação de resíduos passivos;
- a capacidade de auditar substâncias controladas; e
- a resposta a emergências.

Por isso, a revisão aponta que a governança do ciclo de vida em IFES não depende apenas de “mais normas”, mas de integração sistêmica entre compras, recebimento, inventário, armazenamento, uso, descarte e destinação.

2.17.8 Síntese: por que a fragmentação regulatória demanda um modelo institucional integrador

A literatura e os marcos nacionais indicam que o Brasil dispõe de instrumentos relevantes para comunicação de perigos, proteção ocupacional, gestão ambiental e controle de substâncias reguladas. Entretanto, a ausência de regulamentação específica para laboratórios de ensino e pesquisa, somada à fragmentação de competências e à falta de integração de sistemas, cria um cenário em que IFES precisam construir soluções internas de governança, frequentemente com diferentes níveis de maturidade.

Diante disso, a implicação central para esta tese é que a gestão de produtos químicos em IFES requer um modelo institucional integrador, capaz de traduzir marcos normativos em rotinas executáveis e auditáveis: inventário centralizado, rastreabilidade, procedimentos padronizados, treinamento contínuo, auditorias proporcionais ao risco e integração entre dimensões ocupacional, ambiental e de proteção institucional (Quadro 3 — Apêndice C).

A análise do arcabouço normativo evidencia um modelo regulatório fragmentado e multissetorial, no qual diferentes órgãos exercem competências específicas sem que exista, no âmbito federal, um instrumento integrador voltado exclusivamente à governança química em instituições acadêmicas.

Tal configuração normativa impõe às IFES a necessidade de:

- Articulação intersetorial interna (SST, meio ambiente, compras, almoxarifado, coordenações laboratoriais);
- Implementação de mecanismos institucionais de rastreabilidade documental;
- Estruturação de sistemas integrados de inventário e controle de ciclo de vida.

Os “pontos de fricção” identificados não decorrem da inexistência de normas, mas da ausência de interoperabilidade entre obrigações legais, resultando em vulnerabilidades técnicas, administrativas e, potencialmente, jurídicas.

2.18 Inventário, rastreabilidade e sistemas de gestão: do controle local ao controle institucional

O inventário de produtos químicos é reconhecido, na literatura internacional e nos manuais de biossegurança, como pilar estruturante da segurança em laboratório. Mais do que uma listagem estática de reagentes, o inventário constitui a base informacional sobre a qual se apoiam a avaliação de riscos, a prevenção de acidentes, a resposta a emergências, a conformidade regulatória e a sustentabilidade institucional (WHO, 2020). Em ambientes universitários, contudo, o inventário frequentemente assume caráter local, fragmentado e descontínuo, o que limita sua utilidade como instrumento de governança.

2.18.1 O inventário como ferramenta de gestão de risco

Do ponto de vista da gestão de riscos, o inventário permite identificar o que existe, quanto existe, onde está, quem é responsável e qual o nível de risco associado a cada substância. Essas informações são essenciais para:

- avaliar a criticidade do estoque (quantidade, classe de perigo, incompatibilidades);
- identificar substâncias controladas ou de uso dual;
- reduzir compras duplicadas e excesso de estoque;
- apoiar decisões de substituição por alternativas menos perigosas;
- subsidiar planos de emergência e resposta a incidentes;
- prever e planejar a geração de resíduos.

A literatura enfatiza que inventários incompletos ou desatualizados criam uma falsa sensação de controle, pois impedem a identificação precoce de riscos emergentes e fragilizam a tomada de decisão institucional (Kelly; Moran, 2020; WHO, 2020). Em universidades, esse problema é agravado pela diversidade de linhas de pesquisa, pela rotatividade de usuários e pela autonomia de laboratórios, que tendem a adotar práticas próprias de controle.

2.18.2 Controle local versus visão institucional: limitações recorrentes

Em muitas IFES, o inventário permanece restrito ao nível do laboratório ou do projeto, frequentemente mantido em planilhas individuais, formulários impressos ou sistemas não integrados. Embora essas soluções possam atender a demandas pontuais, elas apresentam limitações significativas quando analisadas sob a ótica institucional:

- inexistência de visão consolidada do estoque químico da instituição;
- dificuldade de auditoria e prestação de contas a órgãos reguladores;
- ausência de padronização de campos e critérios;
- dependência excessiva da memória institucional de indivíduos;
- vulnerabilidade a perdas de informação quando há troca de pessoal.

Esse modelo de controle local não dialoga adequadamente com exigências contemporâneas de governança, rastreabilidade e proteção institucional, nem com a necessidade de integração entre gestão de risco, sustentabilidade e conformidade normativa. Como resultado, falhas em um laboratório tendem a permanecer invisíveis até que se materializem como incidentes, passivos ambientais ou problemas regulatórios.

2.18.3 Rastreabilidade como extensão do inventário

A rastreabilidade amplia o conceito de inventário ao incorporar a dimensão dinâmica do ciclo de vida do produto químico. Não se trata apenas de saber “o que está armazenado”, mas de acompanhar como a substância circula dentro da instituição. Isso inclui:

- aquisição e recebimento;
- armazenamento inicial e secundário;
- uso e consumo;
- transferências internas entre laboratórios ou unidades;
- geração de resíduos;
- descarte e destinação final.

Em sistemas maduros, cada uma dessas etapas gera registros que permitem reconstruir a trajetória da substância ao longo do tempo. Essa capacidade é central

para a biocustódia, pois reduz lacunas de responsabilidade, facilita investigações internas e externas e fortalece a prevenção de desvios intencionais ou não intencionais (WHO, 2020).

2.18.4 Inventário digital e integração com processos administrativos

A literatura e as boas práticas internacionais convergem na recomendação de inventários digitais centralizados, integrados a outros processos institucionais, especialmente compras, almoxarifado, logística e gestão de resíduos. Essa integração permite:

- eliminar ou reduzir múltiplas portas de entrada de reagentes;
- garantir conferência, rotulagem e registro já no recebimento;
- associar cada frasco a um responsável e a um local específico;
- gerar alertas automáticos para validade, incompatibilidades e excesso de estoque;
- produzir relatórios consolidados para auditorias internas e externas.

Mesmo quando não há integração direta com bases externas (PF, EB, ANVISA), a consolidação institucional do inventário representa um avanço significativo em governança, pois cria trilhas auditáveis e reduz dependência de controles informais. Em universidades de grande porte, esse tipo de sistema é apontado como fator crítico para reduzir custos, riscos e passivos ambientais (Kelly; Moran, 2020; Hess, 2021).

2.18.5 Inventário “por frasco” e níveis de criticidade

Uma discussão relevante na literatura diz respeito ao nível de granularidade do inventário. Abordagens mais maduras tendem a adotar o inventário por frasco, em vez de inventários genéricos por substância. Esse modelo permite:

- distinguir diferentes concentrações e formas físicas;
- rastrear frascos abertos, parcialmente utilizados ou obsoletos;
- associar cada unidade a registros de uso e movimentação;
- facilitar reconciliações periódicas.

No contexto da tese, esse modelo dialoga diretamente com a proposta de controles proporcionais ao risco. Substâncias de baixo risco podem demandar

controles mais simples, enquanto substâncias perigosas, controladas ou com potencial de uso dual justificam níveis adicionais de rastreabilidade, reconciliação e controle de acesso.

2.18.6 Auditoria, reconciliação e confiabilidade dos dados

Inventários só produzem valor quando são confiáveis. Para isso, a literatura recomenda a combinação de:

- atualizações regulares obrigatórias;
- auditorias internas periódicas;
- reconciliações físicas por amostragem;
- definição clara de responsabilidades.

Em IFES, a ausência dessas rotinas faz com que inventários se tornem rapidamente obsoletos, reduzindo sua utilidade prática. Auditorias não devem ser encaradas como instrumentos punitivos, mas como mecanismos de melhoria contínua, alinhados à cultura de segurança e à gestão de riscos (Internacional Organization of Standardization, 2018; WHO, 2020).

2.18.7 Inventário, resíduos e prevenção de passivos

A relação entre inventário e gestão de resíduos é direta. Inventários desatualizados dificultam a identificação de substâncias vencidas, degradadas ou desnecessárias, favorecendo o acúmulo de resíduos passivos. Por outro lado, inventários bem estruturados permitem:

- planejar destinação de resíduos de forma antecipada;
- reduzir volumes armazenados por longos períodos;
- evitar compras desnecessárias;
- integrar planejamento financeiro e ambiental.

Nesse sentido, o inventário se consolida como ferramenta-chave para alinhar biossegurança, biocustódia e sustentabilidade, reduzindo riscos ocupacionais, ambientais e institucionais.

2.18.8 Desafios específicos em IFES brasileiras

No contexto brasileiro, a implementação de inventários institucionais enfrenta desafios adicionais:

- diversidade de fontes de financiamento e aquisição;
- resistência cultural à padronização;
- carência de sistemas informatizados adequados;
- limitação de recursos humanos dedicados à governança de laboratório.

Esses fatores explicam, em parte, a persistência de controles fragmentados em universidades públicas. Contudo, a literatura também aponta que IFES possuem potencial singular para avançar nesse campo, ao integrar ensino, pesquisa e extensão em modelos inovadores de gestão e governança (Souza; Torres, 2022).

2.18.9 Síntese: inventário como eixo estruturante da governança institucional

A revisão evidencia que o inventário não é um fim em si mesmo, mas um eixo estruturante da governança do ciclo de vida de produtos químicos. Em IFES, sua efetividade depende da transição do controle local para o controle institucional, da integração com processos administrativos e da incorporação de rotinas de auditoria e melhoria contínua.

Para esta tese, o inventário é compreendido como ponto de convergência entre biossegurança, biocustódia e sustentabilidade, fornecendo base empírica para diagnóstico, análise crítica e proposição de recomendações aplicáveis à realidade das universidades federais brasileiras.

2.19 Armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos: fundamentos técnicos e implicações para a governança institucional

O armazenamento seguro de produtos químicos, a segregação por compatibilidade e a comunicação adequada de perigos constituem elementos técnicos basilares da segurança em laboratório, amplamente reconhecidos por normas internacionais, guias técnicos e literatura especializada (WHO, 2020; ABNT, 2023). Contudo, em instituições universitárias, essas práticas frequentemente se apresentam

de forma heterogênea, parcial ou informal, refletindo não apenas limitações estruturais, mas também lacunas de governança e cultura organizacional.

2.19.1 Armazenamento como prática técnica e indicador de maturidade institucional

O armazenamento de produtos químicos não deve ser compreendido apenas como disposição física de frascos em armários ou prateleiras. Trata-se de uma prática técnica complexa, que envolve decisões sobre:

- segregação por classe de perigo;
- compatibilidade química;
- ventilação e contenção;
- controle de acesso;
- sinalização e identificação;
- condições ambientais (temperatura, umidade, iluminação).

A literatura aponta que falhas de armazenamento estão entre as principais causas de incidentes laboratoriais, incluindo incêndios, explosões, liberação de vapores tóxicos e reações acidentais (WHO, 2020). Em ambientes universitários, esses riscos são potencializados pela elevada densidade de reagentes, pela rotatividade de usuários e pela coexistência de atividades de ensino e pesquisa em um mesmo espaço.

Do ponto de vista desta tese, o armazenamento é tratado não apenas como variável operacional, mas como indicador indireto da maturidade da governança institucional. Laboratórios com armazenamento improvisado, ausência de segregação por compatibilidade ou uso de mobiliário inadequado tendem a refletir:

- fragilidade de normas internas;
- ausência de inspeções regulares;
- insuficiência de treinamento;
- baixa integração entre níveis técnico e administrativo.

Essa leitura fundamenta a inclusão do armazenamento como dimensão avaliada na metodologia adotada.

2.19.2 Compatibilidade química e prevenção de riscos sistêmicos

A segregação por compatibilidade química é princípio técnico essencial para a prevenção de reações perigosas. Ácidos, bases, oxidantes, inflamáveis, tóxicos, reativos e substâncias sensíveis à umidade ou ao calor demandam arranjos específicos de armazenamento, amplamente descritos em guias técnicos e normas de referência.

Entretanto, a literatura destaca que, em universidades, a compatibilidade química é frequentemente tratada de forma simplificada ou intuitiva, baseada na experiência individual dos usuários, e não em procedimentos institucionais padronizados (Kelly; Moran, 2020). Essa prática aumenta a dependência do fator humano e reduz a confiabilidade do sistema de segurança.

Na perspectiva da gestão de risco (ISO 31000), a ausência de segregação adequada configura uma falha de controle primário, capaz de gerar efeitos em cascata:

- aumento do risco de acidentes;
- necessidade de respostas emergenciais;
- geração de resíduos perigosos;
- impactos financeiros e reputacionais.

Essa lógica sustenta a hipótese central da tese de que a fragilidade na gestão de produtos químicos não se manifesta apenas na ausência de inventários ou normas formais, mas também em práticas técnicas cotidianas, como o armazenamento e a compatibilidade.

2.19.3 Comunicação de perigos: rotulagem, GHS e FDS/FISPQ

A comunicação de perigos é componente indispensável da segurança química. O Sistema Globalmente Harmonizado (GHS), internalizado no Brasil por meio da ABNT NBR 14725, estabelece critérios para classificação de perigos, rotulagem e elaboração de FDS/FISPQ, com o objetivo de garantir que informações críticas estejam acessíveis a todos os usuários.

Em universidades, contudo, estudos relatam recorrentes inconformidades, tais como:

- frascos secundários sem rotulagem;
- rótulos incompletos ou ilegíveis;
- FDS/FISPQ desatualizadas ou inacessíveis;
- ausência de padronização entre laboratórios.

Essas falhas comprometem diretamente a resposta a emergências, dificultam o treinamento de novos usuários e ampliam o risco ocupacional. Além disso, fragilizam a conformidade com normas trabalhistas e ambientais, expondo a instituição a passivos legais.

No contexto desta tese, a comunicação de perigos é analisada como **elo entre técnica e governança**. A existência de rótulos e FDS não garante, por si só, segurança efetiva; sua disponibilidade, atualização e uso adequado dependem de políticas institucionais, treinamento e monitoramento — aspectos avaliados no desenho metodológico adotado.

2.19.4 Armazenamento, comunicação e cultura de biossegurança

A literatura internacional enfatiza que práticas como armazenamento adequado e rotulagem correta são expressões visíveis da cultura de segurança (WHO, 2020). Em instituições com cultura madura, essas práticas são internalizadas como rotina; em contextos frágeis, tornam-se ações pontuais, frequentemente reativas a inspeções ou incidentes.

Essa distinção é central para a tese, pois sustenta a análise de que:

- a predominância de EPIs não compensaria a ausência de medidas coletivas e estruturantes;
- falhas recorrentes em armazenamento e rotulagem indicam modelo reativo de biossegurança;
- a governança institucional exerce papel decisivo na consolidação dessas práticas. Essa leitura dialoga diretamente com as hipóteses relacionadas à baixa institucionalização da biossegurança e à ênfase excessiva em barreiras individuais, posteriormente testadas a partir dos dados empíricos.

2.19.5 Relação com inventário, rastreabilidade e biocustódia

Armazenamento e comunicação de perigos estão intrinsecamente ligados à qualidade do inventário e da rastreabilidade. Inventários incompletos ou desatualizados dificultam:

- identificação de frascos incompatíveis;
- controle de validade;
- planejamento de descarte;
- definição de responsabilidades.

Da mesma forma, frascos sem rotulagem adequada inviabilizam a rastreabilidade, comprometendo a biocustódia e ampliando o risco de perdas, extravios ou uso indevido. Assim, esta seção reforça a premissa metodológica da tese de que as dimensões técnicas não podem ser analisadas isoladamente, mas como parte de um sistema integrado de governança do ciclo de vida do produto químico.

2.19.6 Implicações para a definição de objetivos e hipóteses da tese

A inclusão desta dimensão na revisão bibliográfica fundamenta diretamente:

- o objetivo de avaliar as condições de armazenamento, identificação e controle nos laboratórios da UFV;
- a hipótese de que práticas estruturantes apresentam menor adesão do que medidas individuais;
- a análise da comunicação de perigos como indicador de maturidade institucional.

Além disso, justifica a escolha metodológica de utilizar instrumentos de coleta capazes de captar percepções, práticas declaradas e inconsistências operacionais, em vez de restringir a análise à existência formal de normas.

2.19.7 Síntese: da prática técnica ao diagnóstico institucional

A literatura revisada demonstra que armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos são dimensões críticas da segurança química em laboratórios universitários. Contudo, sua efetividade depende menos da existência de regras isoladas e mais da integração entre técnica, governança e cultura institucional.

Para esta tese, essas dimensões são tratadas como indicadores estratégicos da governança de produtos químicos, permitindo avaliar não apenas o “como se faz”, mas o “como a instituição organiza, supervisiona e sustenta” essas práticas ao longo do tempo.

2.20 Resíduos químicos, sustentabilidade e o problema dos “resíduos passivos” em instituições universitárias

A gestão de resíduos químicos constitui uma das etapas mais críticas do ciclo de vida de produtos químicos em laboratórios universitários, com implicações diretas para a biossegurança, a proteção ambiental, a saúde ocupacional e a sustentabilidade institucional. Diferentemente de ambientes industriais, onde fluxos e volumes tendem a ser mais previsíveis, laboratórios acadêmicos caracterizam-se por diversidade de reagentes, pequenas quantidades por frasco, rotatividade de projetos e encerramento frequente de atividades, o que torna a gestão de resíduos mais complexa e dependente de governança estruturada.

2.20.1 Resíduos químicos como parte integrante do ciclo de vida

A literatura contemporânea enfatiza que resíduos não devem ser tratados como “etapa final” desconectada das demais fases do ciclo de vida do produto químico. Pelo contrário, decisões tomadas nas fases de aquisição, armazenamento e uso influenciam diretamente a quantidade, a periculosidade e a complexidade dos resíduos gerados (UNEP, 2012; WHO, 2020).

Nesse sentido, abordagens baseadas em ciclo de vida reforçam que:

- compras excessivas aumentam o risco de sobras e vencimentos;
- ausência de inventário confiável dificulta o planejamento de descarte;
- falhas de rotulagem transformam resíduos em materiais de identidade desconhecida;
- uso descentralizado sem registro favorece acúmulo e dispersão.

Esses fatores são amplamente discutidos na literatura como causas estruturais da ineficiência na gestão de resíduos em ambientes acadêmicos, especialmente em instituições públicas, onde processos administrativos e orçamentários apresentam maior rigidez.

2.20.2 Sustentabilidade e gestão de produtos químicos em universidades

A sustentabilidade, no contexto da gestão de produtos químicos, envolve a redução de riscos ambientais, a minimização da geração de resíduos perigosos e a otimização do uso de recursos financeiros e materiais. Iniciativas internacionais, como o SAICM e a Agenda 2030, reforçam a expectativa de que instituições adotem práticas de consumo responsável, prevenção da poluição e proteção da saúde humana ao longo de todo o ciclo de vida das substâncias químicas (UNEP, 2012; United Nations, 2015).

Universidades ocupam posição singular nesse debate: além de grandes consumidoras de reagentes, são espaços de formação e produção de conhecimento, com responsabilidade ampliada na disseminação de boas práticas. A literatura aponta que falhas recorrentes na gestão de resíduos químicos em universidades geram não apenas impactos ambientais, mas também contradições institucionais, ao comprometer a coerência entre discurso acadêmico e prática operacional.

2.20.3 Resíduos passivos: definição e relevância para a governança institucional

O conceito de resíduos passivos refere-se ao acúmulo de produtos químicos e resíduos perigosos que permanecem armazenados por longos períodos, frequentemente sem identificação adequada, responsável definido ou plano de destinação. Esses resíduos podem incluir:

- reagentes vencidos;
- substâncias herdadas de projetos encerrados;
- frascos sem rótulo ou com rótulos ilegíveis;
- misturas antigas de composição desconhecida.

A literatura destaca que resíduos passivos representam um dos maiores desafios para instituições acadêmicas, pois combinam risco técnico, incerteza jurídica e elevado custo de destinação (WHO, 2020). Além disso, sua existência é frequentemente indicativa de falhas sistêmicas na governança do ciclo de vida de produtos químicos, e não apenas de problemas pontuais de descarte.

2.20.4 Implicações ambientais, ocupacionais e financeiras dos resíduos passivos

Do ponto de vista ambiental, resíduos passivos aumentam a probabilidade de vazamentos, contaminação do solo e da água, e emissões acidentais. No plano ocupacional, representam risco significativo para trabalhadores que manipulam materiais de composição desconhecida, especialmente durante tentativas de limpeza ou reorganização de espaços laboratoriais.

A literatura também enfatiza o impacto financeiro desses passivos. A destinação emergencial de resíduos antigos tende a ser significativamente mais onerosa do que o descarte planejado, exigindo contratação de empresas especializadas, análises laboratoriais adicionais e, em alguns casos, intervenções estruturais. Em instituições públicas, esses custos podem comprometer orçamentos já limitados, gerando ciclos de adiamento e agravamento do problema.

2.20.5 Marcos normativos e diretrizes aplicáveis à gestão de resíduos químicos

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece princípios como responsabilidade compartilhada, prevenção e gerenciamento integrado, com implicações diretas para instituições geradoras de resíduos perigosos. O Decreto nº 10.936/2022 reforça a necessidade de planos de gerenciamento, rastreabilidade e destinação ambientalmente adequada.

Normas técnicas, como a ABNT NBR 10004, oferecem critérios para classificação de resíduos quanto à periculosidade, orientando decisões sobre segregação e tratamento. Contudo, a literatura ressalta que, em universidades, a aplicação dessas normas enfrenta desafios práticos relacionados à diversidade de resíduos, à falta de padronização interna e à escassez de equipes especializadas.

Esse cenário normativo fragmentado reforça a necessidade de abordagens institucionais que integrem requisitos ambientais, ocupacionais e administrativos em um único sistema de governança.

2.20.6 Relação entre resíduos, inventário e rastreabilidade

Diversos estudos apontam que a formação de resíduos passivos está fortemente associada à ausência de inventários confiáveis e sistemas de

rastreabilidade (Kelly; Moran, 2020; WHO, 2020). Sem registros claros de entrada, uso e saldo de reagentes, torna-se difícil:

- identificar responsáveis;
- planejar descarte antes do vencimento;
- priorizar substituição de substâncias perigosas;
- consolidar resíduos para destinação conjunta.

Essa relação fundamenta a abordagem da tese de tratar resíduos não como problema isolado, mas como resultado acumulado de falhas ao longo do ciclo de vida. Assim, a análise da literatura sustenta a inclusão da gestão de resíduos como dimensão essencial para avaliar a governança institucional de produtos químicos.

2.20.7 Resíduos químicos e cultura organizacional

A literatura sobre cultura de segurança e sustentabilidade destaca que a gestão de resíduos reflete valores institucionais e incentivos organizacionais. Em ambientes onde a responsabilidade pelo descarte é difusa ou percebida como custo indesejado, há maior propensão ao adiamento e ao acúmulo de resíduos.

Por outro lado, instituições que incorporam a gestão de resíduos como parte de sua cultura de biossegurança tendem a adotar:

- treinamentos regulares;
- procedimentos claros para encerramento de projetos;
- auditorias periódicas de estoques e resíduos;
- integração entre compras, inventário e descarte.

Esses elementos são recorrentes na literatura como fatores de prevenção de resíduos passivos e promoção de sustentabilidade.

2.20.8 Implicações para os objetivos e hipóteses da pesquisa

A revisão bibliográfica evidencia que a gestão de resíduos químicos é componente central da governança do ciclo de vida de produtos químicos e está diretamente associada à segurança, sustentabilidade e eficiência institucional. Essa constatação sustenta os objetivos da tese relacionados à avaliação das práticas de

descarte e gerenciamento de resíduos, bem como a hipótese de que a ausência de integração sistêmica favorece a formação de passivos ambientais e financeiros.

Ao delimitar esse arcabouço conceitual, a revisão fornece base teórica para a análise empírica subsequente, sem antecipar resultados, mas esclarecendo por que a gestão de resíduos químicos é dimensão estratégica para compreender a governança institucional em IFES.

2.21 Cultura de biossegurança, treinamento e fatores humanos em laboratórios acadêmicos

A literatura internacional em biossegurança e gestão de riscos reconhece que falhas em ambientes laboratoriais raramente decorrem apenas de deficiências técnicas ou estruturais. Em grande parte dos casos, incidentes, exposições e perdas estão associados a fatores humanos, organizacionais e culturais, que condicionam a forma como normas, procedimentos e sistemas são efetivamente aplicados no cotidiano (WHO, 2020).

Nesse contexto, a cultura de biossegurança emerge como elemento central para compreender por que laboratórios com infraestrutura semelhante apresentam níveis distintos de risco, conformidade e resiliência institucional.

2.21.1 Cultura de biossegurança: conceito e evolução

Cultura de biossegurança pode ser definida como o conjunto de valores, percepções, atitudes, competências e padrões de comportamento que determinam o comprometimento de indivíduos e organizações com a segurança em atividades laboratoriais. A OMS enfatiza que cultura não é sinônimo de cumprimento formal de normas, mas sim de internalização de princípios de prevenção, responsabilidade e aprendizagem organizacional (WHO, 2020).

A evolução do conceito acompanha a transição de modelos prescritivos — centrados em regras e barreiras físicas — para modelos sistêmicos, que integram:

- liderança institucional;
- comunicação eficaz;
- capacitação contínua;
- reporte de incidentes sem punição;

- revisão periódica de práticas.

Em universidades, essa evolução enfrenta desafios específicos, uma vez que a missão institucional prioriza ensino e pesquisa, e não necessariamente a gestão de riscos como atividade-fim.

2.21.2 Fatores humanos e o ambiente universitário

Laboratórios acadêmicos apresentam características que amplificam a influência dos fatores humanos:

- alta rotatividade de estudantes de graduação e pós-graduação;
- coexistência de usuários com diferentes níveis de experiência;
- múltiplos vínculos (bolsistas, estagiários, terceirizados);
- autonomia significativa de grupos e coordenadores;
- pressão por produtividade científica.

A literatura aponta que esses fatores tendem a produzir assimetria de conhecimento e práticas, com dependência excessiva da experiência informal e da transmissão oral de procedimentos (Kelly; Moran, 2020). Em tal cenário, a ausência de treinamento estruturado e recorrente aumenta a probabilidade de comportamentos inseguros, mesmo quando normas formais existem.

2.21.3 Treinamento como eixo estruturante da governança

O treinamento é amplamente descrito como um dos pilares da biossegurança. Contudo, a literatura distingue claramente treinamentos pontuais de programas institucionais contínuos. Enquanto os primeiros tendem a ter impacto limitado e temporário, os segundos contribuem para a consolidação de cultura organizacional e para a padronização de práticas (WHO, 2020).

Em instituições com maior maturidade em segurança laboratorial, os programas de capacitação costumam incluir:

- treinamento inicial obrigatório antes do acesso ao laboratório;
- reciclagens periódicas;
- avaliação de competências;
- conteúdos diferenciados conforme nível de risco;

- integração entre segurança química, biológica e ambiental.

Por outro lado, estudos indicam que, em universidades, treinamentos são frequentemente tratados como requisito burocrático ou opcional, com baixa frequência e pouca integração com processos de autorização de acesso ou uso de substâncias perigosas.

2.21.4 Cultura reativa versus cultura preventiva

A literatura sobre segurança distingue culturas reativas — que respondem a incidentes após sua ocorrência — de culturas preventivas, orientadas por identificação antecipada de riscos, monitoramento e melhoria contínua. Em ambientes acadêmicos, a predominância de culturas reativas é frequentemente associada a:

- ausência de auditorias internas regulares;
- inspeções esporádicas;
- baixo reporte de quase-acidentes;
- percepção de que segurança “atrapalha” a pesquisa.

Essa distinção é particularmente relevante para a tese, pois fundamenta a análise de que a mera disponibilidade de EPIs não equivale à adoção de práticas estruturantes de biossegurança. A literatura indica que culturas preventivas dependem menos de ações individuais isoladas e mais de governança institucional, liderança e incentivos alinhados.

2.21.5 Relação entre cultura, inventário e rastreabilidade

A efetividade de sistemas de inventário e rastreabilidade está fortemente condicionada à cultura organizacional. Inventários digitais, por exemplo, só se mantêm confiáveis quando os usuários:

- registram entradas e saídas de forma consistente;
- compreendem a finalidade do controle;
- percebem valor institucional na rastreabilidade.

Sem cultura de segurança, sistemas formais tendem a se tornar incompletos ou desatualizados, reduzindo sua utilidade para gestão de riscos. A literatura enfatiza

que falhas humanas — omissões, atalhos, registros tardios — não devem ser tratadas apenas como desvios individuais, mas como sinais de fragilidade organizacional.

Essa perspectiva sustenta a abordagem da tese de avaliar não apenas a existência de sistemas e procedimentos, mas também a adesão declarada e percebida às práticas de segurança, aspecto central da metodologia adotada.

2.21.6 Governança, liderança e responsabilidade institucional

A literatura converge ao afirmar que cultura de biossegurança não se sustenta sem liderança institucional clara. Em universidades, onde estruturas decisórias são frequentemente descentralizadas, a ausência de diretrizes institucionais robustas tende a transferir a responsabilidade integral para indivíduos ou laboratórios, gerando heterogeneidade e vulnerabilidades.

Modelos de governança mais maduros incorporam:

- definição explícita de responsabilidades;
- comissões ou instâncias técnicas de apoio;
- canais formais de comunicação;
- auditorias internas periódicas;
- mecanismos de retroalimentação e melhoria.

Esses elementos são recorrentes na literatura como fatores críticos para a consolidação de práticas de segurança em ambientes complexos e descentralizados, como as IFES.

2.21.7 Cultura de biossegurança e proteção institucional

Além da prevenção de acidentes, a literatura mais recente enfatiza que a cultura de biossegurança também contribui para a proteção institucional, especialmente no que se refere à prevenção de perdas, desvios e uso indevido de substâncias sensíveis. Em ambientes onde a cultura é frágil, controles formais podem ser contornados ou negligenciados, ampliando vulnerabilidades institucionais.

Essa abordagem dialoga com o debate sobre dual use e governança responsável da ciência, reforçando que a prevenção de riscos depende tanto de

controles técnicos quanto de comportamento ético, responsabilidade e consciência institucional.

2.21.8 Implicações para os objetivos, hipóteses e metodologia da tese

A revisão bibliográfica evidencia que cultura de biossegurança, treinamento e fatores humanos são dimensões transversais que influenciam todas as etapas do ciclo de vida dos produtos químicos. Essa constatação fundamenta:

- a inclusão de variáveis relacionadas a treinamento, percepção de risco e práticas declaradas na metodologia;
- a hipótese de que práticas estruturantes apresentam menor adesão do que medidas individuais;
- a análise da governança institucional como determinante da efetividade da biossegurança.

Ao delimitar esse arcabouço teórico, a revisão prepara o terreno para a investigação empírica subsequente, permitindo que os resultados sejam interpretados à luz de referenciais consolidados na literatura internacional.

2.22 Bens sensíveis, listas de controle e o componente *dual use* em universidades

A discussão contemporânea sobre segurança em ciência e tecnologia reconhece que riscos associados ao uso indevido de conhecimentos, insumos e capacidades não se restringem a contextos industriais ou militares. Universidades e instituições públicas de pesquisa, por sua natureza aberta e formadora, ocupam posição estratégica nesse debate, ao mesmo tempo em que enfrentam desafios específicos de governança, custódia e rastreabilidade.

2.22.1 Conceito de *dual use* e sua aplicação ao ambiente acadêmico

O termo *dual use* refere-se a materiais, tecnologias, conhecimentos ou práticas que possuem aplicações legítimas para fins científicos, educacionais ou industriais, mas que também podem ser desviados para usos nocivos ou proibidos. A literatura enfatiza que o risco de *dual use* não está intrinsecamente associado à intenção do

pesquisador, mas à possibilidade de conversão de capacidades em contextos inadequados ou não autorizados (WHO, 2020; OECD, 2022).

Em ambientes universitários, essa discussão ganha contornos particulares, pois:

- a circulação de estudantes e visitantes é intensa;
- há múltiplos projetos simultâneos;
- substâncias e reagentes são compartilhados entre grupos;
- a governança tende a ser descentralizada.

Assim, mesmo quando o uso é legítimo, a ausência de controles proporcionais pode gerar vulnerabilidades institucionais.

2.22.2 Bens sensíveis e listas de controle: referenciais internacionais

Diversos regimes e instrumentos internacionais estabelecem listas e orientações técnicas para identificação de substâncias e materiais sensíveis. No campo químico, a Convenção sobre Armas Químicas (CAQ) e os documentos técnicos da OPAQ/OPCW fornecem listas de substâncias e precursores sujeitos a monitoramento e controle (OPCW, 2018). Embora esses instrumentos não tenham sido concebidos especificamente para o cotidiano universitário, eles influenciam políticas nacionais e expectativas regulatórias.

De forma complementar, grupos técnicos internacionais, como o Australia Group, produzem listas orientativas de substâncias e equipamentos relevantes para fins de não proliferação, amplamente utilizadas como referência técnica por autoridades nacionais. A literatura ressalta que tais listas devem ser interpretadas como ferramentas de apoio à análise de risco, e não como proibição automática de uso acadêmico.

No domínio biológico, instrumentos como a Convenção sobre Armas Biológicas (CAB) e documentos associados ao debate sobre *Dual-Use Research of Concern* (DURC) reforçam a necessidade de mecanismos institucionais de revisão, supervisão e mitigação de riscos associados à pesquisa científica (United Nations, 1972; WHO, 2020).

2.22.3 Interfaces entre produtos químicos, *dual use* e governança institucional

Embora o conceito de *dual use* seja frequentemente associado a agentes biológicos, a literatura mais recente reconhece que produtos químicos comuns em laboratórios acadêmicos podem integrar cadeias de risco quando considerados como precursores, reagentes habilitadores ou componentes de processos sensíveis. Substâncias amplamente utilizadas para fins legítimos podem adquirir relevância sob a ótica da proteção institucional quando:

- não há inventário confiável;
- os controles de acesso são inexistentes;
- a rastreabilidade é limitada;
- não há distinção entre níveis de criticidade.

Nesse sentido, a governança institucional passa a ser elemento-chave. A literatura destaca que o risco não decorre da simples presença de substâncias sensíveis, mas da combinação entre disponibilidade, ausência de controles e fragilidade cultural.

2.22.4 Bioproteção, proteção institucional e ambiente universitário

O conceito de bioproteção, conforme adotado por organismos internacionais, refere-se à prevenção de acesso não autorizado, perda, roubo, uso indevido ou liberação intencional de materiais perigosos. Embora tradicionalmente aplicado a agentes biológicos, o conceito é progressivamente utilizado de forma ampliada para abranger insumos, informações e capacidades que possam ser exploradas de maneira indevida (WHO, 2020).

No contexto universitário, essa ampliação não implica militarização ou restrição indevida da pesquisa, mas sim o fortalecimento de mecanismos de governança, tais como:

- inventários auditáveis;
- controles proporcionais ao risco;
- autorização de acesso baseada em perfil e treinamento;
- responsabilização clara.

A literatura enfatiza que tais medidas são compatíveis com a liberdade acadêmica e com a missão universitária, desde que baseadas em análise de risco e proporcionalidade.

2.22.5 *Dual use*, cultura organizacional e responsabilidade científica

O debate sobre *dual use* em universidades também dialoga com a noção de responsabilidade científica. Autores destacam que a mitigação de riscos não depende apenas de controles técnicos, mas de consciência ética, treinamento e cultura organizacional (Hess, 2021; OECD, 2022).

Nesse sentido, programas institucionais de biossegurança e governança de riscos são apontados como mecanismos eficazes para:

- sensibilizar pesquisadores e estudantes;
- promover reflexão sobre impactos potenciais da pesquisa;
- integrar segurança ao planejamento científico, sem comprometer inovação.

A literatura alerta que, na ausência desses mecanismos, a gestão de riscos tende a ser reativa e fragmentada, aumentando a vulnerabilidade institucional.

2.22.6 Governança de bens sensíveis e integração com inventário e rastreabilidade

Estudos internacionais convergem ao afirmar que a governança de bens sensíveis em universidades deve ser integrada aos sistemas de inventário e rastreabilidade. A simples identificação de uma substância como “sensível” é insuficiente se não houver:

- registros confiáveis de entrada e saída;
- definição de responsáveis;
- auditorias periódicas;
- integração com compras e logística.

A literatura descreve modelos institucionais em que controles adicionais são aplicados de forma graduada, conforme o nível de risco, evitando tanto a ausência de controle quanto a imposição de barreiras desproporcionais. Essa abordagem reforça a pertinência de avaliar, no âmbito da tese, como as instituições lidam com diferentes categorias de produtos químicos.

2.22.7 Implicações para os objetivos e hipóteses da pesquisa

A revisão bibliográfica evidencia que o componente *dual use* e a gestão de bens sensíveis são dimensões relevantes da governança de produtos químicos em universidades, especialmente quando analisadas sob a ótica da proteção institucional. Essa constatação fundamenta:

- a inclusão de perguntas relacionadas à presença de substâncias controladas ou sensíveis;
- a análise da integração (ou ausência dela) entre inventário, controle e governança;
- a hipótese de que lacunas institucionais ampliam vulnerabilidades, independentemente da intenção dos usuários.

Ao delimitar esse referencial teórico, a revisão prepara o terreno para a análise empírica, permitindo que os dados coletados sejam interpretados à luz de conceitos consolidados e sem extrapolações indevidas.

2.23 Síntese crítica da revisão bibliográfica e identificação de lacunas

A revisão bibliográfica apresentada neste capítulo evidencia que a gestão de produtos químicos em laboratórios universitários é um tema consolidado sob diferentes perspectivas — ocupacional, ambiental, normativa e, em menor medida, institucional —, mas ainda fragmentado em termos de abordagem integrada. A literatura internacional e nacional converge ao reconhecer que substâncias químicas representam riscos relevantes à saúde, ao meio ambiente e à continuidade das atividades científicas, demandando sistemas estruturados de prevenção, controle e resposta (WHO, 2020; ISO, 2018; UNEP, 2012).

Entretanto, essa convergência conceitual não se traduz, de forma homogênea, em modelos de governança aplicáveis ao contexto das instituições federais de ensino superior (IFES), especialmente em países em desenvolvimento. O ambiente universitário apresenta características singulares — autonomia de laboratórios, diversidade de linhas de pesquisa, alta rotatividade de estudantes, múltiplas fontes de aquisição de insumos e restrições orçamentárias — que tensionam a implementação de sistemas padronizados e sustentáveis de gestão do ciclo de vida de produtos químicos.

2.23.1 Fragmentação temática e normativa na literatura

A análise da literatura revela uma fragmentação temática relevante. Estudos sobre segurança química em laboratórios tendem a concentrar-se em aspectos específicos, como:

- uso de EPIs e EPCs;
- compatibilidade e armazenamento;
- rotulagem e FDS/FISPQ;
- descarte e gestão de resíduos perigosos.

Embora esses elementos sejam fundamentais, eles frequentemente são tratados de forma operacional e setorial, sem integração explícita com modelos de governança institucional, gestão de riscos ou proteção institucional. A literatura ambiental, por sua vez, aborda a geração e destinação de resíduos químicos, mas raramente articula esses processos com inventários, rastreabilidade e controle de insumos ao longo do ciclo de vida.

No plano normativo, observa-se um arcabouço robusto, porém **disperso**. Normas trabalhistas, ambientais, sanitárias e de controle de substâncias coexistem, mas não constituem, isoladamente, um sistema coerente de gestão do ciclo de vida de produtos químicos em IFES. A ausência de uma legislação nacional específica para biossegurança laboratorial fora do escopo de OGMs reforça essa lacuna, transferindo às instituições a responsabilidade de compor seus próprios arranjos de governança a partir de referenciais heterogêneos.

2.23.2 Lacuna de abordagens integradas baseadas no ciclo de vida

Outro achado central da revisão é a escassez de estudos que adotem explicitamente o ciclo de vida do produto químico como eixo analítico em instituições de ensino superior. A maior parte das publicações aborda etapas isoladas (armazenamento, uso ou descarte), sem considerar as interdependências entre aquisição, recebimento, inventário, movimentação interna, uso, geração de resíduos e destinação final.

Essa lacuna é particularmente relevante, pois a literatura de gestão de riscos (ISO 31000) e de biossegurança (WHO, 2020) enfatiza que falhas em etapas iniciais tendem a produzir efeitos em cascata, ampliando riscos ocupacionais, ambientais e

institucionais. A ausência de estudos que analisem essas interconexões limita a compreensão sistêmica do problema e dificulta a formulação de recomendações estruturantes para IFES.

2.23.3 Biocustódia, uso duplo e proteção institucional: campo emergente e pouco explorado

A revisão evidencia que o debate sobre uso duplo, bioproteção e proteção institucional está amplamente consolidado no campo biológico, mas ainda é incipiente quando aplicado à gestão de produtos químicos em universidades. Quando presente, o tema aparece de forma periférica ou associado exclusivamente a substâncias altamente controladas, sem examinar práticas cotidianas de inventário, rastreabilidade e custódia em ambientes acadêmicos.

A literatura indica que o risco institucional não decorre apenas da presença de substâncias sensíveis, mas da combinação entre disponibilidade, ausência de controles proporcionais e fragilidade de governança. No entanto, há poucos estudos empíricos que avaliem como universidades brasileiras lidam, na prática, com:

- identificação de substâncias com potencial de uso dual;
- diferenciação de níveis de criticidade;
- integração entre inventário, controle de acesso e responsabilidade institucional.

Essa lacuna justifica a inclusão, na presente tese, da biocustódia como conceito operacional, não com viés securitário, mas como ferramenta de governança responsável e proteção institucional.

2.23.4 Cultura de segurança e fatores humanos: consenso conceitual, fragilidade empírica

A literatura é consistente ao apontar a cultura de segurança como elemento determinante para a efetividade de qualquer sistema de biossegurança. Entretanto, estudos empíricos que correlacionem cultura organizacional, práticas de inventário, gestão de resíduos e governança institucional em IFES ainda são limitados, especialmente no contexto brasileiro.

A predominância de abordagens descritivas ou normativas, sem análise integrada de comportamento, treinamento e adesão a rotinas administrativas, revela

uma lacuna importante. Essa lacuna é particularmente sensível em universidades, onde a alta rotatividade de pessoal e a pressão por produtividade científica tendem a fragilizar a institucionalização de práticas de segurança.

2.23.5 Sustentabilidade e resíduos passivos: convergência conceitual, implementação desigual

A integração entre biossegurança e sustentabilidade é amplamente defendida em marcos internacionais (SAICM, Agenda 2030), mas a literatura aponta dificuldades persistentes de implementação em instituições públicas de ensino superior. O problema dos resíduos passivos emerge como expressão concreta dessa lacuna: substâncias adquiridas e não utilizadas, estoques antigos sem identificação e resíduos armazenados indefinidamente.

Embora existam estudos sobre gerenciamento de resíduos em universidades, poucos os conectam de forma sistemática à governança do ciclo de vida de produtos químicos, ao planejamento de compras e à rastreabilidade. Essa desconexão reforça a necessidade de abordagens que articulem segurança, sustentabilidade e gestão institucional.

2.23.6 Justificativa científica da pesquisa

Diante desse panorama, a revisão bibliográfica evidencia uma lacuna relevante de conhecimento aplicado: a ausência de diagnósticos integrados sobre as condições de governança e gestão do ciclo de vida de produtos químicos em IFES, que articulem biossegurança, biocustódia, sustentabilidade e cultura organizacional sob uma abordagem baseada em risco.

Essa lacuna fundamenta a presente pesquisa, que se propõe a analisar, de forma sistemática, as práticas institucionais relacionadas a inventário, controle, armazenamento, descarte e governança de produtos químicos em uma IFES, à luz de referenciais técnicos e normativos consolidados. Ao fazê-lo, a tese busca produzir evidências empíricas que subsidiem recomendações factíveis e replicáveis, contribuindo para o fortalecimento da biossegurança e da gestão responsável da ciência no contexto universitário.

2.23.7 Transição para o capítulo metodológico

A síntese crítica apresentada neste capítulo fornece o arcabouço conceitual que orienta a definição dos objetivos, hipóteses e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. As lacunas identificadas — fragmentação normativa, ausência de abordagem de ciclo de vida, fragilidade de inventários, desafios de cultura organizacional e insuficiente integração entre segurança e sustentabilidade — informam diretamente as escolhas metodológicas, os instrumentos de coleta de dados e os critérios de análise apresentados no capítulo seguinte.

2.24 Modelo conceitual de referência para a análise da governança do ciclo de vida de produtos químicos em IFES

A partir da revisão bibliográfica realizada, torna-se evidente que a gestão de produtos químicos em instituições federais de ensino superior demanda uma abordagem integrada, capaz de articular dimensões técnicas, normativas, organizacionais e culturais. Os referenciais internacionais e nacionais analisados convergem ao reconhecer que riscos associados a produtos químicos não decorrem exclusivamente das propriedades intrínsecas das substâncias, mas da forma como estas são geridas ao longo de todo o seu ciclo de vida, em contextos institucionais complexos e dinâmicos, como o ambiente universitário (WHO, 2020; ISO, 2018a).

Com base nessa convergência, esta tese adota um modelo conceitual integrador, estruturado a partir de três eixos centrais:

- o ciclo de vida do produto químico;
- a gestão de riscos baseada em princípios da ISO 31000; e
- camadas complementares de controle, que articulam biossegurança, sustentabilidade e proteção institucional.

2.24.1 O ciclo de vida do produto químico como eixo estruturante

O ciclo de vida do produto químico constitui o eixo analítico central do modelo. Para fins desta pesquisa, esse ciclo compreende as seguintes etapas interdependentes:

- aquisição e planejamento de compras;

- recebimento e conferência;
- inventário e registro;
- rotulagem e comunicação de perigos;
- armazenamento e segregação por compatibilidade;
- uso e manipulação em atividades de ensino e pesquisa;
- transferências internas e compartilhamento;
- geração de resíduos;
- armazenamento temporário de resíduos;
- destinação final ambientalmente adequada.

A literatura demonstra que falhas em qualquer uma dessas etapas pode gerar efeitos cumulativos, ampliando riscos ocupacionais, ambientais e institucionais.

Assim, o modelo adotado rejeita abordagens fragmentadas e considera o ciclo de vida como uma cadeia contínua, na qual a governança eficaz depende da coerência entre etapas, responsabilidades e controles.

2.24.2 Gestão de riscos como princípio transversal

Sobre o eixo do ciclo de vida, o modelo incorpora os princípios da gestão de riscos, conforme estabelecido pela ISO 31000 (ISO, 2018a). Nessa perspectiva, a gestão de produtos químicos não se limita ao cumprimento formal de normas, mas envolve processos contínuos de:

- identificação de perigos e vulnerabilidades;
- análise e avaliação de riscos;
- definição de controles proporcionais à criticidade;
- comunicação e consulta;
- monitoramento, revisão e melhoria contínua.

A aplicação desse referencial é particularmente relevante em IFES, onde a diversidade de substâncias, atividades e perfis de usuários impede a adoção de soluções uniformes e exige abordagens baseadas em risco.

O modelo conceitual assume, portanto, que diferentes classes de produtos químicos demandam níveis distintos de controle, sem comprometer a viabilidade operacional das atividades acadêmicas.

2.24.3 Camadas de controle: integração entre biossegurança, sustentabilidade e proteção institucional

Para operacionalizar a gestão de riscos ao longo do ciclo de vida, o modelo conceitual organiza os controles em quatro camadas analíticas complementares, que dialogam diretamente com os objetivos da pesquisa:

- **Camada 1 – Ocupacional e comunicação de perigos.** Inclui rotulagem conforme GHS, disponibilidade e atualização de FDS/FISPQ, uso de EPIs e EPCs, segregação por compatibilidade e condições adequadas de armazenamento. Essa camada está diretamente associada à proteção da saúde dos usuários e à prevenção de acidentes.
- **Camada 2 – Ambiental e gestão de resíduos.** Abrange classificação de resíduos, segregação, acondicionamento, armazenamento temporário, transporte interno e destinação final, em consonância com a PNRS, normas técnicas e compromissos de sustentabilidade. Essa camada dialoga com a prevenção de passivos ambientais e com a redução de riscos de médio e longo prazo.
- **Camada 3 – Institucional e custódia.** Corresponde aos mecanismos de inventário auditável, controle de entrada e saída, rastreabilidade, definição de responsabilidades, acesso restrito por perfil e auditorias internas. Essa camada incorpora o conceito operacional de custódia, aplicado à proteção institucional e à mitigação de riscos associados a perdas, desvios e potenciais usos indevidos (*dual use*).
- **Camada 4 – Cultura organizacional e governança.** Engloba treinamento, capacitação contínua, inspeções, reporte de incidentes, clareza de papéis institucionais e integração entre setores administrativos e técnicos. Essa camada reconhece que a efetividade das demais depende da adesão humana, da cultura de segurança e da institucionalização das práticas.

2.24.4 Articulação do modelo com os objetivos e hipóteses da pesquisa

O modelo conceitual proposto orienta diretamente a formulação dos objetivos geral e específicos da tese, bem como das hipóteses investigadas. Ao estruturar a análise em torno do ciclo de vida e das camadas de controle, torna-se possível:

- avaliar a heterogeneidade de práticas entre laboratórios e unidades;
- identificar lacunas de rastreabilidade e governança;
- examinar a integração (ou desconexão) entre requisitos ocupacionais, ambientais e institucionais;
- analisar a presença de substâncias com potencial de uso dual e os mecanismos de controle associados.

Assim, o modelo não se limita a um exercício teórico, mas funciona como ferramenta analítica para organizar a coleta, sistematização e interpretação dos dados empíricos, mantendo coerência entre revisão bibliográfica, desenho metodológico e análise dos resultados.

2.24.5 Delimitação do escopo analítico

Importa ressaltar que o modelo adotado não pretende avaliar conformidade legal plena nem auditar a instituição sob a ótica regulatória. Seu propósito é analítico e diagnóstico, voltado a compreender condições de governança, práticas institucionais e oportunidades de aprimoramento no contexto específico de uma IFES, à luz de referenciais técnicos reconhecidos.

Essa delimitação é essencial para evitar sobreposição com atividades fiscalizatórias e para preservar o caráter acadêmico e propositivo da pesquisa.

2.24.6 Encaminhamento para o capítulo metodológico

O modelo conceitual apresentado neste item estabelece a base lógica para o capítulo seguinte, no qual são detalhados o delineamento da pesquisa, os instrumentos de coleta de dados e os critérios de análise. Cada etapa metodológica foi concebida para dialogar com os componentes do modelo, permitindo que as evidências empíricas sejam analisadas de forma sistemática, coerente e alinhada aos objetivos da tese.

Dessa forma, o Capítulo 2 cumpre sua função de fundamentação teórica e conceitual, criando condições para que a metodologia e os resultados sejam compreendidos como desdobramentos naturais do arcabouço aqui construído.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar as condições institucionais relacionadas à gestão de produtos químicos controlados e não controlados nos laboratórios de uma instituição federal de ensino superior (IFES), considerando o ciclo de vida desses insumos — da aquisição ao descarte — com ênfase nos aspectos de biossegurança, mitigação de riscos, biocustódia, rastreabilidade e sustentabilidade, bem como nas implicações associadas a potenciais cenários de uso dual (DURC).

3.2 Objetivos específicos

- Examinar as práticas institucionais de biossegurança e mitigação de riscos
 - a) Identificar fragilidades nas práticas de aquisição, armazenamento e descarte de produtos químicos controlados e não controlados;
 - b) Analisar aspectos relacionados à biossegurança, à biocustódia e à mitigação de riscos frente a potenciais cenários de DURC.

- Analisar os mecanismos de rastreabilidade, biocustódia e controle dos materiais
 - a) Descrever os fluxos de entrada, uso e circulação de produtos químicos nos laboratórios;
 - b) Examinar os mecanismos institucionais de controle e responsabilização sobre os insumos;
 - c) Identificar práticas relacionadas à otimização do uso e à realocação de insumos.

- Avaliar as condições de compatibilidade e armazenamento
 - a) Analisar as práticas de armazenamento, identificando situações de incompatibilidade química;
 - b) Examinar a aderência a protocolos de segregação e compatibilidade alinhados a normas nacionais e internacionais de segurança.

- Analisar o ciclo de vida dos produtos
 - a) Descrever o ciclo de vida dos produtos químicos controlados e não controlados, desde a aquisição até o descarte;
 - b) Identificar lacunas nos fluxos institucionais que impactam a segurança, a rastreabilidade e a sustentabilidade;
 - c) Examinar a presença de práticas relacionadas à mitigação de riscos e à prevenção de DURC ao longo do ciclo de vida.

- Examinar aspectos relacionados à capacitação e cultura de segurança
 - a) Identificar laboratórios com maior exposição a riscos;
 - b) Analisar práticas de capacitação em biossegurança, biocustódia e prevenção de DURC, bem como sua relação com a cultura institucional de segurança.

- Analisar interfaces com políticas públicas e sustentabilidade
 - a) Examinar a relação entre práticas institucionais e diretrizes de biossegurança, custódia e DURC em instituições federais de ensino superior;
 - b) Identificar práticas relacionadas à sustentabilidade, incluindo reutilização e otimização de insumos, quando aplicável. Implementar práticas de biossegurança e mitigação de riscos

3.3 Hipóteses de pesquisa

H1- A inexistência de regulamentação nacional específica para resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa contribui para práticas institucionais heterogêneas e, por vezes, inseguras.

H2- A multiplicidade de portas de entrada para aquisição de produtos químicos controlados e não controlados dificulta a rastreabilidade, a biocustódia e a mitigação de riscos, ampliando a probabilidade de situações de DURC.

H3- A ausência de protocolos padronizados de armazenamento e a prática de organizar reagentes por ordem alfabética favorecem situações de incompatibilidade química e aumentam a vulnerabilidade a acidentes.

H4- A resistência em fornecer informações e a baixa adesão a formulários de pesquisa refletem fragilidades culturais na valorização da biossegurança, da biocustódia e da mitigação de riscos.

4 METODOLOGIA

4.1 Delineamento da pesquisa

A presente pesquisa possui natureza aplicada, com delineamento exploratório- descritivo, adotando uma abordagem mista (quantitativa e qualitativa). O estudo foi concebido para produzir um diagnóstico institucional da gestão do ciclo de vida de produtos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa, com foco em biossegurança, rastreabilidade, conformidade normativa, sustentabilidade e prevenção de riscos associados a substâncias de potencial uso dual.

A escolha por um desenho metodológico misto está alinhada à literatura internacional em biossegurança e governança de riscos, que recomenda a combinação de instrumentos quantitativos (levantamentos estruturados, indicadores e escores) com abordagens qualitativas (observação direta, análise documental e interpretação institucional) para capturar a complexidade dos ambientes laboratoriais acadêmicos (WHO, 2020).

A estrutura analítica adotada dialoga com os princípios de auditoria baseada em evidências descritos na ISO 19011:2018 e com a abordagem sistêmica de gestão de riscos prevista na ISO 31000:2018, especialmente no que se refere à identificação, análise, avaliação e tratamento de vulnerabilidades institucionais.

4.2 Universo, recorte e caracterização da amostra

O universo da pesquisa compreendeu 275 laboratórios vinculados à UFV, distribuídos entre os campi Viçosa, Florestal e Rio Paranaíba. Contudo, em razão da ausência de adesão dos campi Florestal e Rio Paranaíba, o recorte empírico efetivo concentrou-se nos laboratórios do campus Viçosa, que constituíram a unidade de análise do estudo.

Ao final do período de coleta, foram obtidos 35 questionários válidos, correspondendo a uma taxa de resposta de 12,7%. Embora numericamente limitada, essa taxa é compatível com padrões observados em pesquisas institucionais por survey em ambientes acadêmicos, especialmente quando envolvem temas relacionados à conformidade, riscos e fragilidades organizacionais (WHO, 2020).

A amostra foi composta por respostas fornecidas por coordenadores de laboratório, técnicos e estudantes, refletindo a diversidade de perfis envolvidos na gestão cotidiana de produtos químicos. Esse aspecto foi considerado na análise como potencial fonte de viés de informante, sendo tratado por meio de triangulação metodológica e interpretação cautelosa dos resultados, conforme recomendado em avaliações institucionais baseadas em evidências (ISO, 2018b).

4.3 Aspectos éticos da pesquisa

A pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFV (CEP/UFV) em 6 de dezembro de 2024, tendo sido aprovada em 18 de março de 2025, sob o Processo nº 7.447.559, em conformidade com a Resolução CNS nº 510/2016.

Foram assegurados anonimato, confidencialidade e voluntariedade aos participantes. A identificação dos laboratórios foi substituída por codificação alfabética, prática compatível com recomendações internacionais para pesquisas que envolvem riscos institucionais e sensibilidade organizacional (WHO, 2020).

4.4 Construção do instrumento de coleta e observação em campo

O instrumento principal consistiu em questionário estruturado elaborado a partir de observações preliminares realizadas durante atividades junto à Diretoria de Meio Ambiente (DAM) da UFV, no acompanhamento de rotinas de coleta e descarte de resíduos químicos.

As observações permitiram identificar fragilidades como:

- armazenamento de resíduos dentro de laboratórios;
- organização de reagentes por ordem alfabética;
- ausência ou desatualização de FDS/FISPQ;
- treinamentos conduzidos de forma reativa.

Achados semelhantes são descritos na literatura internacional sobre biossegurança laboratorial (WHO, 2020).

O questionário foi estruturado em blocos temáticos coerentes com os objetivos da pesquisa, abordando inventário, rastreabilidade, armazenamento, compatibilidade química, descarte, capacitação e percepção de riscos.

4.5 Fontes administrativas e triangulação de dados

Foram integradas fontes documentais institucionais, registros administrativos e dados primários obtidos por formulário estruturado e observação direta.

A triangulação permitiu confrontar práticas declaradas com registros formais, estratégia compatível com auditorias baseadas em evidências conforme ISO 19011:2018.

4.6 Identificação de múltiplas portas de entrada e lacunas institucionais

A análise integrada evidenciou múltiplas portas de entrada para aquisição de produtos químicos (DMT, FUNARBE, FACEV, SIF, cartão pesquisador, convênios e doações), sem sistema institucional unificado.

Sob a perspectiva da gestão de riscos organizacionais, essa fragmentação configura exposição sistêmica decorrente de falhas de integração de processos (ISO 31000:2018).

Foram identificadas lacunas como:

- fornecimento não sistemático de EPIs;
- ausência de cobertura normativa para estudantes;
- inexistência de plano institucional de manutenção preventiva de sistemas de ventilação e cabines.

Tais lacunas contrastam com requisitos estruturais de segurança laboratorial descritos na ISO 15190:2020.

4.7 Análise de riscos e referenciais normativos

A análise de riscos foi orientada pelas diretrizes da ISO 19011:2018, articuladas com os requisitos de segurança laboratorial previstos na ISO 15190:2020 e os critérios de rastreabilidade estabelecidos na ISO/IEC 17025:2017.

Complementarmente, foram adotados os princípios da ISO 31000:2018. Foram utilizadas ferramentas como:

- Matriz de Risco (probabilidade × impacto);
- Bow-tie analysis;
- FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).

Essas ferramentas são compatíveis com abordagens estruturadas de priorização de riscos (ISO, 2018a; WHO, 2020).

4.8 Tratamento e análise dos dados

O tratamento foi realizado no ambiente R (RStudio/Posit), garantindo reprodutibilidade analítica.

Foram construídos indicadores relacionados a inventário, rastreabilidade, compatibilidade química, FDS/FISPQ, treinamentos e manutenção de infraestrutura.

Os escores foram calculados conforme $R = \text{Probabilidade} \times \text{Impacto}$, em consonância com modelos de avaliação previstos na ISO 31000:2018.

A organização e rastreabilidade dos dados dialogam com princípios da ISO/IEC 17025:2017.

4.9 Limitações do estudo

Reconhecem-se como limitações:

- restrição ao campus Viçosa;
- baixa adesão ao survey;
- potencial viés de autorrelato;
- consolidação manual de bases fragmentadas.

Limitações dessa natureza são descritas na literatura sobre avaliação institucional em ambientes acadêmicos (WHO, 2020).

4.10 Transparência e documentação

Foram incorporados à tese:

- Questionário eletrônico (Apêndice A);
- TCLE aprovado (Anexo A);
- Formulário DAM (Anexo B).

Essa documentação assegura transparência e possibilidade de replicação, conforme boas práticas recomendadas para auditorias institucionais (ISO, 2018b).

4.11 Limitações metodológicas do estudo

Apesar do rigor adotado na construção do delineamento e na triangulação das fontes de dados, algumas limitações metodológicas devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Em primeiro lugar, a amostra obtida correspondeu a 35 respostas válidas, representando 12,7% do universo de laboratórios identificados, com concentração no campus sede da instituição. Embora esse percentual seja compatível com padrões observados em pesquisas institucionais por survey, a adesão voluntária pode introduzir viés de auto-seleção, na medida em que unidades com maior sensibilidade ao tema podem apresentar maior propensão a participar (Daikeler; Bosnjak; Manfreda, 2020).

Em segundo lugar, parte das informações coletadas baseia-se em autorrelato dos respondentes, o que pode implicar vieses de percepção, interpretação ou desejabilidade social, particularmente em temas relacionados à conformidade normativa e práticas de segurança. Esse fenômeno é amplamente discutido na literatura metodológica como *common method bias*, podendo afetar a consistência interna dos Dados Declarativos (PODSAKOFF *et al.*, 2003). Tal limitação foi parcialmente mitigada por meio da análise documental e das observações diretas em campo, estratégia reconhecida na literatura como triangulação metodológica, capaz de fortalecer a validade interna da pesquisa ao confrontar múltiplas fontes de evidência (Denzin, 2012).

Outra restrição relevante refere-se à fragmentação dos sistemas institucionais de registro e aquisição de produtos químicos, o que exigiu procedimentos de consolidação manual e cruzamento de bases administrativas distintas. Esse cenário, além de representar um desafio metodológico, constitui também um achado empírico relevante, por evidenciar fragilidades estruturais na governança institucional e limitações de integração sistêmica, especialmente em organizações descentralizadas e com múltiplas unidades administrativas (ISO, 2018; WHO, 2020).

Adicionalmente, por tratar-se de estudo de natureza exploratório-descritiva aplicado a uma única instituição, os resultados não possuem pretensão de generalização estatística para outras IFES. Contudo, apresentam potencial de transferibilidade analítica para contextos organizacionais com características semelhantes, conforme discutido na literatura sobre estudos de caso e pesquisa aplicada em ambientes complexos (Yin, 2015).

Essas limitações não comprometem a validade interna da pesquisa, mas devem ser consideradas na extrapolação dos achados e na formulação de recomendações, reforçando a necessidade de estudos comparativos multicêntricos futuros e de aprofundamento analítico em diferentes contextos institucionais (Yin, 2015; Daikeler; Bosnjak; Manfreda, 2020).

5 RESULTADOS

5.1 Taxa de resposta e perfil dos respondentes

Do universo de 275 laboratórios identificados na UFV, apenas 35 responderam ao questionário, o que representa uma taxa de resposta de 12,7% (Tabela 1).

Tabela 1 – Taxa de resposta dos laboratórios

Universo de laboratórios	Respostas válidas	Taxa de resposta (%)
275	35	12,7

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaboração própria no RStudio.

A presente pesquisa obteve uma taxa de resposta de 12,7% (35 laboratórios do total de 275), valor que, à primeira vista, pode ser considerado reduzido. Entretanto, esse resultado está em consonância com o que a literatura internacional e nacional tem evidenciado em pesquisas por survey aplicadas em universidades. Fan e Yan (2010) demonstraram, em revisão sistemática, que a taxa média de participação em levantamentos institucionais dificilmente ultrapassa 20%, mesmo quando o instrumento é curto e direcionado a públicos especializados. Daikeler *et al.* (2020), em uma meta-análise com mais de 400 surveys online conduzidos em ambientes educacionais e administrativos, encontraram média global de 16,6%, sugerindo que há um limite estrutural de engajamento nesse tipo de coleta.

No caso específico das universidades, alguns fatores explicam essa adesão reduzida. Groves e Peytcheva (2008) apontam que a evasão seletiva dos respondentes não é aleatória: os participantes tendem a evitar surveys quando percebem que os dados podem expor fragilidades institucionais ou práticas inadequadas. Esse fenômeno, denominado nonresponse bias, é particularmente crítico em pesquisas sobre biossegurança, onde admitir falhas em protocolos, armazenamento de substâncias químicas ou ausência de treinamentos pode ser interpretado como reconhecimento de risco ou vulnerabilidade. Na UFV, relatos qualitativos durante a coleta sugeriram resistência cultural em admitir problemas, o que reforça essa interpretação.

Comparações com outras universidades reforçam esse panorama. Porter e Whitcomb (2003) mostraram que nos Estados Unidos, mesmo com uso de diferentes métodos de contato (e-mail, telefone, carta), as taxas de resposta raramente superaram 15–20%. Na Europa, Daikeler *et al.* (2020) confirmaram médias semelhantes, demonstrando que a limitação não é um problema pontual, mas um padrão internacional. Em países asiáticos, Lin (2021) descreveu que diagnósticos de segurança em laboratórios de universidades chinesas e japonesas também sofrem com baixíssima participação, atribuída à subvalorização da biossegurança no ambiente acadêmico e à ausência de legislações que obriguem o reporte sistemático de práticas. No Brasil, Souza *et al.* (2023) verificaram cenário semelhante em universidades federais: coordenadores frequentemente transferem a responsabilidade de preenchimento a técnicos ou estudantes, muitas vezes sem conhecimento integral da gestão laboratorial, o que compromete tanto a adesão quanto a qualidade das informações.

A análise da UFV, portanto, revela uma dupla fragilidade. De um lado, a taxa de resposta é ligeiramente inferior à média internacional (~16%), sugerindo menor engajamento local. De outro, a qualidade das respostas foi impactada pela participação de estudantes (12%), que, embora tragam perspectivas relevantes, não possuem a mesma visão sistêmica que coordenadores e técnicos sobre protocolos institucionais. Como ponto positivo, essa diversidade de respondentes pode ser interpretada como fortaleza, pois permite compreender percepções distintas de atores que lidam cotidianamente com riscos em laboratório.

Superar o desafio da baixa adesão requer estratégias combinadas. A literatura aponta que incentivos institucionais (como certificados de participação, reconhecimento em relatórios institucionais ou vinculação a programas de avaliação de qualidade) podem aumentar o engajamento (Porter; Whitcomb, 2003). Outra medida seria a inserção de obrigatoriedade normativa, como ocorre em países da União Europeia, onde a Diretiva 2000/54/CE exige relatórios regulares sobre exposição a agentes biológicos, o que indiretamente fortalece a cultura de preenchimento de instrumentos. No Brasil, a ausência de legislação específica para biossegurança em laboratórios universitários cria um vácuo regulatório, que contribui para a desmotivação.

Do ponto de vista cultural, a melhoria depende da consolidação de uma cultura de transparência e aprendizado institucional. Quando os laboratórios percebem que o

survey não tem caráter punitivo, mas sim propositivo — servindo de base para melhorias estruturais, investimentos e capacitações —, há maior disposição em colaborar (OECD, 2022). Uma solução para a UFV e outras IFES seria integrar esse tipo de levantamento aos planos anuais de gestão de riscos e resíduos previstos na PNRS (Lei nº 12.305/2010) e na RDC ANVISA nº 222/2019, de modo que o preenchimento não seja visto como atividade isolada, mas como parte do cumprimento legal e institucional.

Em síntese, a baixa adesão não invalida os resultados desta pesquisa, mas revela uma fragilidade estrutural da cultura de biossegurança universitária, convergente com padrões internacionais. Ao mesmo tempo, a diversidade de respondentes constitui um ponto forte, que permite captar múltiplas visões. Para que futuros diagnósticos alcancem maior representatividade, será necessário combinar incentivos, obrigatoriedade regulatória e mudança cultural, promovendo engajamento ativo dos atores envolvidos (Tabela 2).

Tabela 2 – Perfil dos respondentes segundo a função

Função	Percentual (%)
Coordenadores	54,0
Técnicos de laboratório	34,0
Estudantes	12,0

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Elaboração própria no RStudio.

A distribuição dos respondentes mostra predominância de coordenadores (54%), seguidos por técnicos de laboratório (34%) e estudantes (12%). Esse resultado evidencia que, embora a gestão formal esteja sob responsabilidade dos coordenadores, uma parcela significativa das respostas foi preenchida por técnicos e alunos. Esse padrão não é exclusivo da UFV: estudos em universidades latino-americanas já apontaram que a delegação de tarefas de segurança para técnicos é prática comum, decorrente da sobrecarga administrativa dos docentes e da insuficiência de estruturas institucionais de apoio (Costa; Moraes, 2019).

Do ponto de vista da biossegurança, esse cenário apresenta fragilidades. A elevada participação de estudantes — ainda que minoritária (12%) — reforça a dependência de atores que, em muitos casos, não receberam treinamento formal em

gestão de riscos, situação já observada por Faria, Andrade e Gomes (2021) em universidades brasileiras, onde a rotatividade discente compromete a continuidade das práticas de segurança. Já os técnicos de laboratório, embora experientes, frequentemente trabalham sem reconhecimento formal como responsáveis legais pela biossegurança, o que pode gerar lacunas de autoridade e responsabilização (Machado; Oliveira, 2020).

Por outro lado, há pontos fortes nessa diversidade de respondentes. Técnicos de laboratório constituem, em muitos casos, a “memória institucional” dos laboratórios, acumulando conhecimento prático sobre protocolos, acidentes anteriores e estratégias de mitigação (Mendonça; Soares, 2022). A inclusão de estudantes também pode ser positiva, pois revela a percepção de quem executa atividades diárias de bancada e lida diretamente com manipulação de substâncias, resíduos e equipamentos — uma dimensão muitas vezes invisível aos gestores (Pereira; Silveira, 2020).

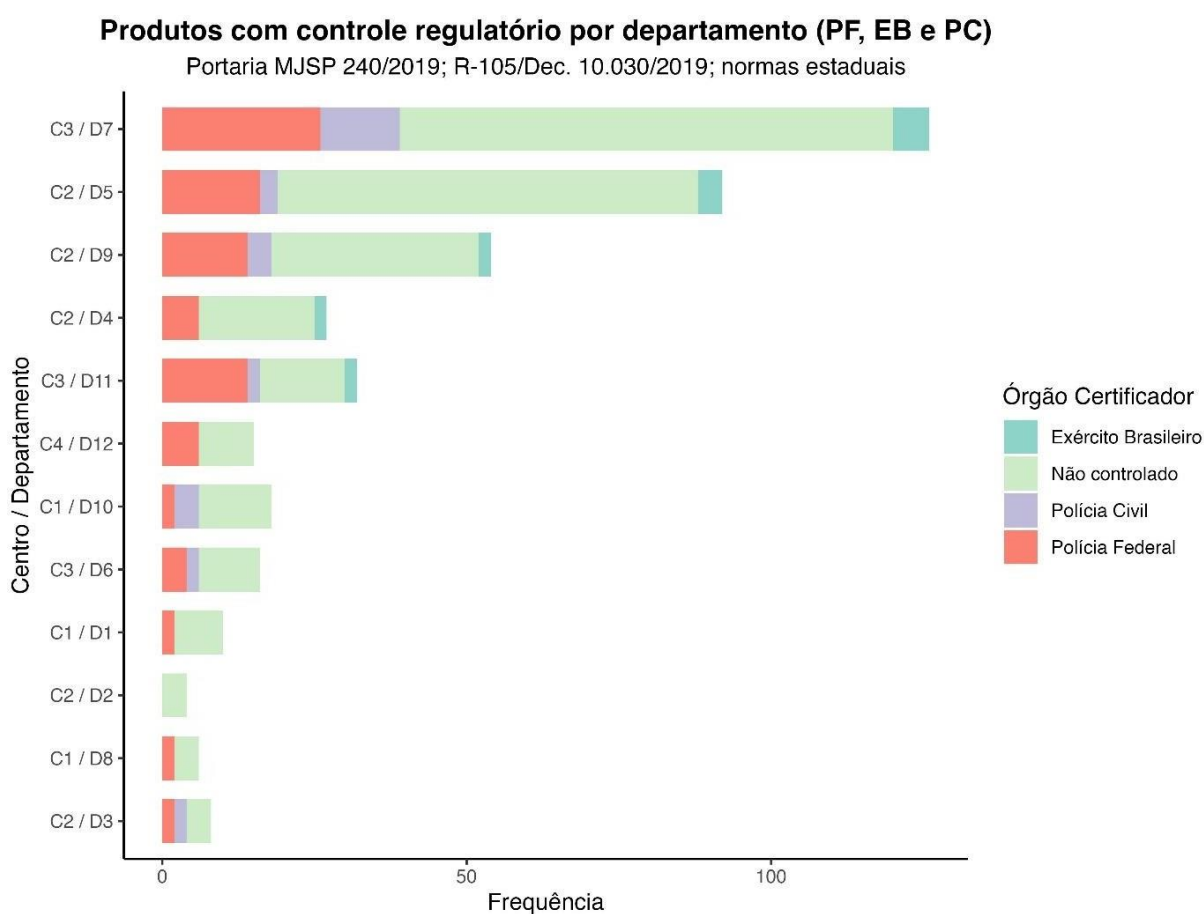
A comparação com outros contextos internacionais reforça esse diagnóstico. Em universidades canadenses, Becker, Katz, Smith (2019) mostraram que a participação de estudantes em levantamentos de biossegurança é crescente, mas ainda marcada pela baixa formação prévia em normas técnicas. Na Austrália, Chen, Williams e Taylor (2020) observaram que a descentralização da responsabilidade de biossegurança para técnicos foi essencial para manter a continuidade das práticas, mas só teve impacto positivo quando acompanhada de treinamento institucionalizado. Esses exemplos mostram que a presença de múltiplos atores na resposta não devem ser vista apenas como fragilidade, mas como oportunidade de integrar visões complementares, desde que haja suporte normativo e programas de capacitação.

No caso brasileiro, a situação é agravada por uma lacuna regulatória: a NR-6, que trata dos EPIs, obriga o fornecimento de equipamentos e treinamentos a trabalhadores, mas não contempla estudantes, que são maioria entre os usuários de laboratórios. Essa exclusão cria um vazio legal que deixa discentes vulneráveis e invisíveis na gestão de riscos. Uma possível solução seria a elaboração de normas institucionais próprias ou mesmo a atualização da legislação nacional para reconhecer o papel dos estudantes como atores centrais em ambientes laboratoriais.

As barras horizontais empilhadas da Figura 1 mostram a frequência de produtos por centro/departamento, discriminando o status regulatório: Não controlado, PF (Portaria MJSP nº 204/2022 — Produtos Químicos Controlados — PQC), PC

(normas estaduais) e EB (Decreto nº 10.030/2019; Portaria COLOG nº 118/2019 — Produtos Controlados pelo Exército – PCE). Escala no eixo X em frequência absoluta. Classificação de perigo e rotulagem seguem a ABNT NBR 14725:2023 (GHS-7) e a NR-26 para comunicação de perigos no ambiente de trabalho.

Figura 1 – Frequência de produtos químicos por centro/departamento, com predominância de substâncias não controladas e presença de itens sob regulação da Polícia Federal, normas estaduais e Exército Brasileiro, indicando maior concentração de produtos regulados em unidades com maior acervo



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Observa-se predominância de itens “Não controlado” na maioria dos departamentos, o que é compatível com perfis de P&D que utilizam grande volume de reagentes comuns (solventes, sais, tampões). Ainda assim, há fatias relevantes de produtos sob controle da PF em diversos setores (Listas I–VI da Portaria MJSP nº 204/2022), com participações pontuais da PC (reflexo de exigências estaduais, tipicamente sobre inflamáveis/corrosivos) e incidência menor de PCE (EB) — geralmente associada a oxidantes/insumos energéticos. Os dois departamentos com

barras mais extensas concentram a maior fração do acervo e, proporcionalmente, também mais itens regulados; por consequência, devem liderar o cronograma de auditorias e reconciliações (Mapas SIPROQUIM 2), além de receber treinamento anual obrigatório e rotinas reforçadas de armazenamento/compatibilidade (cabines/ventilação, segregação por classes GHS, controle de acesso).

Do ponto de vista sistêmico, o padrão encontrado expõe duas lacunas típicas do meio acadêmico brasileiro: (i) heterogeneidade regulatória — PF e EB têm marcos nacionais claros, mas a PC varia por estado, criando zonas cinzentas na rotina de compras/uso; e (ii) ausência de um padrão nacional de treinamento laboratorial (conteúdo, carga, avaliação e reciclagem), o que fragiliza a biossegurança mesmo quando rótulos/FDS estão conformes à NBR 14725:2023. Assim, a instituição deve padronizar currículo mínimo (GHS/NR-26/NBR 14725, POPs por risco, resposta a emergências) e implantar Cadeia de Custódia (CoC) para itens PF/PCE e de uso dual (registro de quem/quando/quanto/para quê), integrando inventário por frasco (código de barras/QR), porta única de recebimento e e-procurement para eliminar “múltiplas portas de entrada” que quebram a rastreabilidade do ciclo de vida do produto.

Os resultados desta pesquisa revelam um cenário típico de P&D: o acervo é majoritariamente não controlado, mas há fatias relevantes sob controle da PF (PF) em vários departamentos, além de contingentes menores de Produtos Controlados pelo EB (PCE/EB) e variações pontuais associadas a normativas estaduais da PC, o que eleva a complexidade de governança, especialmente onde o uso dual se sobrepõe a classes GHS de maior severidade (inflamáveis, corrosivos e oxidantes). Para a comunicação de perigos, a instituição deve alinhar-se à ABNT NBR 14725:2023 — que consolida e atualiza o GHS no Brasil, com implementação obrigatória a partir de 4 de julho de 2025 — e à NR-26, que mantém a exigência de sinalização e remete a normas técnicas oficiais para rótulos e FDS; esses marcos garantem linguagem comum para perigos, mas não disciplinam autorização, custódia ou rastreabilidade do uso no cotidiano laboratorial.

Para fins desta tese, emprega-se a sigla P&D para designar Pesquisa e Desenvolvimento. Pesquisa (P) refere-se à geração de conhecimento novo por meio de experimentos, ensaios e validação de hipóteses; Desenvolvimento (D) corresponde à transformação desse conhecimento em processos/produtos/serviços aplicáveis, incluindo padronização de métodos, qualificação de processos e escalonamento piloto. Quando houver ênfase explícita em transferência de tecnologia e impacto

socioeconômico, utiliza-se PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação). No âmbito desta análise, a dimensão “P” tende a ampliar a diversidade de reagentes e classes GHS (maior variedade de solventes, ácidos/bases e insumos analíticos), enquanto a dimensão “D” tende a elevar volumes, frequência de manipulação e interfaces com precursores — o que aumenta o ônus regulatório (PF/EB/PC) e a necessidade de biocustódia/cadeia de custódia por frasco (controle de acesso, registros de retirada/uso/devolução e reconciliação periódica). As diferenças departamentais observadas nos gráficos refletem, em grande medida, intensidades distintas dessas duas dimensões, explicando por que certos setores concentram “uso dual” e perigos GHS severos (inflamáveis, corrosivos, oxidantes), demandando treinamento padronizado, porta única de recebimento, inventário por frasco e integração ao SIPROQUIM 2 para garantir rastreabilidade ao longo de todo o ciclo de vida.

No eixo regulatório federal, a Portaria MJSP nº 204/2022 (PF) estabelece procedimentos e listas (I–VII) de Produtos Químicos Controlados, operacionalizando cadastros, licenças e Mapas via SIPROQUIM 2 — um marco que substituiu a Portaria 240/2019 e demanda monitoramento de atualizações subsequentes para manter a conformidade institucional. No âmbito do EB, o Decreto nº 10.030/2019 aprovou o Regulamento de Produtos Controlados e a Portaria COLOG nº 118 (Brasil, 2019b) consolidou a lista de PCE, com impacto direto sobre armazenamento dedicado, segurança física e autorizações quando aplicável. Já o escopo estadual da PC permanece heterogêneo, gerando “zonas cinzentas” na rotina de compras/uso que exigem matrizes de equivalência (PF/EB → PC) e pareceres internos para uniformizar entendimentos.

Do ponto de vista técnico-operacional, três pontos fortes emergem dos seus gráficos. Primeiro, o diagnóstico objetivo por departamento: ao cruzar volume total, PF/EB/PC e uso dual, o campus passa a identificar hotspots (departamentos com maior densidade de itens regulados e GHS severo), o que viabiliza auditorias proporcionais ao risco e priorização de investimentos em engenharia/EPI/POPs, em consonância com modelos de priorização baseados em risco previstos na ISO 31000:2018 e com diretrizes para auditoria de sistemas de gestão descritas na ISO 19011:2018 (ISO, 2018a, 2018b). Segundo, a adoção explícita do GHS antecipa a transição para a ABNT NBR 14725:2023 e cria base comum com a NR-26 e com as FDS dos fornecedores, fortalecendo a comunicação padronizada de perigos conforme estabelecido pelo Sistema Globalmente Harmonizado e sua internalização no Brasil

(ABNT, 2023; Brasil, 2022; United Nations Economic Commission for Europe, 2023). Terceiro, a separação de uso dual confere um eixo de governança do “quem pode usar, quando e para quê”, alinhado às melhores práticas descritas em *Prudent Practices in the Laboratory* (National Academies, 2011) e à abordagem baseada em risco do *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed., que enfatizam responsabilidade institucional, rastreabilidade e controles proporcionais ao risco (WHO, 2020; OECD, 2022). Além disso, a identificação de substâncias sujeitas a controle administrativo dialoga com o arcabouço normativo nacional referente a produtos químicos controlados pela Polícia Federal e pelo Exército Brasileiro, conforme Portaria MJSP nº 204/2022 e Decreto nº 10.030/2019 (Brasil, 2019, 2022b).

Em contrapartida, os pontos fracos também ficam nítidos. A ausência de padronização nacional de treinamentos laboratoriais fora do setor saúde (conteúdo mínimo, carga, avaliação e reciclagem) faz com que rótulos e FDS corretos (GHS) não se convertam automaticamente em condutas seguras; a literatura demonstra que lacunas de treinamento e cultura de segurança agravam a frequência e a severidade de incidentes em universidades — vide o estudo de caso do CSB em Texas Tech (2010), amplamente utilizado como referência em gestão de perigos físicos e responsabilidade gerencial. Além disso, múltiplas portas de entrada (compras descentralizadas, cartão corporativo, doações) quebram a rastreabilidade exigida por PF/EB, dificultando licenças, Mapas e reconciliações; as Diretrizes da OCDE para Prevenção, Preparo e Resposta a Acidentes Químicos (3ª ed., 2023) destacam governança, gestão de mudanças (MOC) e informação como pilares para reduzir falhas de controle e de resposta. Soma-se a isso a ausência de CoC por frasco — isto é, registro de quem/quando/quanto/para quê — que inviabiliza demonstrar custódia efetiva sobre PQC/PCE e reagentes de uso dual, especialmente quando auditados.

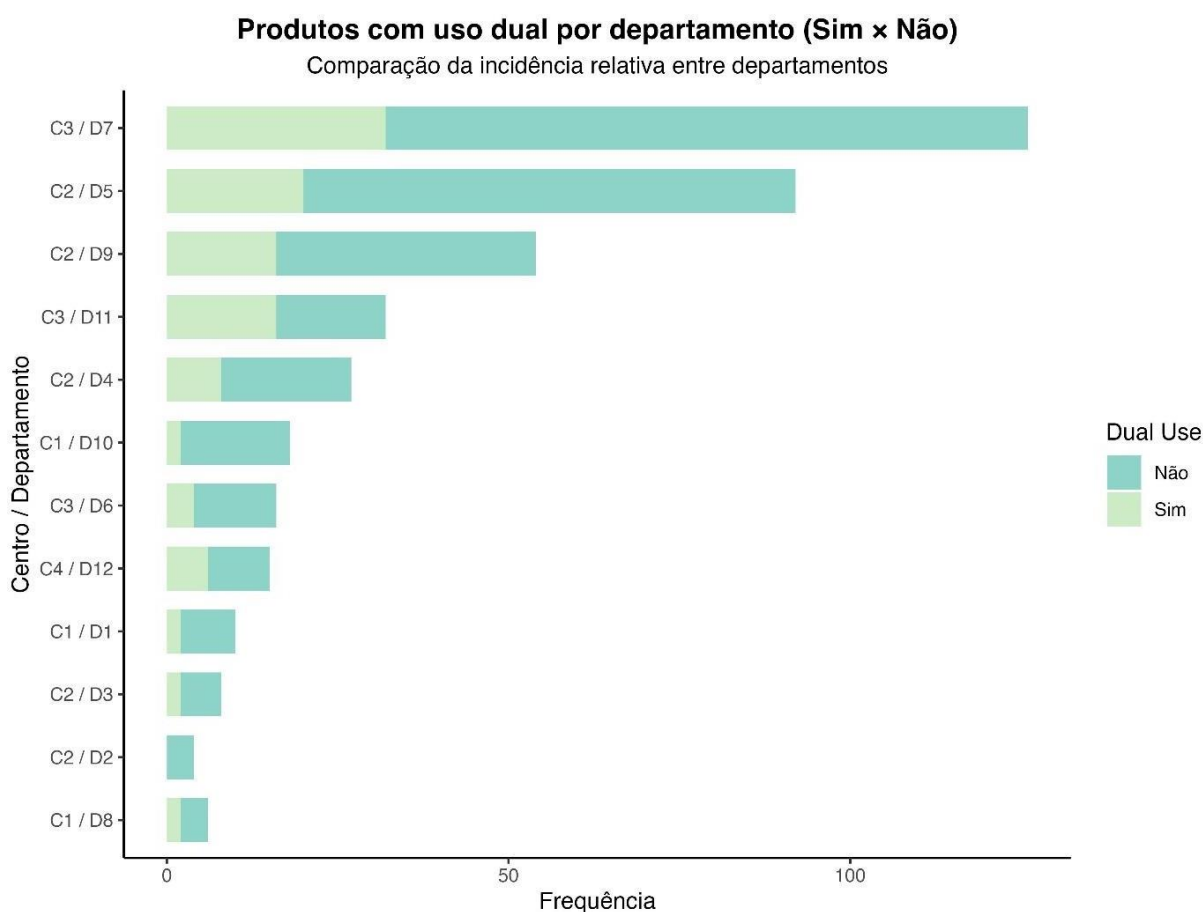
A estratégia de custódia que se impõe, inspirada na biossegurança e amplamente referendada pelo *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed. (WHO, 2020), inclui controle de acesso por perfil, armazenamento segregado e trancado para itens críticos, e cadeia de custódia (CoC) digital por frasco com reconciliação periódica, integrando compras–estoque–uso–resíduos e, quando aplicável, o SIPROQUIM 2, conforme diretrizes nacionais de controle de produtos químicos (Brasil, 2022). Essa arquitetura deve ser sustentada por um programa institucional de treinamento (onboarding + reciclagem anual), documentado e avaliado, estruturado por classe GHS (inflamáveis, corrosivos, oxidantes, tóxicos) e por processos críticos

(resposta a emergências, gestão de resíduos, incompatibilidades), conforme *Prudent Practices in the Laboratory* (National Academies, 2011) e evidências sobre cultura de segurança em ambientes acadêmicos (WHO, 2020; OECD, 2022). No plano ético-regulatório, recomenda-se explicitar o compromisso institucional com responsabilidade científica e uso responsável de insumos com potencial de desvio, em consonância com as *The Hague Ethical Guidelines* (OPCW, 2015), documento que propõe elementos de códigos de ética e boas práticas para a comunidade da Química.

Em termos práticos, os pontos fortes do seu diagnóstico são: (i) mapa departamental que combina volume, controle (PF/EB/PC) e perigo GHS; (ii) identificação clara de hotspots, orientando auditorias e investimentos; e (iii) leitura explícita de uso dual, algo ainda raro em inventários acadêmicos brasileiros. Os pontos fracos que pedem ação são: (a) inexistência de padrão interno de treinamento com requisitos mínimos; (b) rastreabilidade por frasco e CoC ainda incipientes; (c) fragmentação de compras que rompe a trilha de auditoria; e (d) heterogeneidade estadual (PC) que exige matrizes de equivalência e pareceres para reduzir incertezas. Como agenda, propõe-se porta única de recebimento com e-procurement (catálogo marcado PF/EB/PC/GHS e bloqueios por perfil), inventário por frasco com etiqueta/QR e app de leitura, CoC digital integrado ao SIPROQUIM 2, e treinamento padronizado (conteúdo + avaliação + reciclagem) — tudo ancorado em ABNT NBR 14725:2023/NR-26, Portaria 204/2022 (PF), Decreto 10.030/2019 + COLOG 118/2019 (EB), *Prudent Practices*, LBM4/OMS e OPCW.

De acordo com a Figura 2, barras horizontais empilhadas por centro/departamento com a contagem de itens Sim (potencial de uso dual) e Não. O conceito de dual-use é tratado no Brasil principalmente pelo controle de produtos químicos (Portaria MJSP nº 204/2022 — PF; Decreto nº 10.030/2019 e Portaria COLOG nº 118 (Brasil, 2019b); normas estaduais — PC), e, no plano internacional, por diretrizes de responsabilidade científica (p.ex., OPCW/The Hague Ethical Guidelines e UNSCR 1540). A comunicação de perigos permanece ancorada na ABNT NBR 14725:2023 (GHS-7) e na NR-26, mas essas normas não disciplinam governança de uso nem custódia.

Figura 2 – Distribuição de produtos químicos com e sem potencial de uso dual por departamento, evidenciando concentração de substâncias sensíveis em unidades específicas e maior necessidade de controle e rastreabilidade



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A Figura 2 evidencia uma distribuição assimétrica do potencial de uso dual entre as unidades, com destaque para C3/D7, C2/D5 e C2/D9, que concentram a maior fração absoluta de itens classificados como “Sim”. Esse padrão é compatível com linhas de P&D que utilizam solventes estratégicos, precursores e oxidantes; porém, do ponto de vista de governança, o dado não deve ser tratado apenas como contagem: ele aponta para pontos de pressão do sistema onde o risco de desvio e o risco ocupacional se superpõem e, portanto, onde a instituição precisa intensificar controles administrativos e técnicos. No plano regulatório, a Portaria MJSP nº 204/2022 (PF) determina listas e obrigações administrativas para Produtos Químicos Controlados (cadastro, licenças e Mapas no SIPROQUIM 2); no âmbito do EB, o Decreto nº 10.030/2019 e a Portaria COLOG nº 118 (Brasil, 2019b) definem os Produtos Controlados pelo EB (PCE) e os requisitos correlatos; já a PC opera por

normativas estaduais, usualmente espelhando ou complementando a PF, o que cria heterogeneidade interpretativa. A comunicação de perigos deve permanecer ancorada na ABNT NBR 14725:2023 (GHS-7) e na NR-26; contudo, essas normas classificam e comunicam perigos, mas não disciplinam, por si, autorização de uso, custódia e rastreabilidade dentro do campus — lacuna que se torna evidente justamente nos departamentos com maior proporção de “Sim”.

Diante desse cenário, a resposta institucional deve combinar custódia e conformidade legal em um único fluxo. Custódia, aqui, significa transformar o inventário estático em uma trilha auditável de posse e uso, em consonância com princípios de rastreabilidade e controle documental descritos na ISO 19011:2018 e na ISO/IEC 17025:2017 (ISO, 2017, 2018a): porta única de recebimento de todo reagente, etiquetagem por frasco (código de barras/QR) já no recebimento, armazenamento segregado e trancado com controle de acesso por perfil, e cadeia de custódia (CoC) que registre retirada, usuário, projeto, massa/volume utilizado, saldo e devolução, com reconciliação mensal e amostragem presencial, conforme boas práticas descritas no *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed. (WHO, 2020) e em *Prudent Practices in the Laboratory* (National Academies, 2011).

Essa trilha precisa dialogar com compras (e-procurement com catálogo que já sinalize PF/EB/PC e classe GHS) e com o SIPROQUIM 2, evitando as “múltiplas portas de entrada” (requisições paralelas, cartão corporativo, doações) que quebram a rastreabilidade do ciclo de vida, geram inventários paralelos e dificultam a prestação de contas regulatória, em consonância com os requisitos nacionais de controle de produtos químicos (Brasil, 2019, 2022).

Em paralelo, o acesso aos itens de maior sensibilidade deve depender de triagem pré-compra por risco (justificativa técnica, verificação de licenças e limites PF/EB, checagem de estoque), autorização de uso vinculada a treinamento aprovado e termo de responsabilidade, e auditorias proporcionais ao risco — mensais nos departamentos com maior proporção de “Sim”, trimestrais nos demais — cobrindo compatibilidade de armazenamento, sinalização GHS/NR-26, integridade de rótulos/FDS, saldos e reconciliações, conforme diretrizes de auditoria baseadas em risco previstas na ISO 19011:2018 e princípios de gestão de risco da ISO 31000:2018 (ISO, 2018a, 2018b; ABNT, 2023; Brasil, 2022).

A fragilidade estrutural que permanece, e que a figura ajuda a explicitar, é a ausência de um padrão nacional para treinamentos laboratoriais fora do setor saúde

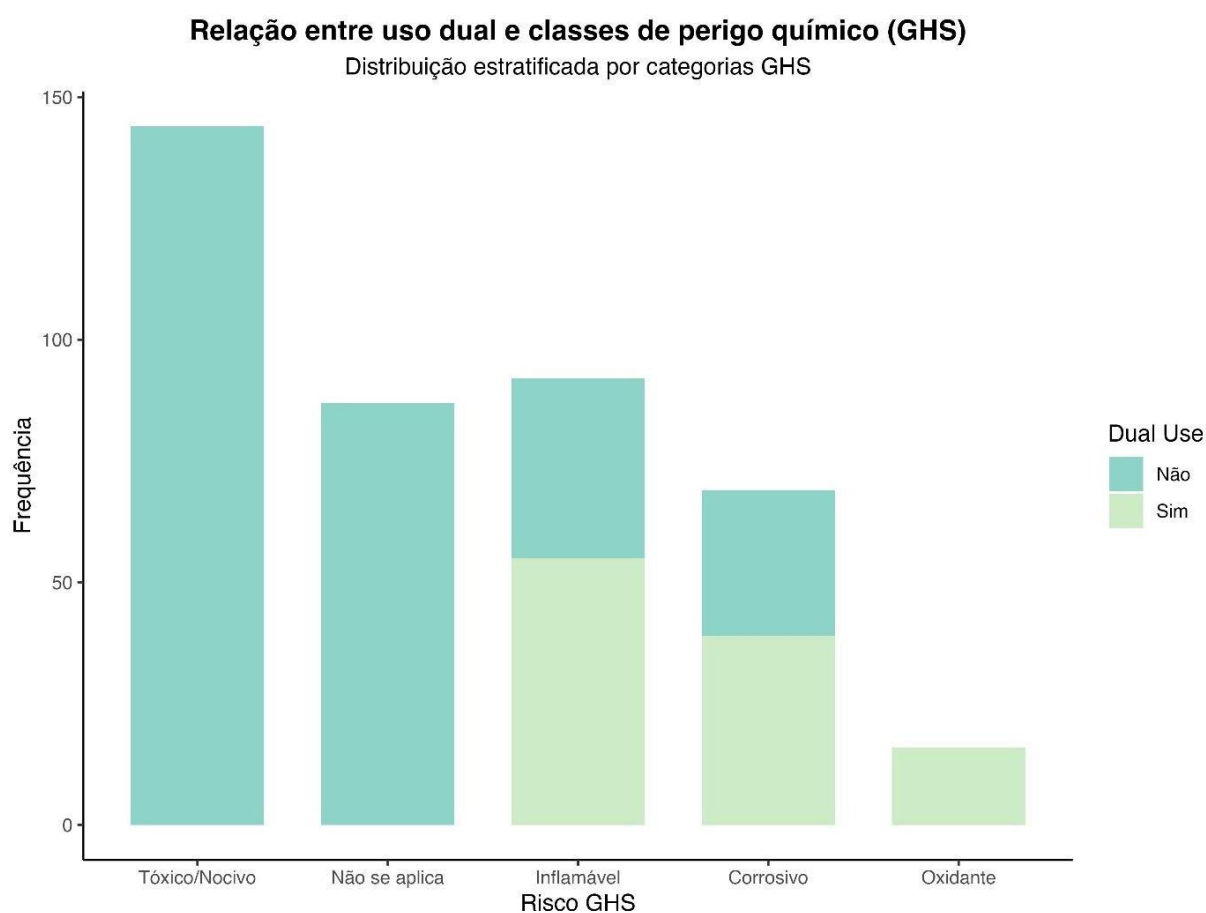
(conteúdo mínimo, carga horária, avaliação e reciclagem). Sem esse piso normativo, a conformidade documental (rótulos e FDS atualizados pela NBR 14725:2023) não se converte automaticamente em conduta segura: a qualidade do treinamento fica dependente do laboratório e do gestor local, reproduzindo bolsões de risco justamente onde o “Sim” é mais incidente. Assim, recomenda-se que a instituição estabeleça uma norma interna que padronize o currículo de segurança (GHS/NR-26/NBR 14725, POPs por classe de perigo, resposta a emergências, resíduos), vincule o direito de uso à certificação anual, e integre esse ciclo formativo à custódia e à cadeia de custódia. Em síntese, a leitura do gráfico impõe uma agenda integrada: harmonizar a interpretação de PF/EB/PC (com matriz de equivalência e pareceres internos), fechar a lacuna de treinamento com um padrão institucional, eliminar as múltiplas portas de entrada, e implementar CoC por frasco conectada a compras e ao SIPROQUIM 2. Essa combinação é a que reduz, de forma mensurável, as vulnerabilidades de desvio e consolida a biossegurança nos departamentos com maior densidade de uso dual.

Conforme a Figura 3, barras empilhadas por classe GHS (Tóxico/Nocivo, Não se aplica, Inflamável, Corrosivo, Oxidante) mostram a frequência de produtos estratificada pelo potencial de uso dual (Sim e Não). Eixo X: classes GHS; eixo Y: frequência de itens. Observa-se maior ocorrência absoluta em *Tóxico/Nocivo* e maior proporção de “Sim” nas classes *Inflamável* e *Corrosivo*; *Oxidante* aparece em menor número, porém predominantemente dual-use. Classificação conforme ABNT NBR 14725:2023 (GHS); categorização de uso dual segundo análise institucional.

A Figura 3 evidencia três padrões complementares: (i) maior ocorrência absoluta em *Tóxico/Nocivo*, (ii) maior proporção de “Sim” (dual-use) em *Inflamável* e *Corrosivo* e (iii) *Oxidante* com menor número de itens, porém predominantemente dual-use. Em termos de gestão de risco, cada padrão implica estratégias distintas. O bloco *Tóxico/Nocivo* tende a concentrar reagentes de uso rotineiro (sais, solventes e insumos analíticos), cuja criticidade regulatória é menor; aqui, o foco deve recair sobre controle de exposição, POPs e EPIs, monitoramento ambiental quando aplicável e descarte correto — conforme a ABNT NBR 14725:2023 (rótulos/FDS no padrão GHS) e a NR-26 (sinalização e comunicação de perigos). Já os grupos *Inflamável* e *Corrosivo*, por apresentarem maior fração de “Sim”, combinam perigo intrínseco com potencial de desvio; exigem, portanto, bloqueios por perfil de usuário, armazenamento segregado (cabines, armários para inflamáveis, contenção secundária para corrosivos), prevenção de ignição e compatibilidade — conforme NFPA 45 para

proteção contra incêndios em laboratórios e as diretrizes Prudent Practices in the Laboratory para hierarquia de controles. No caso de Oxidante, ainda que o número seja menor, a predominância de “Sim” aumenta a severidade: oxidantes fortes figuram entre Produtos Controlados pelo EB (PCE) em diversos enquadramentos e demandam armazenamento dedicado trancado, segregação de materiais orgânicos/combustíveis, controle térmico e treinamento específico — de acordo com o Decreto nº 10.030/2019 e a Portaria COLOG nº 118 (Brasil, 2019b).

Figura 3 – Distribuição de produtos químicos por classes de perigo do GHS associadas ao potencial de uso dual, com maior proporção de substâncias críticas nas categorias inflamável, corrosivo e oxidante



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Do ponto de vista regulatório, a presença de “Sim” nas classes Inflamável/Corrosivo/Oxidante conecta-se a três eixos: (a) PF — Portaria MJSP nº 204/2022, que disciplina Produtos Químicos Controlados (PQC), licenças, cadastro e Mapas no SIPROQUIM 2; (b) EB — Decreto 10.030/2019 e COLOG 118 (Brasil, 2019b), para PCE com implicações de segurança física/armazenamento; e (c) PC, com normas

estaduais heterogêneas que frequentemente espelham/complementam a PF (necessitando matriz de equivalência e pareceres internos). Em paralelo, a ABNT NBR 14725:2023 (GHS-7) e a NR-26 asseguram a comunicação de perigos (rótulos e FDS), mas não regulam autorização de uso, custódia e rastreabilidade; essa lacuna deve ser fechada por norma interna de custódia e cadeia de custódia (CoC) por frasco. Sob a ótica de custódia, a interseção “dual-use × GHS severo” da figura identifica *hotspots* que pedem controles proporcionais: porta única de recebimento, triagem pré-compra por risco (justificativa técnica, checagem de licenças/limites PF/EB, verificação de estoque), controle de acesso por perfil (direito de uso vinculado a treinamento certificado), e cadeia de custódia (CoC) digital por frasco (quem/quando/quanto/para quê), com reconciliação mensal nos setores de maior densidade de “Sim”.

Essa arquitetura transforma o inventário “estático” em trilha auditável, fortalecendo conformidade e resposta a auditorias — conforme o *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4ª ed., que advoga abordagem baseada em risco e programas formais, periódicos e documentados de treinamento (WHO, 2020), e de acordo com as *Prudent Practices in the Laboratory* (National Academies, 2011), que detalham compatibilidade química, armazenamento seguro e gestão de mudanças (*management of change* — MOC). Ademais, os princípios de auditoria baseada em risco e rastreabilidade documental previstos na ISO 19011:2018 e na ISO 31000:2018 sustentam a adoção de controles proporcionais ao grau de criticidade identificado (ISO, 2018a, 2018b), enquanto o controle administrativo de substâncias sujeitas à fiscalização nacional deve observar os requisitos do Decreto nº 10.030/2019 e da Portaria MJSP nº 204/2022 (Brasil, 2019a, 2022).

Um ponto crítico, evidenciado pelo levantamento de campo, é a organização alfabética de reagentes reportada em parte dos laboratórios, em vez de arranjo por compatibilidade/GHS. Segundo a ACS (*Safety in Academic Chemistry Laboratories*) e os guias de EHS de universidades de referência (p. ex., UC Berkeley e UW–Madison), não se recomenda organizar apenas por ordem alfabética, pois isso aproxima incompatíveis; o correto é primeiro segregar por famílias compatíveis (inflamáveis, oxidantes, ácidos minerais vs. orgânicos, bases fortes, tóxicos etc.) e só depois ordenar alfabeticamente dentro de cada família. Em inflamáveis (onde a sua figura mostra maior proporção de “Sim”), isso implica armários homologados, ventilação/local exaustora e prevenção de ignição — conforme NFPA 45; em

oxidantes (predominantemente “Sim”), demanda-se segregação rígida de orgânicos/combustíveis e controle térmico. Além disso, segundo os formulários, constatou-se ausência de FDS em alguns laboratórios — não conformidade frente à NBR 14725:2023 (FDS atualizadas, em português, coerentes com o rótulo) e à NR-26; sem FDS, faltam parâmetros para EPI, compatibilidades, primeiros socorros e emergência, o que eleva o risco residual justamente nas classes Inflamável/Corrosivo/Oxidante.

Por fim, a figura sugere uma priorização objetiva: (1) treinamento padronizado por classe GHS e por processo crítico (onboarding + reciclagem anual, com avaliação), conforme WHO LBM4 e Prudent Practices; (2) inventário por frasco (código de barras/QR) com CoC digital, integrando compras-estoque-uso-resíduos e, quando aplicável, SIPROQUIM 2; (3) auditorias mensais nos cruzamentos com maior densidade “dual-use × GHS severo” e trimestrais nos demais; (4) substituições tecnicamente viáveis (green chemistry) para reduzir dependência de oxidantes fortes e de solventes críticos; e (5) matriz de equivalência regulatória PF/EB → PC para uniformizar decisões. Em síntese, a mensagem da figura é clara: o risco institucional não é apenas “quantos itens temos”, mas “que itens dual-use temos em classes GHS severas e onde estão”; responder a isso requer custódia, compatibilidade no armazenamento, FDS vigentes e treinamento comprovado — pilares que alinham o campus a ABNT NBR 14725:2023/NR-26, Portaria MJSP nº 204/2022 (PF) e Decreto 10.030/2019 + COLOG 118 (Brasil, 2019b), ao mesmo tempo em que fortalecem a cultura de segurança e a conformidade operacional.

Segundo os formulários, os reagentes estão organizados por ordem alfabética, e não por classe de compatibilidade/GHS. De acordo com a American Chemical Society (ACS), armazenar apenas por ordem alfabética não é recomendado, pois pode aproximar substâncias incompatíveis e aumentar o risco de reações perigosas; a orientação é primeiro segregar por famílias compatíveis (inflamáveis, oxidantes, ácidos minerais, ácidos orgânicos, bases fortes, tóxicos etc.) e só depois ordenar alfabeticamente dentro de cada família (ACS, Safety in Academic Chemistry Laboratories). Em linha com essa diretriz, os manuais de EHS de universidades de referência — como UC Berkeley e UW–Madison — reiteram que o arranjo alfabético puro só deve ocorrer após a segregação por compatibilidade (EHS/UC Berkeley; EHS/UW–Madison). No Brasil, conforme a NR-26, a comunicação de perigos deve

estar padronizada por cores/sinalização e rótulos, e, conforme a ABNT NBR 14725:2023 (GHS-7), as FDS e a rotulagem devem estar atualizadas — com vigência obrigatória da versão 2023; ainda que essas normas não prescrevam a disposição física nas prateleiras, elas exigem que a informação de perigo esteja clara, o que pressupõe um armazenamento coerente com a compatibilidade química (NR-26; ABNT NBR 14725:2023). Em termos de prevenção de incêndios, conforme a NFPA 45, líquidos inflamáveis devem ser mantidos em armários homologados e segregados de oxidantes e fontes de ignição, reforçando que a lógica de compatibilidade e perigo deve prevalecer sobre a conveniência alfabética (NFPA 45). Sob a ótica de biossegurança, de acordo com o WHO Laboratory Biosafety Manual (4^a ed.) e as Prudent Practices in the Laboratory (National Academies), a organização do ambiente é um controle administrativo que reduz erro humano e acelera a resposta a emergências. Por fim, conforme a Portaria MJSP nº 204/2022 (PF) e o Decreto nº 10.030/2019 + Portaria COLOG nº 118 (Brasil, 2019b), itens sob controle legal e de uso dual demandam cadeia de custódia — medidas que se tornam mais eficazes quando o armazenamento segue compatibilidade/GHS e não apenas a ordem alfabética.

Além do arranjo alfabético apontado nos formulários, os registros indicam que alguns laboratórios apresentam ausência de FDS para determinados reagentes, ou a disponibilidade parcial/desatualizada desses documentos. Essa situação configura não conformidade frente à ABNT NBR 14725:2023, que torna obrigatória a disponibilização de FDS atualizadas, coerentes com o rótulo GHS e em língua portuguesa, bem como à NR-26, que exige a comunicação de perigos de forma clara e acessível aos trabalhadores (ABNT, 2023; Brasil, 2022). A versão 2023 da NBR 14725 consolidou a terminologia, substituindo a antiga FISPQ por FDS, e fixou a obrigatoriedade de adoção até 04/07/2025, conforme cronograma de transição estabelecido pela própria norma e alinhado à internalização do GHS no Brasil (ABNT, 2023; UNECE, 2023). Sem FDS, não há base formal para avaliação de risco, definição de EPI, compatibilidades, primeiros socorros, medidas de combate a incêndio e procedimentos de emergência, o que eleva o risco residual e fragiliza auditorias regulatórias (PF/EB/PC) e inspeções de segurança, contrariando princípios de comunicação de perigos e gestão de risco previstos na ISO 31000:2018 e no *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed. (ISO, 2018a; WHO, 2020), além de comprometer

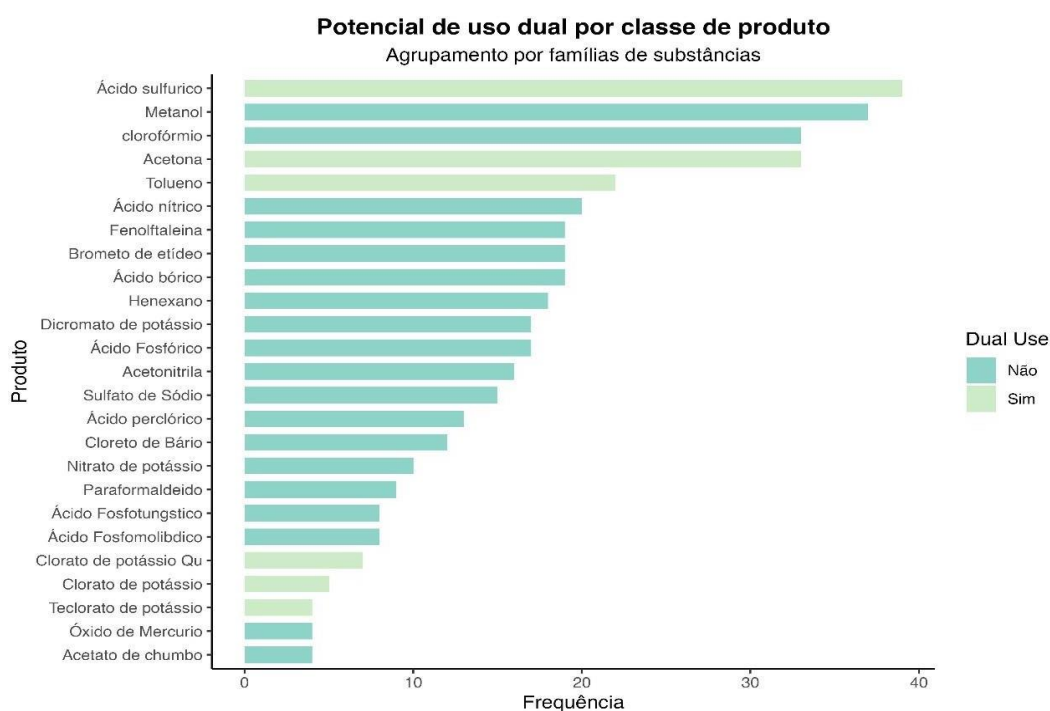
a rastreabilidade exigida por normativas nacionais de controle de produtos químicos (Brasil, 2019, 2022b).

Plano de correção recomendado: (i) realizar **inventário de lacunas** de FDS por laboratório/estante/frasco; (ii) **exigir dos fornecedores** a versão mais recente (NBR 14725:2023) e **recusar** entregas sem FDS; (iii) implementar **porta única de recebimento** com checagem documental (FDS + rótulo) antes da entrada em estoque; (iv) disponibilizar as FDS **no ponto de uso** (impresso e/ou via **QR-code** nas prateleiras/armários), com controle de revisão; (v) estabelecer regra de que **não se manipula** reagente **sem FDS válida**, com **auditorias mensais** nas unidades de maior risco; e (vi) integrar o repositório de FDS ao **inventário por frasco** e aos processos de **SIPROQUIM 2** quando aplicável.

A Figura 4 apresenta a frequência dos produtos químicos mais citados nos laboratórios da UFV, classificados segundo seu potencial de uso dual, isto é, uso legítimo em atividades de ensino e pesquisa, mas também suscetíveis a desvios para fins ilícitos. Observa-se destaque para o ácido sulfúrico, citado em quase 40 registros, seguido de metanol, clorofórmio, acetona e tolueno, todos com frequência superior a vinte ocorrências. Esses cinco insumos representam o núcleo mais crítico, pois são de uso cotidiano em laboratórios universitários, mas constam em listas de controle da CAQ (1993/1997) e da Portaria MJSP nº 240/2019, que regulam substâncias precursoras de drogas ilícitas e agentes tóxicos.

Na categoria “dual use – sim” aparecem substâncias de alto risco regulatório, como ácido nítrico, acetonitrila, ácido perclórico, nitrato de potássio e cloratos, todos vinculados a usos bélicos ou explosivos. Produtos como dicromato de potássio, brometo de etídeo e formaldeído — ainda que não listados diretamente na CAQ — apresentam toxicidade elevada e potencial de desvio para síntese de agentes químicos ou contaminações intencionais, exigindo atenção institucional.

Figura 4 – Frequência dos principais produtos químicos utilizados nos laboratórios, destacando substâncias recorrentes com relevância regulatória e elevado potencial de uso dual



A análise crítica desses dados permite observar que o Brasil regula parcialmente tais compostos em esferas distintas (MJSP, ANVISA, EB), mas não possui uma norma unificada para laboratórios acadêmicos, deixando brechas para aquisição e armazenamento sem controle integrado (Brasil, 2019, 2022a; ANVISA, 2018; OECD, 2022). Na prática institucional, a frequência elevada de substâncias críticas como ácido sulfúrico e tolueno sugere que laboratórios didáticos e de pesquisa operam com estoques expressivos de insumos de interesse para segurança nacional, especialmente quando considerados como precursores químicos ou substâncias com potencial de desvio (OPCW, 2015; WHO, 2020). A ausência de rastreabilidade integrada, devido à multiplicidade de canais de compra (SIF, FACEV, FUNARBE), amplia a vulnerabilidade para desvios, configurando uma fragilidade institucional, em desacordo com princípios de governança baseada em risco e controle proporcional recomendados por organismos internacionais (ISO, 2018; OECD, 2022). Entretanto, a própria identificação e categorização desses produtos já representa um avanço metodológico, pois permite priorizar substâncias críticas para implantação de sistemas de custódia, alinhados à abordagem de rastreabilidade e responsabilidade institucional descrita no *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed. (WHO, 2020).

Além disso, os resultados evidenciam que grande parte dos insumos de uso dual está concentrada em poucos compostos, o que facilita a criação de listas institucionais de monitoramento restrito, prática compatível com recomendações internacionais de controle responsável de insumos químicos sensíveis (OPCW, 2015; OECD, 2022).

Quando comparados a outros países, os achados da UFV evidenciam um descompasso normativo. Nos Estados Unidos, a Drug Enforcement Administration (DEA) classifica solventes e precursores como acetona e tolueno como List II chemicals e exige manutenção de registros e, acima de certos limiares, reportes de transações; por sua vez, o CDC/APHIS, por meio do Federal Select Agent Program (FSAP), exige inventários detalhados para select agents e toxinas (categoria distinta de solventes), o que leva universidades a adotar controles internos de compras, rastreabilidade e inventário (DEA, 2022; Centers for Disease Control and Prevention, 2022; University of Pennsylvania, 2024; United States, 2025a, 2025b). Na União Europeia, regulamentos como o Regulamento (CE) nº 273/2004 estabelecem monitoramento estrito de precursores de drogas, incluindo metanol e acetona. Em contraste, no Brasil, a fiscalização recai quase exclusivamente sobre grandes volumes, ignorando estoques laboratoriais dispersos, como os evidenciados nesta pesquisa. Assim, o gráfico revela que a UFV lida cotidianamente com insumos de alto interesse para a segurança nacional e internacional. O uso disseminado desses produtos, aliado à ausência de legislação integrada e à fragilidade de controle interno, caracteriza um ponto crítico de vulnerabilidade institucional. Transformar essa fragilidade em ponto forte exigirá a adoção de medidas como a criação de um cadastro único de substâncias controladas em nível institucional, o monitoramento periódico de estoques e a capacitação em DURC e custódia para coordenadores e técnicos de laboratório.

Entre os insumos identificados com maior frequência nos laboratórios da UFV destacam-se ácido sulfúrico, ácido nítrico, tolueno, acetona, metanol, clorofórmio e formaldeído, todos classificados internacionalmente como de uso crítico em virtude de seus riscos ocupacionais e do potencial de desvio para fins ilícitos.

O ácido sulfúrico e o ácido nítrico são dois exemplos paradigmáticos de produtos de uso dual. No campo científico, desempenham funções essenciais como reagentes analíticos e catalisadores de síntese. No entanto, apresentam alto poder

corrosivo, podendo causar queimaduras graves na pele, olhos e trato respiratório, além de contribuírem para a formação de névoas ácidas que elevam riscos de intoxicação ocupacional (Brasil, 2020; American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2021). Do ponto de vista ambiental, o descarte inadequado pode levar à acidificação de corpos d'água e à contaminação do solo. Já no plano de segurança, ambos são regulados pela Portaria MJSP nº 240/2019, pois podem ser empregados na síntese de explosivos (como nitrato de glicerina ou TNT) e no refino de entorpecentes. A Convenção sobre Armas Químicas (1993/1997) reconhece esses ácidos como insumos estratégicos que demandam monitoramento.

O tolueno e a acetona são solventes orgânicos amplamente utilizados em práticas laboratoriais. Os riscos ocupacionais incluem neurotoxicidade, irritação das vias respiratórias e potenciais efeitos crônicos como hepatotoxicidade e nefrotoxicidade (OSHA, 2012; ACGIH, 2021). São substâncias altamente voláteis, e sua manipulação sem cabine de exaustão representa ameaça imediata à saúde de estudantes e técnicos. Ambientalmente, contribuem para a poluição atmosférica e para a contaminação de lençóis freáticos quando descartados de forma inadequada. Sob a ótica do uso dual, estão listados como precursores de drogas ilícitas, especialmente na síntese de cocaína e metanfetaminas, razão pela qual sua aquisição é rigidamente controlada em países da União Europeia e nos EUA (European Union, 2004; DEA, 2019).

O metanol e o clorofórmio ilustram riscos adicionais. O metanol, mesmo em pequenas doses, pode causar intoxicação grave, resultando em cegueira irreversível e morte (WHO, 2020). É também solvente e combustível, sendo empregado em sínteses ilícitas como precursor de formaldeído e outras substâncias químicas. O clorofórmio, por sua vez, é classificado como agente possivelmente carcinogênico pela International Agency for Research on Cancer — IARC (Grupo 2B), além de provocar depressão do sistema nervoso central. Ambos figuram em listas internacionais de controle devido ao potencial de uso em sínteses clandestinas.

O formaldeído ocupa posição de destaque entre os produtos de maior risco. Muito utilizado em laboratórios de biologia e histologia, apresenta comprovada carcinogenicidade (IARC Grupo 1), além de causar irritação intensa das vias aéreas e sensibilização cutânea. Seu risco dual se relaciona à possibilidade de ser utilizado

em sínteses químicas de interesse bélico, além de constituir fonte de poluição atmosférica significativa quando manipulado sem contenção.

Evidencia a presença de insumos críticos nos laboratórios analisados, entre os quais o metanol se destaca como exemplo emblemático de substância de uso dual. Em ambiente acadêmico, o metanol cumpre funções legítimas, como solvente em sínteses químicas e meio de extração. Contudo, apresenta elevada toxicidade: sua ingestão, mesmo em pequenas doses, pode causar cegueira irreversível e até a morte, em razão da metabolização em formaldeído e ácido fórmico, compostos altamente tóxicos ao sistema nervoso central, ao fígado e à retina (IARC, 2012; WHO, 2020).

Esse risco não é meramente hipotético. Em setembro de 2025, o estado de São Paulo confirmou cinco mortes por intoxicação por metanol, após sete casos comprovados de envenenamento e outros 15 suspeitos em investigação. Parte das vítimas consumiu bebidas alcoólicas adulteradas, nas quais foi detectada a presença de metanol. Durante as operações, autoridades apreenderam 112 garrafas suspeitas de vodca falsificada na capital, sendo 17 delas no bairro da Mooca (Bocchini, 2025). Os sintomas relatados variaram de dores abdominais, tontura e vômitos nas primeiras horas até cegueira, convulsões e coma, configurando uma emergência médica de extrema gravidade.

Esse episódio amplia a discussão sobre uso dual no contexto acadêmico: insumos presentes em inventários universitários, como o metanol, não representam apenas riscos ocupacionais e ambientais, mas também ameaças concretas de desvio para práticas ilícitas com consequências fatais. A adulteração de bebidas constitui um exemplo extremo de transição do uso científico ao uso criminoso, tornando evidente que a linha entre legitimidade e risco social é tênue (*National Science Advisory Board for Biosecurity*, 2007; Atlas; Reppy, 2020; Bocchini, 2025).

Além disso, o caso paulista revela uma lacuna regulatória: enquanto o Estado exerce rígida fiscalização sobre bebidas comercializadas, não existem mecanismos equivalentes para prevenir o desvio de reagentes laboratoriais em universidades. Isso reforça a necessidade de inventários digitais auditáveis, custódia rigorosa, rastreabilidade em tempo real e protocolos de reporte obrigatório, em alinhamento com as recomendações internacionais sobre segurança química (Gao, 2013; Zhang; Li; Wu, 2019).

Em síntese, a Figura 4 demonstra que o metanol, embora útil em atividades acadêmicas, é um insumo de alto risco. O caso recente de intoxicações fatais em São Paulo reforça que a presença desse composto nos laboratórios não deve ser tratada como detalhe técnico, mas como questão de segurança pública, exigindo integração entre políticas institucionais, legislações nacionais e compromissos internacionais de biossegurança e controle químico (Agência Brasil, 2025; WHO, 2020).

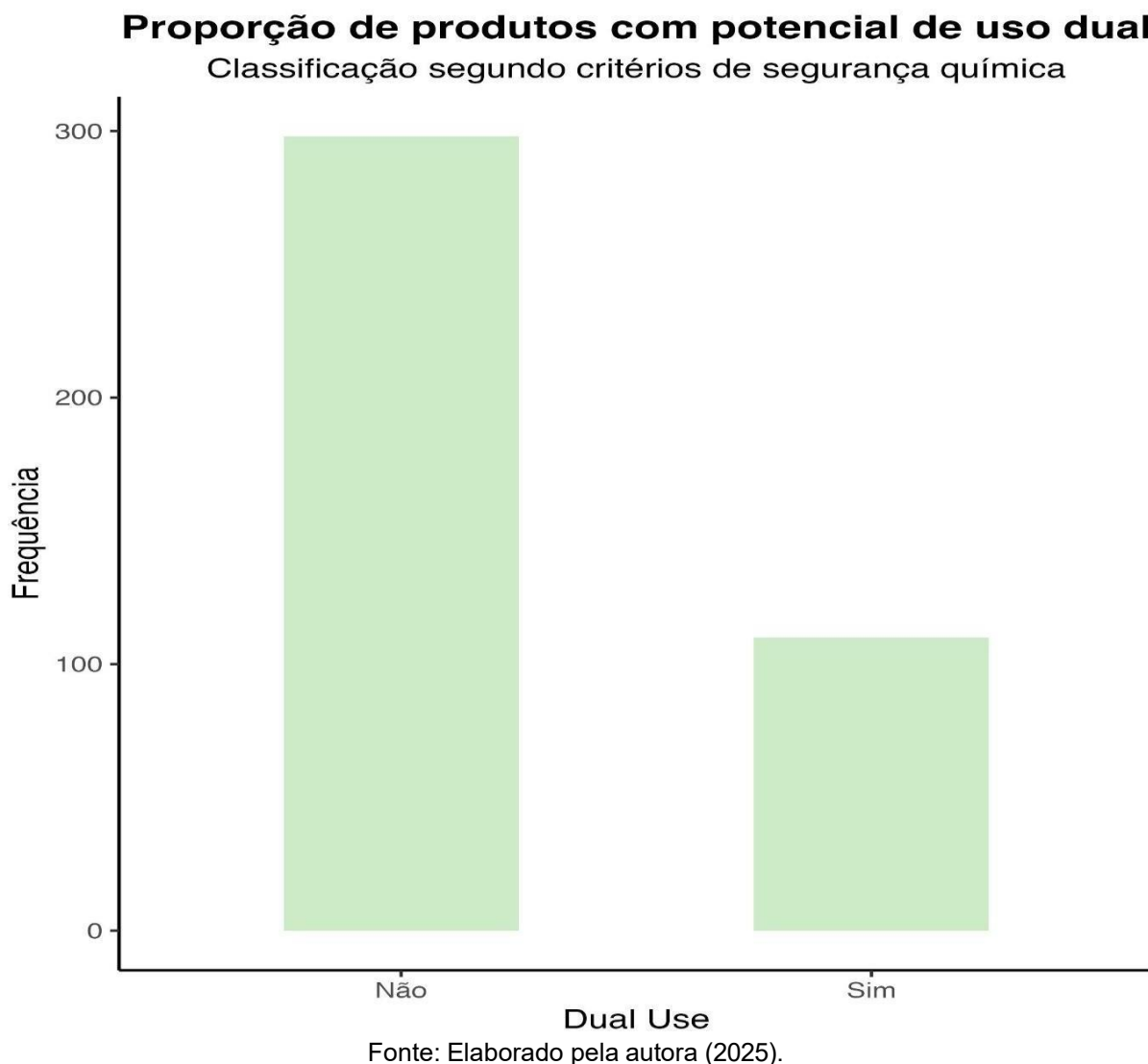
Esse panorama demonstra que, embora sejam fundamentais para atividades científicas, tais substâncias impõem riscos múltiplos: à saúde ocupacional, ao meio ambiente e à segurança nacional (WHO, 2020; UNEP, 2012; OECD, 2022). Em termos de fragilidade institucional, a UFV — assim como outras IFES — carece de sistemas integrados de monitoramento que conciliem aquisição, rastreabilidade e descarte, fenômeno descrito na literatura como lacuna recorrente em ambientes acadêmicos descentralizados (ISO, 2018; WHO, 2020). Como ponto forte, a identificação dos compostos críticos nesta pesquisa permite que a universidade priorize esforços de governança em torno de um conjunto relativamente restrito de produtos, facilitando a implementação de inventários digitais, auditorias internas e programas de capacitação específicos para técnicos de laboratório e coordenadores, em consonância com recomendações internacionais de gestão baseada em risco e melhoria contínua (ISO, 2018; National Academies, 2011).

A Figura 5 mostra que aproximadamente 25% dos insumos analisados possuem risco dual, exigindo atenção especial em termos de rastreabilidade e custódia, conforme diretrizes de controle proporcional ao risco e responsabilização institucional descritas no *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed., e nas orientações de governança para insumos sensíveis publicadas pela OECD (WHO, 2020; OECD, 2022).

A Figura 5 evidencia a distribuição proporcional entre os produtos químicos classificados com e sem potencial de uso dual nos laboratórios analisados. Observa-se que a maior parte dos insumos (aproximadamente três quartos do total) foi enquadrada como de uso exclusivamente acadêmico (“Não”), enquanto pouco mais de um quarto foi identificado como substâncias de uso dual (“Sim”). Esse dado quantitativo é relevante, pois indica que, embora a maioria dos produtos não represente ameaça direta de desvio, existe uma proporção significativa de insumos críticos que exige atenção especial em termos de governança, rastreabilidade e

custódia, conforme recomendações internacionais de controle proporcional ao risco, responsabilização institucional e prevenção de uso indevido de materiais sensíveis (WHO, 2020; OECD, 2022; OPCW, 2015).

Figura 5 – Proporção de produtos químicos com e sem potencial de uso dual no inventário laboratorial, evidenciando presença significativa de substâncias críticas no contexto acadêmico



Esse resultado reforça que o risco dual não deve ser interpretado como um fenômeno marginal, mas como um componente estrutural da rotina laboratorial em universidades. Mesmo em instituições com perfil predominantemente educacional, como a UFV, insumos de uso dual se fazem presentes em escala considerável, o que alinha o cenário nacional às preocupações levantadas pela literatura internacional (NSABB, 2007; Zhang; Li; Wu, 2019). A diferença fundamental está na capacidade de

mitigação: enquanto países da União Europeia e os Estados Unidos adotam protocolos de reporte compulsório e auditorias regulares (OSHA, 2012; Stilgoe; Owen; MacNaghten, 2013), no Brasil não há mecanismos específicos para monitorar substâncias dual use em universidades, revelando uma lacuna regulatória.

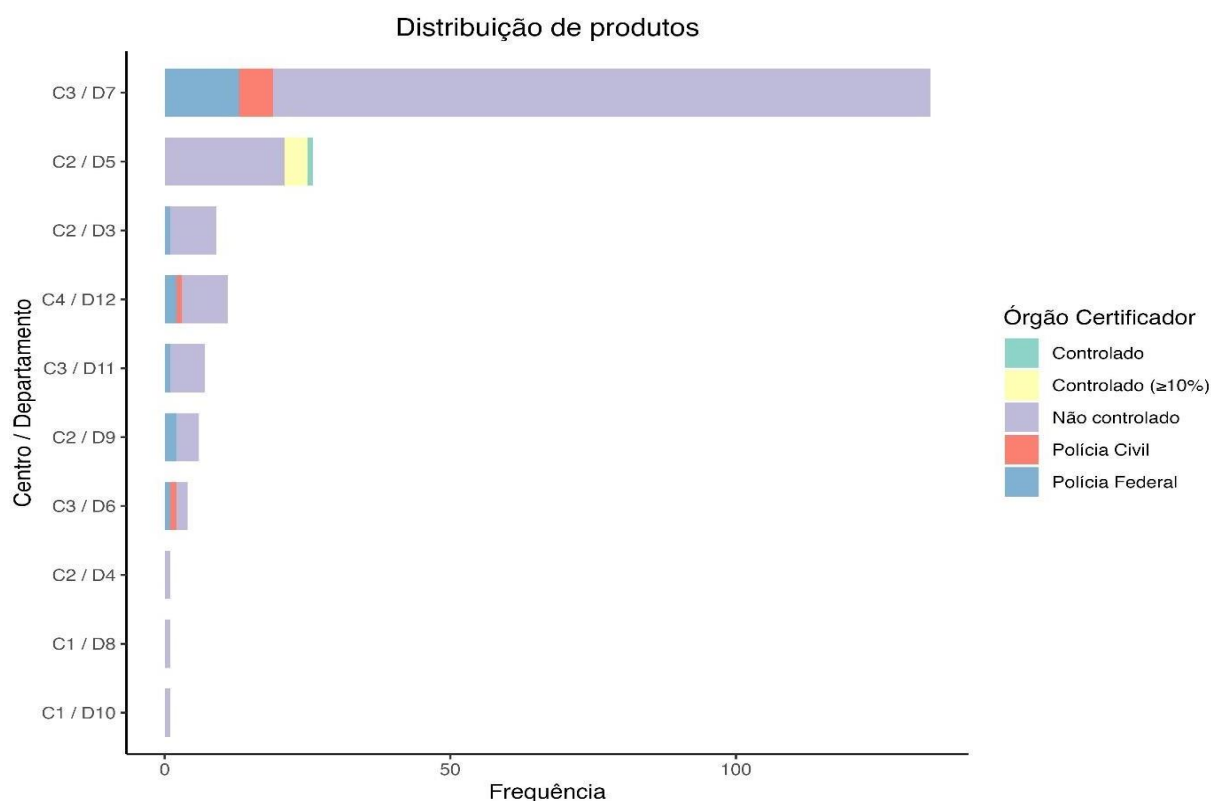
A ausência de controles efetivos agrava a vulnerabilidade institucional. O risco não está apenas na quantidade de insumos identificados, mas no fato de que não existem instrumentos nacionais unificados para rastrear aquisição, consumo e descarte. Essa fragilidade amplia a probabilidade de desvios, o que já se refletiu em episódios de repercussão social, como os casos de intoxicação por metanol em São Paulo em 2025 (Bocchini, 2025) e em surtos anteriores ocorridos na Índia (Kumar *et al.*, 2019). Ambos os exemplos evidenciam que substâncias comuns no ambiente científico podem, quando desviadas, ultrapassar os muros da universidade e se tornar ameaça à saúde pública.

Apesar disso, um ponto positivo é que a maior parte dos produtos identificados na UFV não possui potencial de uso dual. Isso reduz a exposição global da instituição e sugere que a vulnerabilidade está concentrada em uma parcela específica do inventário. Assim, políticas direcionadas a esse subconjunto de substâncias (como inventários digitais auditáveis, protocolos de biocustódia e capacitação continuada de usuários) podem ser mais eficazes do que estratégias genéricas de biossegurança (WHO, 2020; UNEP, 2012).

Portanto, a Figura 5 não apenas quantifica o problema, mas sinaliza uma necessidade de mudança qualitativa na governança: mais importante do que lidar com a grande massa de insumos “não dual use”, é criar instrumentos específicos para a fração identificada como “Sim”, cujos riscos extrapolam o ambiente acadêmico e se projetam como questão de segurança pública.

A Figura 6 mostra a frequência de produtos classificados como não controlados, controlados ($\geq 10\%$), sujeitos a certificação da PC e da PF. Nota-se elevada concentração no C3/D7, com destaque para substâncias controladas por órgãos federais e estaduais, conforme o arcabouço regulatório estabelecido pelo Decreto nº 10.030/2019 e pela Portaria MJSP nº 204/2022, que disciplinam o controle administrativo de produtos químicos sujeitos à fiscalização (Brasil, 2019, 2022).

Figura 6 – Distribuição de produtos químicos por centro/departamento segundo categoria regulatória, com concentração de substâncias controladas em unidades específicas e assimetria no perfil de risco institucional



A Figura 6 apresenta a distribuição dos produtos químicos nos laboratórios do campus Viçosa, discriminados por centro/departamento e por categoria regulatória, incluindo substâncias não controladas e aquelas sujeitas a fiscalização de diferentes órgãos certificadores (PF, PC e agências regulatórias). Observa-se uma concentração significativa de produtos em alguns departamentos, especialmente C3/D7, que apresenta frequência muito superior às demais unidades. Esse resultado indica assimetria no perfil de risco químico, com determinados setores acumulando um volume de insumos que os torna particularmente vulneráveis a falhas de gestão ou desvios, em consonância com a literatura sobre governança baseada em risco e priorização proporcional de controles institucionais (ISO, 2018; WHO, 2020; OECD, 2022).

Outro ponto crítico revelado pela Figura 6 é a presença de produtos sujeitos a múltiplos regimes regulatórios. Enquanto a maioria dos insumos está na categoria “não controlado”, há proporções não desprezíveis de substâncias reguladas pela PF (ex.: solventes precursores como acetona e tolueno, listados na Portaria MJSP nº

240/2019) e pela PC (ex.: reagentes inflamáveis e explosivos sob legislação estadual). Ainda, aparecem insumos classificados como “controlados $\geq 10\%$ ”, indicando concentrações específicas que acionam o enquadramento legal, como no caso de ácidos fortes e sais oxidantes.

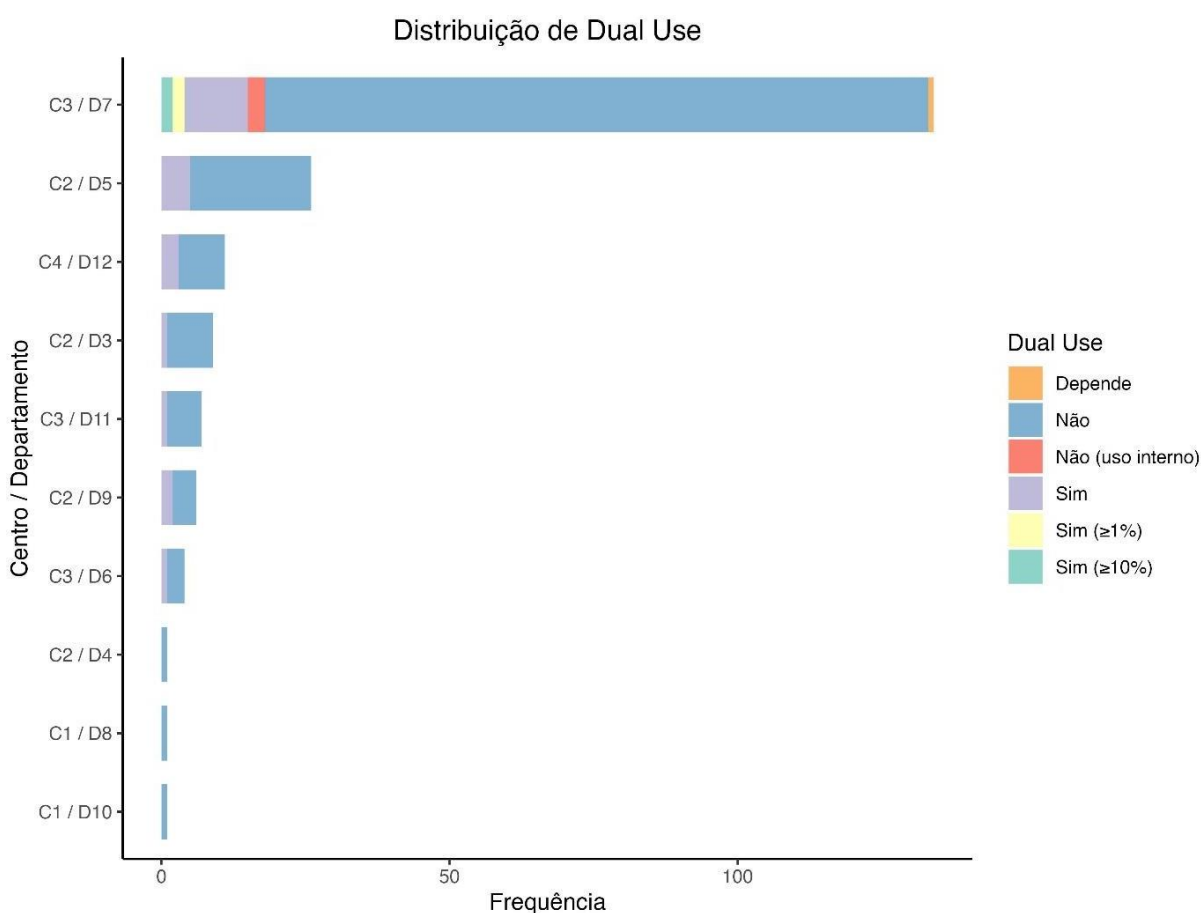
Esse panorama reforça as lacunas da governança institucional: os laboratórios concentram substâncias com diferentes exigências legais, mas não há integração plena entre os sistemas de controle (SEI, Siorg, ComprasNet, FUNARBE), dificultando rastreabilidade e custódia. Essa fragmentação contrasta com países como os Estados Unidos, onde a OSHA e o DEA centralizam protocolos de reporte e monitoramento (OSHA, 2012), e com a União Europeia, que utiliza diretrizes unificadas de segurança química (European Commission, 2022).

Apesar das fragilidades, há também pontos fortes a destacar. O simples mapeamento dos produtos segundo categorias de controle já constitui avanço relevante, pois fornece uma linha de base para a implementação de inventários digitais auditáveis, em consonância com recomendações internacionais que destacam a rastreabilidade e a documentação sistemática como pilares da governança de risco em laboratórios (ISO, 2018; WHO, 2020). Além disso, a distribuição mais equilibrada em departamentos menores sugere que a maior parte da instituição não acumula cargas significativas de insumos controlados, o que pode facilitar políticas de descentralização do risco, alinhadas ao princípio de proporcionalidade e priorização de controles conforme criticidade operacional (ISO, 2018; OECD, 2022). No entanto, a concentração observada em unidades como o C3/D7 demanda medidas específicas, incluindo: (i) auditorias periódicas de inventário, (ii) protocolos de compatibilidade e segregação, (iii) treinamento direcionado aos usuários e (iv) integração com sistemas de controle externo, como o Siproquim 2. Tais ações poderiam alinhar a universidade a boas práticas internacionais e reduzir vulnerabilidades de biossegurança e bioproteção (WHO, 2020; UNEP, 2012).

A Figura 7 apresenta a frequência de produtos químicos distribuídos entre diferentes departamentos da UFV, classificados como não controlados, controlados ($\geq 10\%$) e sob certificação da PC e da PF. Observa-se maior concentração de insumos no C3/D7, seguido pelo C2/D5, evidenciando assimetria na distribuição de riscos químicos, fenômeno compatível com modelos de priorização baseados em risco e

concentração de criticidade operacional descritos na ISO 31000:2018 e no *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed. (ISO, 2018a; WHO, 2020).

Figura 7 – Distribuição desigual de produtos químicos entre departamentos, com coexistência de substâncias controladas e não controladas e maior complexidade de governança em unidades com maior acervo



A Figura 7 apresenta a distribuição de produtos químicos entre diferentes centros e departamentos da UFV, classificados por categoria regulatória e órgão certificador. O resultado revela uma concentração acentuada de insumos no C3/D7, que reúne a maior parte dos produtos não controlados, mas também uma parcela relevante de substâncias sujeitas à fiscalização da PF e da PC. Esse achado aponta para assimetria na gestão de riscos químicos, em que poucas unidades concentram os insumos mais sensíveis, aumentando as vulnerabilidades institucionais, conforme discutido na literatura sobre governança proporcional ao risco e controle de insumos sensíveis (OECD, 2022; WHO, 2020; Brasil, 2019, 2022).

O C2/D5 constitui o segundo núcleo de maior acúmulo, incluindo produtos classificados como controlados ($\geq 10\%$), como ácidos fortes e sais oxidantes. Os demais departamentos exibem menor volume de insumos, mas ainda assim com registros de substâncias sob controle normativo, reforçando que o risco não se limita às unidades com maior inventário, mas decorre da combinação entre volume, criticidade e capacidade de gestão institucional, conforme princípios de avaliação integrada de risco (ISO, 2018; UNEP, 2012).

Esse cenário revela dois desafios estruturais: (i) a ausência de um sistema unificado de rastreabilidade, que dificulta o acompanhamento de produtos controlados sob múltiplas esferas regulatórias, e (ii) a falta de padronização institucional em relação à custódia, o que contrasta com modelos internacionais que já implementam auditorias integradas e inventários digitais obrigatórios (WHO, 2020; UNEP, 2022).

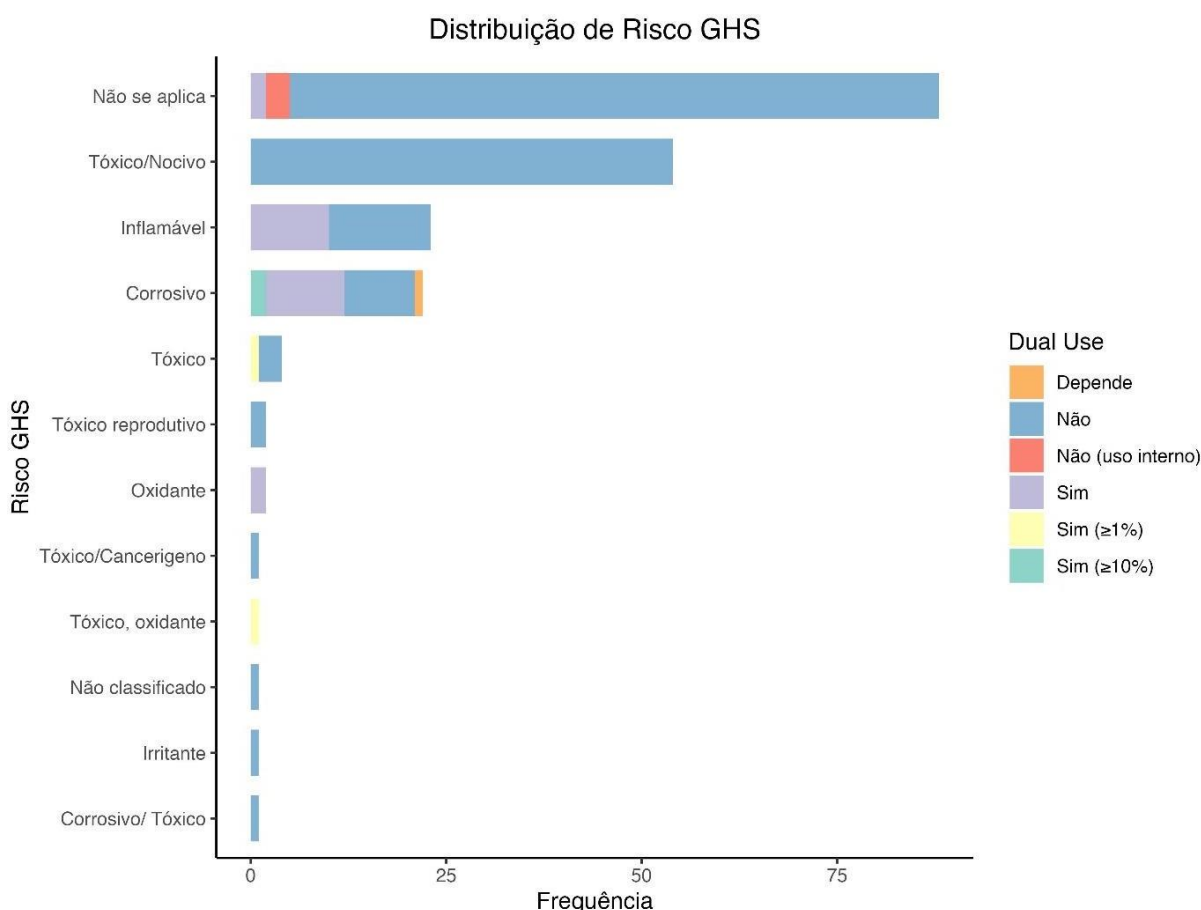
Apesar das fragilidades, há também pontos fortes: a maior parte dos insumos é de natureza não controlada, o que reduz a exposição global da universidade a riscos de segurança pública. Além disso, o mapeamento realizado já representa um avanço, fornecendo subsídios objetivos para políticas institucionais de priorização — especialmente nos setores de maior concentração.

Para enfrentar os riscos, recomenda-se: (i) digitalização e auditoria periódica dos inventários, (ii) integração com sistemas externos como o Siproquim 2 da PF, (iii) treinamentos específicos para usuários que lidam com insumos sensíveis, e (iv) protocolos diferenciados para setores de maior acúmulo, como o C3/D7. Essas medidas, alinhadas às boas práticas internacionais, poderiam reduzir significativamente as vulnerabilidades locais (WHO, 2020; UNEP, 2022; Bocchini, 2025).

A Figura 8 mostra que as categorias “Não se aplica” ($\approx 40\%$) e “Tóxico/Nocivo” ($\approx 30\%$) são predominantes, seguidas por Inflamáveis ($\approx 15\%$) e Corrosivos ($\approx 10\%$). Observa-se que Inflamáveis, Corrosivos e Oxidantes são as classes com maior potencial de uso dual, representando riscos tanto ocupacionais quanto de segurança pública, conforme critérios de classificação do Sistema Globalmente Harmonizado (GHS) e sua internalização na ABNT NBR 14725:2023 (ABNT, 2023; UNECE, 2023). O mapeamento é fundamental para subsidiar as IFES na gestão de resíduos químicos e no fortalecimento de políticas de biossegurança, em consonância com princípios de gerenciamento de risco e prevenção previstos na ISO 31000:2018, no

WHO Laboratory Biosafety Manual, 4th ed., e nas diretrizes internacionais para gestão ambientalmente adequada de substâncias químicas (ISO, 2018; WHO, 2020; UNEP, 2012).

Figura 8 – Distribuição percentual de produtos químicos segundo classes de perigo do GHS associadas ao uso dual, com predominância de substâncias não classificadas e presença relevante de inflamáveis, corrosivos e tóxicos



A Figura 8 apresenta a distribuição percentual de substâncias químicas segundo as categorias do Sistema Globalmente Harmonizado (GHS), associada ao seu potencial de uso dual. Os resultados revelam um panorama que combina lacunas institucionais, riscos ocupacionais e ameaças de segurança pública, exigindo uma leitura crítica que transcende a simples classificação técnica, à luz dos critérios de classificação, rotulagem e comunicação de perigos estabelecidos na ABNT NBR 14725:2023 e na NR-26 (ABNT, 2023; Brasil, 2022).

Em primeiro lugar, destaca-se a categoria “Não se aplica”, que corresponde a cerca de 40% do total. Esse dado sugere que uma parte expressiva dos insumos não

possui classificação GHS formal ou não dispõe de Fichas de Dados de Segurança (FDS) atualizadas. Tal ausência configura um vazio documental que compromete tanto a biossegurança quanto a governança de risco, pois impede a correta comunicação dos perigos e dificulta a rastreabilidade institucional (ABNT, 2014). Essa fragilidade não é exclusiva da UFV: estudos internacionais apontam que universidades frequentemente carecem de padronização na gestão de inventários químicos, resultando em informações incompletas e inconsistentes (Perkins *et al.*, 2021; UNEP, 2022).

Entre as categorias efetivamente classificadas, o grupo Tóxico/Nocivo concentra cerca de 30% das substâncias, constituindo a maior parcela de produtos com risco real de impacto à saúde humana. A literatura demonstra que substâncias deste grupo estão associadas a efeitos agudos (intoxicações, irritações respiratórias) e crônicos (hepatotoxicidade, nefrotoxicidade, distúrbios neurológicos), reforçando a necessidade de monitoramento constante (WHO, 2020; ACGIH, 2021). Ainda que o potencial de uso dual seja considerado moderado nesse grupo, a ausência de inventários digitais e protocolos de custódia eleva a probabilidade de desvios, especialmente em contextos de fiscalização limitada (Atlas; Reppy, 2020).

As categorias Inflamáveis ($\approx 15\%$) e Corrosivos ($\approx 10\%$) aparecem em sequência, representando riscos ocupacionais imediatos e, simultaneamente, **alto** potencial de uso dual. Os inflamáveis, em particular, podem ser empregados em sínteses ilícitas, adulteração de combustíveis e até na fabricação de artefatos explosivos improvisados, como documentado em análises da Organização para a Proibição de Armas Químicas (OPCW, 2021). Já os corrosivos apresentam risco adicional: além das queimaduras químicas graves em trabalhadores e estudantes, podem ser utilizados em ataques direcionados ou manipulação clandestina de insumos de alto valor agregado. A presença significativa dessas categorias em laboratórios universitários brasileiros expõe uma vulnerabilidade estrutural, especialmente diante da inexistência de mecanismos nacionais robustos de controle de uso dual (Lima *et al.*, 2021).

Ainda que em menor frequência, as substâncias classificadas como Oxidantes, Cancerígenos e Tóxicos Reprodutivos ($<5\%$) são de risco crítico elevado. Os oxidantes, em particular, estão presentes nas listas de precursores químicos da CAQ (1997) e requerem fiscalização internacional (OPCW, 2021). Já os cancerígenos e

tóxicos reprodutivos possuem impactos irreversíveis à saúde humana, impondo custos elevados de controle e descarte, além de comprometerem a sustentabilidade ambiental e financeira das IFES (Machado; Fonseca, 2022).

A análise integrada da Figura 8 mostra que mais de 55% das substâncias inventariadas se enquadram em categorias de alto impacto ocupacional e/ou de uso dual. Esse dado reforça a urgência de adotar sistemas de inventário digital centralizado, protocolos de custódia e auditorias regulares, alinhados ao Siproquim 2 (Brasil, 2022) e às recomendações internacionais de governança em laboratórios acadêmicos (OECD, 2022).

Do ponto de vista da gestão de resíduos, o panorama apresentado é igualmente crítico. Substâncias tóxicas, inflamáveis e corrosivas possuem tratamentos diferenciados e onerosos, implicando em maior custo para destinação final em empresas licenciadas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto nº 10.936/2022) exige planos de gerenciamento (PGRS) que contemplem essas classes de risco, mas a ausência de integração entre departamentos acadêmicos e diretoria ambiental fragiliza a implementação prática (Souza; Torres, 2022). Assim, a categorização apresentada no Gráfico 10, além de relevante para biossegurança, é também estratégica para o planejamento orçamentário e ambiental das universidades.

Pontos fortes identificados incluem a existência de mapeamento inicial, que já fornece subsídios para auditorias e treinamentos direcionados, e a predominância de substâncias não controladas diretamente por listas internacionais, o que reduz o risco imediato de desvio em larga escala.

Fragilidades críticas, por outro lado, concentram-se em:

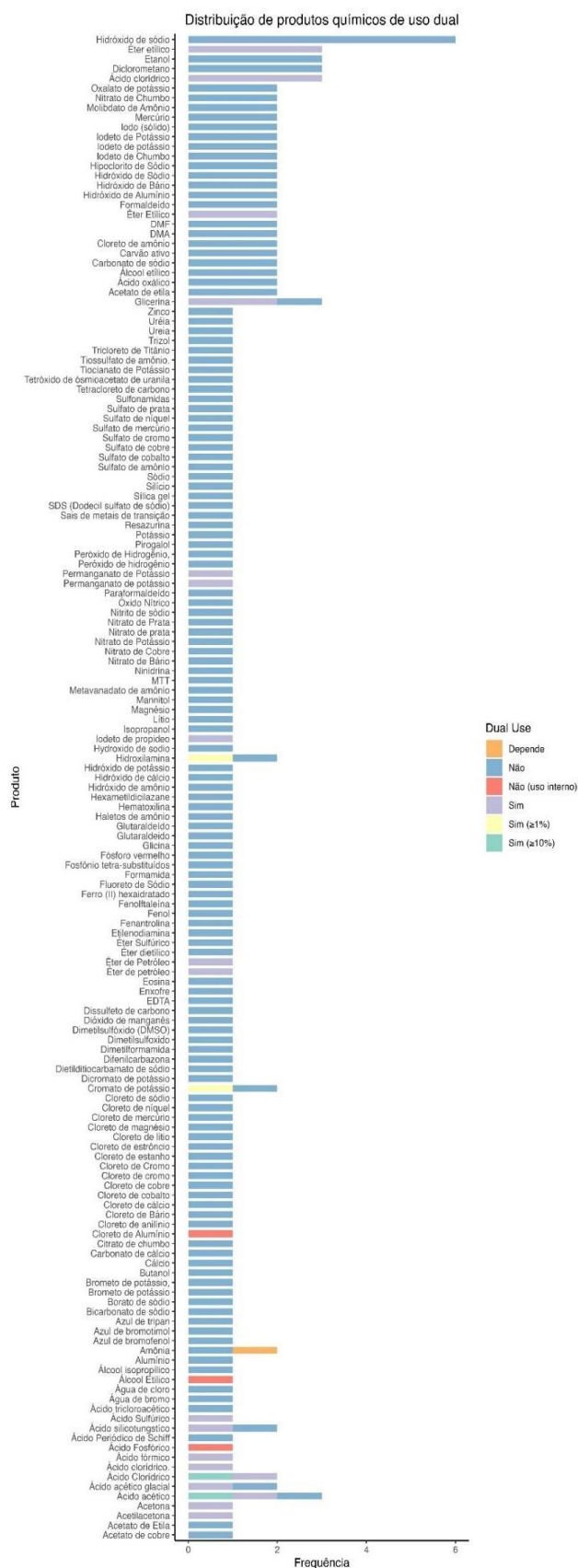
- Lacunas documentais (40% “não se aplica”);
- Risco ampliado em categorias de uso dual elevado (inflamáveis, corrosivos e oxidantes);
- Ausência de legislação nacional específica sobre DURC em laboratórios acadêmicos;
- Custos crescentes para destinação de resíduos perigosos, ainda sem fonte de financiamento consolidada nas IFES.

Em síntese, a Figura 8 transcende uma simples categorização: ela constitui um mapa de vulnerabilidades estratégicas das universidades brasileiras, apontando para

a necessidade de políticas públicas que integrem biossegurança, bioproteção e sustentabilidade. O uso dual deixa de ser apenas um conceito teórico e se materializa como risco institucional e social, cuja mitigação demanda integração entre convenções internacionais, legislação nacional e protocolos institucionais, em consonância com as diretrizes da Convenção sobre Armas Químicas e com as *The Hague Ethical Guidelines* (OPCW, 2015), bem como com recomendações de governança baseada em risco do *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed. (WHO, 2020) e da OECD (2022).

A Figura 9 mostra que aproximadamente 60% dos insumos inventariados apresentam algum grau de potencial de uso dual, com destaque para solventes orgânicos ($\approx 25\%$), ácidos minerais e oxidantes fortes ($\approx 20\%$) e sais de metais pesados ($\approx 15\%$). Esses produtos podem ser desviados para produção de drogas, adulteração de combustíveis e bebidas, fabricação de explosivos ou contaminações intencionais, conforme reconhecido por organismos internacionais de controle químico e prevenção de proliferação (OPCW, 2015; OECD, 2022). O modelo de descarte voluntário vigente na UFV favorece a formação de resíduos passivos — substâncias perigosas armazenadas sem destinação final, que comprometem a biossegurança, a sustentabilidade ambiental e financeira da instituição, em desacordo com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e seu regulamento (Decreto nº 10.936/2022), bem como com diretrizes internacionais para gestão ambientalmente adequada de produtos químicos (Brasil, 2010, 2022; UNEP, 2012). A ausência de legislação específica para resíduos de pesquisa, em contraste com a RDC nº 222/2018 aplicável apenas ao setor da saúde, reforça a urgência de protocolos institucionais de custódia e gestão integrada, alinhados a princípios de rastreabilidade e responsabilidade institucional (ANVISA, 2018; WHO, 2020).

Figura 9 – Distribuição de substâncias com potencial de uso dual por grupo químico, com destaque para solventes orgânicos, ácidos/oxidantes e metais pesados como categorias de maior risco



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A Figura 9 evidencia que cerca de 60% dos insumos inventariados nos laboratórios da UFV apresentam potencial de uso dual, distribuídos principalmente entre solventes orgânicos ($\approx 25\%$), ácidos minerais e oxidantes fortes ($\approx 20\%$) e sais de metais pesados ($\approx 15\%$). Essa constatação revela fragilidades significativas na governança química universitária e reforça a necessidade de políticas de biossegurança que integrem rastreabilidade, custódia e gestão de resíduos, em consonância com diretrizes internacionais de controle de materiais sensíveis e gestão baseada em risco descritas no *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed., nas recomendações da OECD sobre governança de insumos críticos e nos princípios da Convenção sobre Armas Químicas e das *The Hague Ethical Guidelines* (WHO, 2020; OECD, 2022; OPCW, 2015), bem como com os fundamentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e seu regulamento vigente (Decreto nº 10.936/2022).

Estudos recentes confirmam que a baixa rastreabilidade de insumos químicos é um problema recorrente nas universidades brasileiras. Souza *et al.* (2023) mostraram que, em instituições federais do Nordeste, a ausência de inventários centralizados dificultava a gestão de resíduos e ampliava a possibilidade de passivos ambientais. De forma semelhante, Silva e Andrade (2021) apontaram que em laboratórios de pesquisa de universidades estaduais paulistas, reagentes controlados como ácido nítrico e permanganato eram armazenados sem registros formais de uso, contrariando padrões internacionais de biocustódia.

No cenário internacional, universidades da União Europeia são obrigadas a cumprir diretrizes como a EU Directive 2000/54/EC, que trata da exposição a agentes biológicos, mas que também é aplicada em conjunto com regulamentações químicas (European Chemical Agency, 2021). Além disso, sistemas como o CLP Regulation (EC nº 1272/2008) garantem inventários digitalizados e rastreáveis, com auditorias obrigatórias. Já nos Estados Unidos, o Chemical Hygiene Plan (OSHA, 2012) e o sistema Select Agent Program (CDC, 2024) exigem inventários contínuos, relatórios periódicos e auditorias externas, estabelecendo responsabilidades pessoais e institucionais no controle de substâncias sensíveis.

Essas comparações revelam que, enquanto em países da OCDE a biocustódia é um requisito legal e auditável, no Brasil sua implementação ainda depende da autonomia e iniciativa das próprias universidades.

Os produtos com maior probabilidade de uso dual são:

- **Solventes orgânicos (25%)**: acetona, diclorometano, clorofórmio e éter etílico são altamente desviáveis. Estudos de Yang *et al.* (2022) demonstram que tais solventes aparecem com frequência em laboratórios clandestinos de drogas sintéticas.
- **Ácidos minerais e oxidantes (20%)**: como ácido nítrico e permanganato de potássio, identificados pela United Nations Office on Drugs and Crime (2022) como precursores prioritários de explosivos improvisados e drogas ilícitas.
- **Metais pesados (15%)**: Pereira *et al.* (2023) mostraram que resíduos de cromo e chumbo em universidades públicas brasileiras permaneciam estocados por mais de 10 anos, evidenciando risco de passivos ambientais.

O problema dos resíduos passivos — definidos como reagentes e resíduos armazenados indefinidamente sem destinação final — é amplamente reconhecido em universidades brasileiras (Machado; Fonseca, 2022). Pesquisas internacionais confirmam que esse fenômeno não é exclusivo do Brasil. Em universidades canadenses, Lambert *et al.* (2020) descreveram que resíduos acumulados de solventes halogenados se tornaram o principal custo de gestão ambiental, exigindo contratos milionários para destinação tardia.

Do ponto de vista da sustentabilidade:

- **Ambiental**: solventes halogenados e metais pesados apresentam persistência e bioacumulação (ECHA, 2021).
- **Financeira**: a destinação emergencial de passivos pode custar até **10 vezes mais** que o gerenciamento contínuo (Lambert *et al.*, 2020).
- **Institucional**: universidades ficam vulneráveis a acidentes e à perda de credibilidade pública (Yang *et al.*, 2022).

Enquanto a RDC nº 222/2018 (ANVISA) regula resíduos químicos no setor da saúde, não há legislação análoga para laboratórios de ensino e pesquisa, configurando um vazio regulatório. Em contraste, universidades europeias devem cumprir os regulamentos da ECHA e relatórios obrigatórios à União Europeia (ECHA, 2021).

Esse cenário reforça a urgência de políticas nacionais para resíduos acadêmicos, que articulem DAMs universitários, órgãos ambientais e ministérios reguladores, à semelhança do modelo europeu.

O Quadro 1 reforça que solventes orgânicos (25%) e ácidos/oxidantes (20%) são os grupos mais críticos tanto em termos de uso dual ilícito quanto de impacto ambiental:

- **Sustentabilidade ambiental:** sais de metais pesados e solventes halogenados são os que mais ameaçam ecossistemas.
- **Sustentabilidade financeira:** resíduos passivos desses grupos podem custar até 10 vezes mais para destinação (Machado; Fonseca, 2022).
- **Custódia:** os mesmos produtos estão ausentes de inventários centralizados, o que fragiliza a rastreabilidade.

Quadro 1 — Grupos de substâncias em relação aos termos de uso dual ilícito e de impacto ambiental

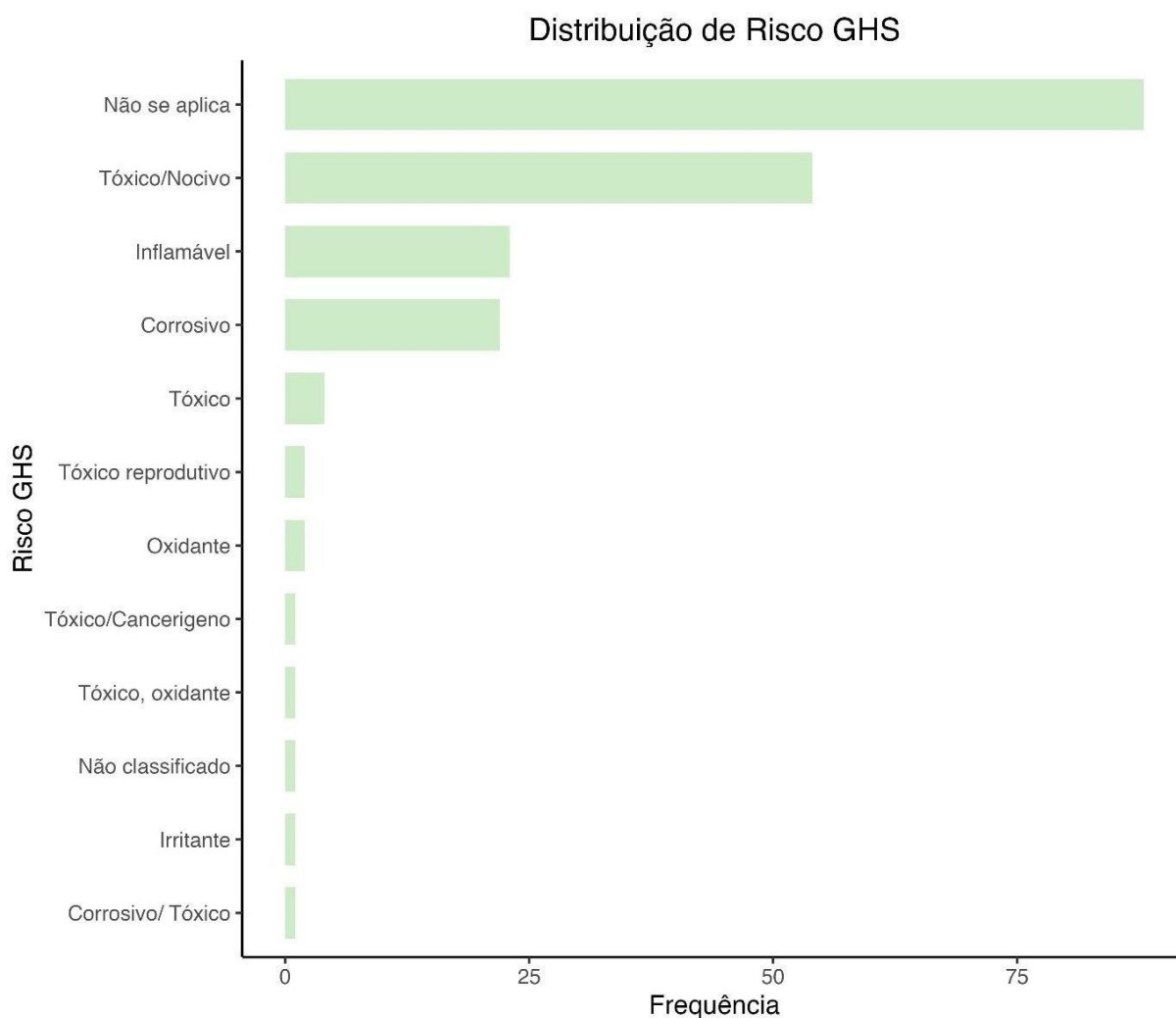
Grupo de substâncias	% aproximada	Exemplos	Potencial de uso dual ilícito	Impacto em resíduos (ambiental/financeiro)
Ácidos minerais e oxidantes fortes	20	Ácido sulfúrico, ácido nítrico, permanganato, dicromato, nitrato de potássio	Produção de explosivos improvisados, refino de drogas, ataques corrosivos	Altamente reativos; risco de explosões e corrosão de frascos antigos; destinação emergencial onerosa
Solventes orgânicos inflamáveis e voláteis	25	Acetona, clorofórmio, diclorometano, éter etílico, etanol	Síntese de drogas, adulteração de combustíveis e bebidas, extração ilícita	Volatilidade alta; risco de incêndio; armazenamento inadequado gera passivos caros e perigosos
Sais de metais pesados	15	Mercúrio, chumbo, níquel, cromo, prata	Envenenamento deliberado, eletrólise clandestina, obtenção de ligas	Persistência ambiental; bioacumulação; destinação final muito cara; risco de contaminação de solo/água
Compostos orgânicos de alta toxicidade	10	Formaldeído, DMF, DMSO, glutaraldeído	Adulteração de alimentos/bebidas, solventes em síntese clandestina	Altamente tóxicos; risco crônico; armazenamento prolongado gera resíduos passivos com custos elevados
Compostos básicos de uso comum	5	Hidróxido de sódio, ureia, hipoclorito de sódio	Neutralização de substâncias, síntese de drogas em pequena escala	Embora menos críticos, em grandes volumes podem gerar resíduos corrosivos e de difícil destinação

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As categorias da Figura 10 apresentaram: Não se aplica = 88 (43,3%); Tóxico/Nocivo = 52 (25,6%); Inflamável = 24 (11,8%); Corrosivo = 22 (10,8%); Tóxico = 5 (2,5%); Tóxico reprodutivo = 3 (1,5%); Oxidante = 3 (1,5%); Tóxico/Cancerígeno

= 2 (1,0%); Tóxico, oxidante = 1 (0,5%); Não classificado = 1 (0,5%); Irritante = 1 (0,5%); Corrosivo/Tóxico = 1 (0,5%). Agregando por grau de risco (sua paleta): N/A/Não classificado \approx 43,8%, Baixo \approx 26,1%, Moderado \approx 11,8%, Alto \approx 12,3%, Muito alto \approx 3,5%, Crônico crítico \approx 2,5%. Em termos de gestão, a massa de N/A/Não classificado sinaliza lacunas de cadastro/FDS desatualizadas, já que a Seção 7 (manuseio/armazenamento) e a Seção 10 (estabilidade/reatividade) da FDS devem orientar a estocagem segura segundo a ABNT NBR 14725:2023 e o GHS Rev.10 (ABNT, 2023; UNECE, 2023).

Figura 10 – Distribuição do inventário químico por classes de perigo do GHS e grau de risco, evidenciando predominância de itens não classificados e presença de substâncias críticas de alta severidade



A organização do armazenamento no laboratório foi estruturada com base nos critérios do GHS, Revisão 10 (ONU/UNECE), que harmoniza a classificação de perigos, rótulos e Fichas de Dados de Segurança (FDS) em âmbito global (UNECE, 2023). No Brasil, a implementação do GHS se dá por meio da ABNT NBR 14725:2023, que orienta a classificação, a rotulagem e o conteúdo da FDS; a Seção 7 de cada FDS é a fonte primária para os requisitos de manuseio e armazenamento (ABNT, 2023). Complementarmente, adotou-se a abordagem de gestão de risco (risk-based) recomendada pelo WHO Laboratory Biosafety Manual, 4ª ed. (WHO, 2020) e as boas práticas detalhadas no Prudent Practices in the Laboratory (NRC, 2011). Para líquidos inflamáveis e combustíveis, foram seguidas as disposições do OSHA 29 CFR 1910.106 e, no contexto brasileiro, os requisitos da ABNT NBR 17505 (OSHA, 2012; ABNT, 2013).

Princípio aplicado: quando um produto apresentar múltiplos perigos, aplica-se o controle mais restritivo (ex.: “tóxico e oxidante” deve cumprir simultaneamente controle de acesso/ventilação e separação rígida de oxidantes vs. inflamáveis), conforme boas práticas de compatibilidade e segregação consolidadas em guias normativos e técnicos (NRC, 2011; WHO, 2020).

As regras gerais (transversais) são:

- **Compatibilidade e segregação:** separar ácidos de bases; oxidantes de inflamáveis/redutores/combustíveis; isolar ácidos oxidantes de solventes orgânicos (inclusive do ácido acético glacial). Usar um mapa de compatibilidades visível no armário/sala (NRC, 2011).
- **Contenção secundária:** empregar bandejas/cubas compatíveis (PE/PP) — evitar bandejas metálicas para substâncias corrosivas para metais (NRC, 2011).
- **Ventilação e manipulação:** armazenar em locais ventilados; manipular voláteis/tóxicos em cabines; não improvisar exaustão de armários de inflamáveis (para não comprometer a resistência ao fogo do gabinete) (NRC, 2011).
- **Rotulagem/FDS:** manter rótulos GHS legíveis e FDS atualizada (NBR 14725) acessível; conferir Seção 7 (manuseio/armazenamento) e Seção 10 (estabilidade/reactividade) do produto específico (ABNT, 2023).
- **Inflamáveis (geral):** respeitar limites de quantidade, recipientes aprovados e armários certificados segundo OSHA 1910.106 e ABNT NBR 17505; jamais

refrigerar inflamáveis em geladeira doméstica — utilizar equipamentos lab-safe/explosion-proof (OSHA, 2012; ABNT, 2013).

Diretrizes por classe (ligadas ao seu “grau de risco”):

1) N/A ou não classificado (cinza)

Local: prateleiras gerais de reagentes, fora de áreas de consumo de alimentos.

Boas práticas: manter integridade de tampas/selos; revalidar status “não classificado” ao trocar fornecedor ou concentração e conferir a Seção 7 da FDS (ABNT, 2023).

2) Baixo (verde) — irritante/nocivo (Cat. 4, p.ex. H315/H319/H302)

Local: armário químico padrão, com segregação por compatibilidade (ácidos × bases; orgânicos × aquosos).

Contenção: bandeja secundária; evitar armazenar acima da altura dos olhos (NRC, 2011).

3) Moderado (amarelo) — inflamáveis Cat. 3–4; “corrosivo para metais”

Inflamáveis Cat. 3–4: armazenar em armário certificado para inflamáveis, com portas e construção resistentes ao fogo; observar limites por área e uso de recipientes aprovados; em volumes maiores/armazenagem central, aplicar ABNT NBR 17505 (OSHA, 2012; ABNT, 2013).

Corrosivo para metais (H290): usar prateleiras não metálicas e bandeja plástica; manter longe de metais, bases fortes e oxidantes (NRC, 2011).

4) Alto (laranja) — corrosivo à pele (Cat. 1); oxidante

Corrosivo (pele): armário resistente à corrosão (PE/PP); ácidos separados de bases; ácidos oxidantes isolados de orgânicos (inclui ácido acético glacial); prever chuveiro/olhos nas proximidades (NRC, 2011).

Oxidantes: separação física rígida de inflamáveis, solventes, redutores e combustíveis; adotar armário incombustível e controle de calor/contaminação (NRC, 2011).

5) Muito alto (vermelho) — tóxico agudo (caveira); combinações “tóxico, oxidante” ou “corrosivo/tóxico”

Local e acesso: armário de tóxicos ou compartimento trancado, preferencialmente ventilado, com lista de pessoal autorizado.

Compatibilidade: aplicar sempre o requisito mais restritivo entre os perigos presentes; manter POPs com primeiros socorros/antídotos e checagem periódica (NRC, 2011; WHO, 2020).

6) Crônico crítico (roxo) — CMR: carcinogenicidade, mutagênese, toxicidade reprodutiva

Local: armário trancado ou área designada (“CMR”), com sinalização específica; quantidade mínima necessária e inventário nominal (quem guarda/quem usa).

Contenção: secundária obrigatória; preferir dupla embalagem em frascos frágeis; manipular em cabine sempre que possível; avaliar substituição e adotar políticas para gestantes, com FDS atualizadas (WHO, 2020; ABNT, 2023).

5.2 Integração com resíduos e substâncias controladas

Resíduos (PGRSS): alinhar o armazenamento às rotinas de segregação, acondicionamento, identificação, armazenamento temporário e destinação definidas pela RDC ANVISA 222/2018 e pelos materiais “RDC comentada”, garantindo rastreabilidade FDS ↔ FDSR quando aplicável (ANVISA, 2018).

Substâncias controladas (uso dual/desvio): para itens listados na Portaria MJSP nº 204/2022, manter cadastro/controle de estoque, observar limites/concentrações/isenções e cruzar inventário com as listas atualizadas (Brasil, 2022).

A distribuição observada no seu gráfico (N≈203 itens) indica: Não se aplica 88 (≈43,3%), Tóxico/Nocivo 52 (≈25,6%), Inflamável 24 (≈11,8%), Corrosivo 22 (≈10,8%), Tóxico 5 (≈2,5%), Tóxico reprodutivo 3 (≈1,5%), Oxidante 3 (≈1,5%), Tóxico/Cancerígeno 2 (≈1,0%), Tóxico, oxidante 1 (≈0,5%), Não classificado 1 (≈0,5%), Irritante 1 (≈0,5%), Corrosivo/Tóxico 1 (≈0,5%). Agregando por “grau de risco” (sua paleta): N/A/Não classificado ≈43,8%; Baixo ≈26,1%; Moderado ≈11,8%;

Alto ≈12,3%; Muito alto ≈3,5%; Crônico crítico (CMR) ≈2,5%, conforme critérios de classificação de perigo físico, à saúde e ao meio ambiente estabelecidos pelo Sistema Globalmente Harmonizado (GHS) e internalizados no Brasil pela ABNT NBR 14725:2023 e pela NR-26 (ABNT, 2023; Brasil, 2022; UNECE, 2023).

Em termos de gestão, a massa de N/A sugere lacunas de cadastro (troca de fornecedor/concentração), ou FDS não consolidadas/atualizadas. O GHS (ONU, Rev.10) e a ABNT NBR 14725:2023 reforçam que a Seção 7 (manuseio/armazenamento) e a Seção 10 (estabilidade/reatividade) das FDS devem orientar diretamente o arranjo físico no laboratório; recomendo auditoria para redução de N/A e correção de rótulos (UNECE, 2023; ABNT, 2023). Nos estratos Moderado–Alto (~24%) concentram-se inflamáveis e corrosivos/oxidantes, exigindo segregação por compatibilidade, contenção secundária e mobiliário específico (armários de inflamáveis, prateleiras/banheiras plásticas para corrosivos), sob pena de elevação do risco de incêndio/reatividade (UNECE, 2023).

Apesar de muito alto + Crônico crítico somarem apenas ~6%, a severidade (tóxico agudo; CMR) impõe prioridade de controle (acesso restrito, cabine, substituição, POPs). A abordagem de gestão por risco (risk-based) preconizada por WHO LBM4 reforça inspeções e reavaliação periódica (WHO, 2020).

5.3 Desalinhamento do arranjo alfabético (Jotform) com o GHS/compatibilidade

O armazenamento estritamente por ordem alfabética contraria o princípio de segregação por compatibilidade (ácidos×bases; oxidantes×inflamáveis; orgânicos × aquosos) e a comunicação de perigo do GHS/ABNT (rótulo e FDS orientando o manejo/armazenagem). Resultados práticos: aproximação de incompatíveis (e.g., oxidante ao lado de solvente), dificuldade de identificar rapidamente CMR/tóxicos, e risco de não conformidade em auditorias. (ABNT, 2023; UNECE, 2023).

Boas práticas convergentes em instituições de ensino superior e em referenciais internacionais prescrevem segregação por classe de risco e aplicação de matriz de compatibilidade química, e não por ordenação nominal. Diretrizes consolidadas de segurança laboratorial enfatizam armazenamento segregado por classes incompatíveis, manutenção de distâncias mínimas entre categorias reativas e prevenção de interações perigosas como oxidante × inflamável, em consonância com

princípios técnicos amplamente descritos na literatura especializada em segurança química (Hill; Finster, 2016; National Academies, 2011; HSE, 2002).

5.4 Base normativa nacional e internacional (e suas lacunas)

5.4.1 Classificação, rótulo e FDS

- **GHS Rev.10 (ONU/UNECE):** base técnica global para classificação, rótulos e FDS (UNECE, 2023).
- **Brasil — ABNT NBR 14725:2023:** internaliza o GHS, atualiza terminologia (FISPQ→FDS) e requisitos; é norma técnica, isto é, carece de força cogente direta sem incorporação em regulamentos setoriais, o que cria assimetria de adoção entre instituições (ABNT, 2023).
- **União Europeia – CLP (Reg. (CE) 1272/2008):** — transposição legal do GHS no mercado europeu (com emendas recentes), tornando vinculantes os critérios de classificação e rotulagem (EUR-Lex CLP, texto consolidado 2024/2025).
- **EUA — OSHA Hazard Communication, 29 CFR 1910.1200:** regra federal; atualizada em 2024 para alinhar-se majoritariamente à GHS Rev.7, com prazos de transição (OSHA, 2012).
- **Fragilidade comparativa:** no Brasil, a adoção do GHS via ABNT não tem o mesmo caráter regulatório explícito e uniforme de CLP (UE) e HazCom (EUA); isso contribui para heterogeneidade entre IFES quanto à rotulagem/inventário/ armazenagem (ABNT/Lisam; UNECE; OSHA).

5.4.2 Armazenamento e compatibilidade

Não há um “regulamento federal único” brasileiro para arranjo interno de laboratórios equivalente, por exemplo, a guias robustos do HSE (Reino Unido) e de universidades norte-americanas/europeias; o Brasil se apoia em normas técnicas, POPs institucionais e boas práticas. IFES frequentemente publicam manuais próprios convergentes (USP, UFMG, UFBA) (HSE/COSHH; IQ-USP; UFMG; UFBA).

5.4.3 Ventilação de laboratórios e cabines de exaustão

Pilar normativo internacional: ANSI/ASSP Z9.5-2022 (gestão de ventilação, plano de ventilação de laboratório, comissionamento, manutenção) e ANSI/ASHRAE 110 (ensaio de desempenho de cabines com *tracer gas*), usualmente anual e após modificações. No Brasil, adota-se por boas práticas e contratos de manutenção, mas não há imposição regulatória federal específica para todas as cabines acadêmicas. (Z9.5-2022; ASHRAE 110; AIHA/TSI/ANSI blog; guias EPA/3Flow).

5.4.4 HVAC/Qualidade do ar interior (PMOC)

Aqui há base legal: Lei 13.589/2018 (PMOC) torna obrigatória a manutenção/controle dos sistemas de climatização em edifícios de uso público/coletivo, amparada pela Portaria MS 3.523/1998 e pela RE ANVISA 09/2003 (padrões referenciais de qualidade do ar e diretrizes, inclusive sobre filtros mínimos). Em laboratórios, o PMOC precisa dialogar com requisitos técnicos de ventilação de risco (Z9.5) para garantir renovação/filtração alinhadas ao uso (Brasil, 1998, 2018; ANVISA, 2003); material técnico ABRAVA).

5.5 Manutenção preventiva: cabines/exaustores e HVAC (o que é mínimo aceitável)

5.5.1 Cabines de exaustão (ducted)

Operação diária: checagem do indicador de fluxo/alarme e posição da guilhotina (sash).

Trimestral: verificação de velocidade média de face conforme projeto/POP.

Anual ou após intervenções: ensaio ANSI/ASHRAE 110 de contenção com emissão de relatório e afixação do certificado; atualização do Plano de Ventilação de Laboratório (Z9.5) (ASHRAE 110; Z9.5/AIHA).

5.5.2 Cabines ductless/filtrantes e BSC

Ductless (carvão/HEPA): exige plano de troca por “breakthrough” do fabricante + verificação periódica de saturação; deve constar do programa de manutenção, conforme diretrizes técnicas para cabines recirculantes sem duto que estabelecem monitoramento documentado da eficiência dos filtros de carvão ativado e HEPA, bem como avaliação periódica de desempenho (EN 14175-7, 2012; National Academies, 2022). BSC (biológicas): certificação anual segundo normas específicas (NSF/ANSI 49), em coerência com o *WHO Laboratory Biosafety Manual*, 4th ed., que recomenda certificação periódica, validação de desempenho e manutenção documentada de cabines de segurança biológica como parte do programa institucional de gestão de risco (NSF/ANSI 49, 2022; WHO, 2020).

5.5.3 HVAC/PMOC

Obrigatório por lei: manter PMOC com cronogramas de inspeção, limpeza e troca de filtros, registros assinados por responsável técnico, e verificação dos padrões referenciais de qualidade do ar (RE 09/2003).

Filtros mínimos e renovação de ar devem ser compatibilizados com o risco laboratorial (p.ex., áreas de preparo analítico podem requerer classe superior de filtragem) (Brasil, 1998, 2018; ANVISA, 2003).

Fragilidade prática: enquanto o PMOC é exigível juridicamente, o desempenho das cabines depende da adoção voluntária de Z9.5/ASHRAE 110 por contratos e POPs locais. Isso cria assimetria entre IFES (laboratórios certificados versus laboratórios sem ensaio de contenção) (Z9.5; ASHRAE 110; reports técnicos).

5.6 Comparativo com outras IFES e padrões internacionais (o que elas estão fazendo)

IFES brasileiras publicam guias com segregação por classe de risco e compatibilidade, ainda que não uniformizados nacionalmente:

- **IQ-USP:** manual de armazenamento/compatibilidade (orientação prática e sistemática de segregação) (IQ-USP).

- **UFMG**: separação por classes e distâncias mínimas; evitar estocagem prolongada e proximidade de oxidantes×inflamáveis (UFMG).
- **UFBA**: normas internas explicitando incompatibilidades e cuidados de armazenagem (UFBA).

Outras (ICB-USP, UERGS e IFAL) reforçam princípios de inventário, compatibilidde e rejeitos.

Exterior: UE (CLP) torna obrigatória a classificação/rotulagem (efeito vinculante), com guias detalhados; universidades seguem COSHH/HSE com forte ênfase em risk assessment e armários específicos (p.ex., “COSHH cabinets”) (CLP—EUR-Lex; HSE/COSHH).

EUA (OSHA HazCom): atualização 2024 alinha rótulos/FDS à GHS Rev.7 e mantém forte enforcement; EHS universitários adotam Z9.5/ASHRAE 110 como padrão de certificação de cabines (OSHA, 2012, 2024).

Síntese comparativa: IFES brasileiras convergem em boas práticas, mas, sem uma norma federal única impositiva para arranjo interno de químicos/ventilação laboratorial, a maturidade varia. UE/EUA avançam por regulação vinculante (CLP; HazCom) e por normas técnicas tornadas mandatário-de-fato em auditorias/acreditações (Z9.5/ASHRAE 110).

5.7 Recomendações práticas (para reduzir o gap entre o “estado atual” e o “estado da arte”)

Reorganizar do arranjo alfabético para compatibilidade GHS (Inflamáveis/ Ácidos/ Bases/ Oxidantes/ Tóxicos & CMR/ Geral), aplicando a regra do controle mais restritivo em produtos com múltiplos perigos; afixar mapa de compatibilidades e legenda no mobiliário (GHS/ABNT; manuais IQ-USP; HSE).

Sanear cadastros: auditar FDS (Seções 2, 7 e 10) e reduzir N/A; implantar revisão trimestral de rótulos/validades (ABNT, 2023).

Formalizar POP de cabines com ensaio ASHRAE 110 anual e registros trimestrais de velocidade de face; consolidar um Plano de Ventilação de Laboratório (Z9.5) com responsabilidades, comissionamento e manutenção (ASHRAE 110; Z9.5).

PMOC: garantir cronograma de troca de filtros e limpeza; registrar qualidade do ar nas salas (RE 09/2003) e compatibilizar níveis de filtragem/renovação com o risco do processo (Lei 13.589/2018; RE 09/2003; Portaria 3.523/1998).

Benchmark: usar guias HSE/COSHH e EHS universitários estrangeiros para calibrar padrões locais (e.g., armários COSHH, segregação com contenção secundária) (HSE/COSHH; universidades).

A distribuição evidencia concentração marcada no C3/D7, com predominância de itens rotulados como “Não se aplica” e “Tóxico/Nocivo”, além de faixas menores de inflamáveis e CMR (Tóxico/Cancerígeno). Em seguida, C2/D3 apresenta perfil reduzido, porém também dominado por Não se aplica; C2/D5 e C4/D12 mostram cestas mistas (Inflamável, Corrosivo, Irritante, CMR), revelando maior complexidade de compatibilidade. Os demais (C3/D11, C2/D9, C3/D6, C2/D4, C1/D8, C1/D10) exibem volumes pequenos, porém com presença de classes críticas (p. ex., Inflamável/Corrosivo/CMR em baixa frequência) — o que exige controles proporcionais mesmo em escala menor, em consonância com princípios de gestão baseada em risco e proporcionalidade de controles (ISO, 2018; WHO, 2020).

5.7.1 Leitura técnica dos padrões

“Não se aplica” em massa (C3/D7 e C2/D3): típico de inventários acadêmicos, mas indica sub-rotulagem e/ou FDS desatualizadas. Ações: varredura de FDS (Seções 2, 7 e 10), regularização de rótulos GHS e reclassificação; a queda desse percentual aumenta a confiabilidade regulatória e melhora decisões de armazenamento, conforme requisitos de classificação, rotulagem e atualização de FDS previstos na ABNT NBR 14725:2023 e na NR-26 (ABNT, 2023; Brasil, 2022).

- **Cestas mistas (C2/D5, C4/D12):** coexistência de Inflamáveis, Corrosivos, Oxidantes, Irritantes e CMR requer segregação por compatibilidade (armário de inflamáveis; armário resistente à corrosão; separação rígida oxidante × inflamável; acesso restrito para tóxicos/CMR), conforme orientações consolidadas de compatibilidade química e armazenamento seguro descritas em *Prudent Practices in the Laboratory* (National Academies, 2022).
- **Hotspots de risco crítico (faixas magenta/roxo/azul-escuro conforme sua legenda):** mesmo com baixa contagem, CMR e Tóxicos agudos demandam prioridade: acesso controlado, cabine/ventilação, POPs específicos, e política de

substituição quando tecnicamente possível, alinhados ao princípio da hierarquia de controles e substituição de substâncias perigosas recomendado por referenciais internacionais de segurança química (National Academies, 2022; WHO, 2020).

- **Desalinhamento estrutural apontado no Jotform (ordem alfabética):** a fotografia por centro reforça que o arranjo alfabético aumenta a chance de incompatíveis lado a lado (oxidante vs. solvente; ácido oxidante vs. orgânico; ácidos vs. bases). Migrar para arranjo por periculosidade/compatibilidade é imediato e reduz risco operacional, conforme amplamente descrito na literatura técnica de segurança laboratorial e matrizes de compatibilidade química (National Academies, 2022; UNECE, 2023).

5.7.2 Implicações operacionais por centro (plano 90 dias)

C3/D7 (prioridade 1):

- a) Auditoria de FDS e correção de “Não se aplica”;
- b) Segregação física: *Inflamáveis* → armário certificado; *Corrosivos* → armário/plataformas em PP; *Oxidantes* isolados; *CMR/Tóxicos* → compartimento trancado;
- c) Checklist de compatibilidade afixado + legenda GHS colorida;
- d) Revisão do PMOC local (renovação/filtragem) para áreas com solventes.

C2/D5 e C4/D12 (prioridade 2): equalizar armazenamento mapeando prateleiras por classe e criando bandejas secundárias compatíveis; ajustar POP de compra/uso para reduzir estoque de risco.

Demais centros (prioridade 3): consolidar **controle de acesso** a CMR/Tóxicos, revisar etiquetas e instituir rotinas de inspeção trimestral.

Manutenção preventiva (cabines/exaustores e HVAC) aplicada à realidade da figura.

Onde houver Inflamáveis/voláteis (C3/D7, C2/D5, C4/D12), formalizar rotina: velocidade de face trimestral e ensaio de contenção anual (ANSI/ASHRAE 110) com placa/relatório; cabines ductless devem ter plano de troca de filtro por “breakthrough”. Integrar o PMOC (Lei 13.589/2018): cronograma de troca de filtros, limpeza de bandejas/dutos e verificação dos padrões de qualidade do ar (RE 09/2003). Áreas com solventes/poeiras reativas podem requerer filtragem superior (classe e PM/MERV) e maior ar de renovação.

Lacuna prática brasileira: desempenho de cabines depende de adoção local de Z9.5/ASHRAE 110 (ainda não compulsórios), gerando assimetrias entre centros; use a sua matriz de risco para priorizar certificação onde há mais inflamáveis/CMR.

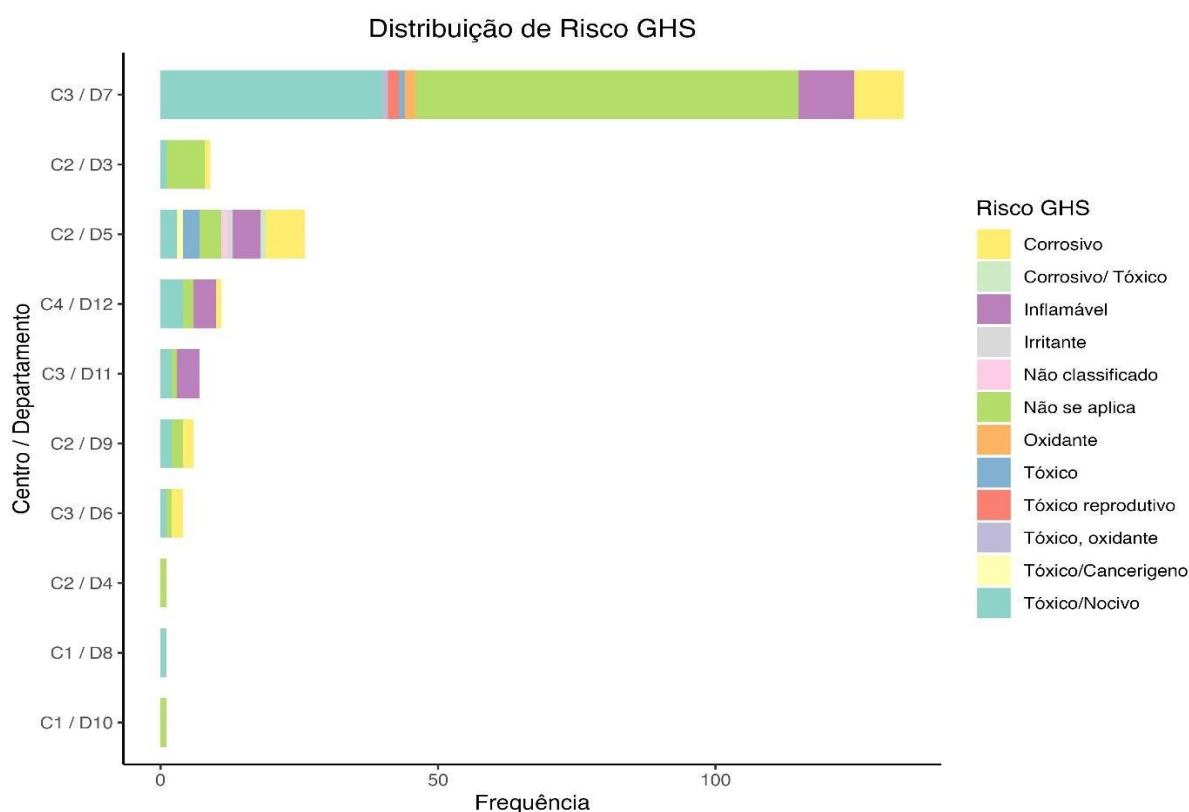
5.7.3 Indicadores de maturidade para comparar com outras IFES

- % de itens com FDS válidas (meta $\geq 95\%$).
- Redução de N/A pós-auditoria (meta: -50% em 90 dias nos centros prioritários).
- Tempo de resposta para atualização de rótulo e realocação após mudança de fornecedor/concentração.
- Cobertura de certificação de cabines ($\geq 90\%$ das cabines usadas com inflamáveis/CMR ensaiadas no último ano).
- Conformidade PMOC (100% com registros e trocas de filtro no prazo).
- Near-miss por incompatibilidade = 0 (após migração do arranjo alfabético).
Recomendações finais (executivas):
- Encerrar ordenação alfabética e migrar para compatibilidade GHS com a regra do controle mais restritivo (múltiplos perigos).
- Reclassificar o estoque de C3/D7 (e C2/D3) para derrubar “Não se aplica”; vincular cada item à FDS (Seç. 2, 7 e 10).
- Padronizar mobiliário: inflamáveis em armário certificado; corrosivos em prateleiras/banhejas plásticas; oxidantes isolados; CMR/tóxicos em compartimento trancado.
- Formalizar POP de cabines (face velocity trimestral + ASHRAE 110 anual) e PMOC (filtros/limpeza/QA do ar com registros).
- Expandir o dashboard: além do volume, exibir % por grau de risco por centro e status de FDS/cabine/PMOC, para priorização de auditorias e compras.

A Figura11 evidencia a distribuição dos produtos químicos segundo a classificação de risco do GHS (Globally Harmonized System) nos diferentes centros e departamentos da UFV. Observa-se que a concentração mais expressiva está localizada no C3/D7, que concentra produtos classificados como tóxicos/nocivos e corrosivos/tóxicos, seguidos de substâncias inflamáveis e cancerígenas. Esse perfil é esperado em departamentos com forte vocação para a química analítica e sintética, que lidam com solventes voláteis, ácidos concentrados e sais metálicos, em

consonância com os critérios de classificação de perigos físicos e à saúde estabelecidos pelo Sistema Globalmente Harmonizado e internalizados no Brasil pela ABNT NBR 14725:2023 (ABNT, 2023; UNECE, 2023), bem como com referenciais internacionais de segurança química laboratorial (National Academies, 2022).

Figura 11 – Distribuição de produtos químicos por centro/departamento segundo classificação de risco do GHS, com concentração de substâncias críticas em unidades de maior intensidade experimental



A Figura 11 evidencia a distribuição dos produtos químicos classificados segundo o GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) entre os diferentes centros e departamentos da UFV. Observa-se que o C3/D7 concentra a maior parte dos insumos inventariados, com predominância das categorias tóxico/nocivo e corrosivo/tóxico, seguidas por inflamáveis e substâncias classificadas como cancerígenas. Essa concentração revela não apenas a intensidade das atividades químicas desenvolvidas nesse setor, mas também um ponto crítico de vulnerabilidade institucional, que expõe fragilidades tanto no âmbito da biossegurança quanto da custódia e da gestão de resíduos.

Entretanto, a interpretação desse resultado deve considerar a influência do processo de obtenção dos dados. O C3/D7 foi o departamento que reportou a maior quantidade de produtos químicos em uso, associado a um maior nível de detalhamento e sistematização das informações fornecidas. Esse aspecto indica que a maior frequência observada pode não refletir exclusivamente uma maior carga real de insumos, mas também uma maior acurácia e abrangência no levantamento do inventário químico.

A análise desse mapeamento revela algumas fragilidades estruturais. A primeira delas é a ausência de padronização na gestão dos inventários químicos, ainda frequentemente mantidos em planilhas descentralizadas e heterogêneas. Esse modelo compromete a rastreabilidade, favorece inconsistências na atualização e amplia o risco de desvio de insumos, cenário que contrasta com práticas adotadas em universidades norte-americanas e europeias, nas quais inventários digitais auditáveis e de acesso em tempo real já são regra (OECD, 2022; Ritchie *et al.*, 2021). Outra fragilidade diz respeito aos resíduos passivos, que representam substâncias perigosas armazenadas por longos períodos sem destinação adequada, muitas vezes em frascos deteriorados ou sem identificação. Estudos conduzidos em universidades argentinas e chilenas identificaram que até 35% dos resíduos armazenados por mais de cinco anos encontravam-se em embalagens comprometidas, oferecendo alto risco de acidentes (Pérez *et al.*, 2020). Na UFV, a ausência de coleta sistemática obrigatória e o modelo de descarte voluntário potencializam o acúmulo desses passivos ambientais.

O vazio regulatório agrava esse quadro. A Resolução RDC nº 222/2018 da ANVISA define diretrizes para resíduos de serviços de saúde, incluindo resíduos químicos hospitalares, mas não contempla os resíduos provenientes de laboratórios de ensino e pesquisa, deixando as universidades em situação de vulnerabilidade normativa. Esse mesmo cenário é relatado em outras IFES brasileiras, onde setores de meio ambiente são obrigados a criar regras internas sem respaldo regulatório robusto, com limitações financeiras e operacionais (Medeiros *et al.*, 2023). A gestão de biossegurança, por sua vez, ainda é predominantemente reativa, com treinamentos conduzidos após a ocorrência de acidentes, padrão já descrito em instituições acadêmicas latino-americanas como México e Colômbia (García *et al.*, 2021).

Quando se observa o panorama internacional, percebe-se que universidades de referência, como MIT e Harvard, operam com auditorias internas trimestrais, treinamentos obrigatórios e integração plena de inventários eletrônicos, práticas que aumentam a segurança e a rastreabilidade dos insumos químicos (Kelly; Moran, 2021). Já em instituições europeias, como Cambridge e ETH Zürich, destaca-se a adoção do conceito de *chemical stewardship*, em que a responsabilidade pelo ciclo de vida de cada substância é compartilhada entre pesquisadores e unidades de biossegurança (Schroeder; Renn, 2020). Em contrapartida, universidades brasileiras como a UFRJ e a USP apresentam dificuldades semelhantes às da UFV, sobretudo pela estocagem de resíduos perigosos por décadas e ausência de integração entre sistemas de compras, laboratórios e setores de destinação final (Oliveira; Santos, 2022). Em países asiáticos, iniciativas como as da National University of Singapore vêm se destacando com planos institucionais de química verde, capazes de reduzir em até 40% o volume de solventes halogenados descartados (Wang *et al.*, 2021).

Apesar das fragilidades, o mapeamento realizado na UFV representa um ponto forte, ao permitir a identificação precisa dos setores com maior concentração de substâncias críticas, como o C3/D7 e o C2/D5. Esse conhecimento possibilita ao Departamento de Meio Ambiente (DAM) direcionar recursos para áreas prioritárias, planejar treinamentos específicos, antecipar cenários de resíduos passivos e evitar a formação de estoques perigosos. Do ponto de vista da sustentabilidade, o impacto é duplo: ambiental, pois resíduos de metais pesados e solventes halogenados contaminam ecossistemas e bioacumulam em cadeias tróficas (UNEP, 2022), e financeiro, já que a destinação emergencial de passivos pode custar até dez vezes mais que a coleta periódica estruturada (Machado; Fonseca, 2022).

Nesse contexto, a custódia emerge como dimensão estratégica. Sem inventários digitais auditáveis e controles de acesso, substâncias críticas como ácido nítrico, permanganato de potássio e solventes voláteis podem ser desviadas para usos ilícitos, ampliando o risco de cenários de uso dual. Além disso, a integração entre custódia e gestão de resíduos é essencial, pois não basta monitorar a entrada de insumos: é preciso garantir também sua saída segura, evitando tanto desvios quanto a formação de passivos químicos. A Figura 11, ao expor a distribuição dos riscos GHS entre centros e departamentos, oferece uma base de evidências indispensável para

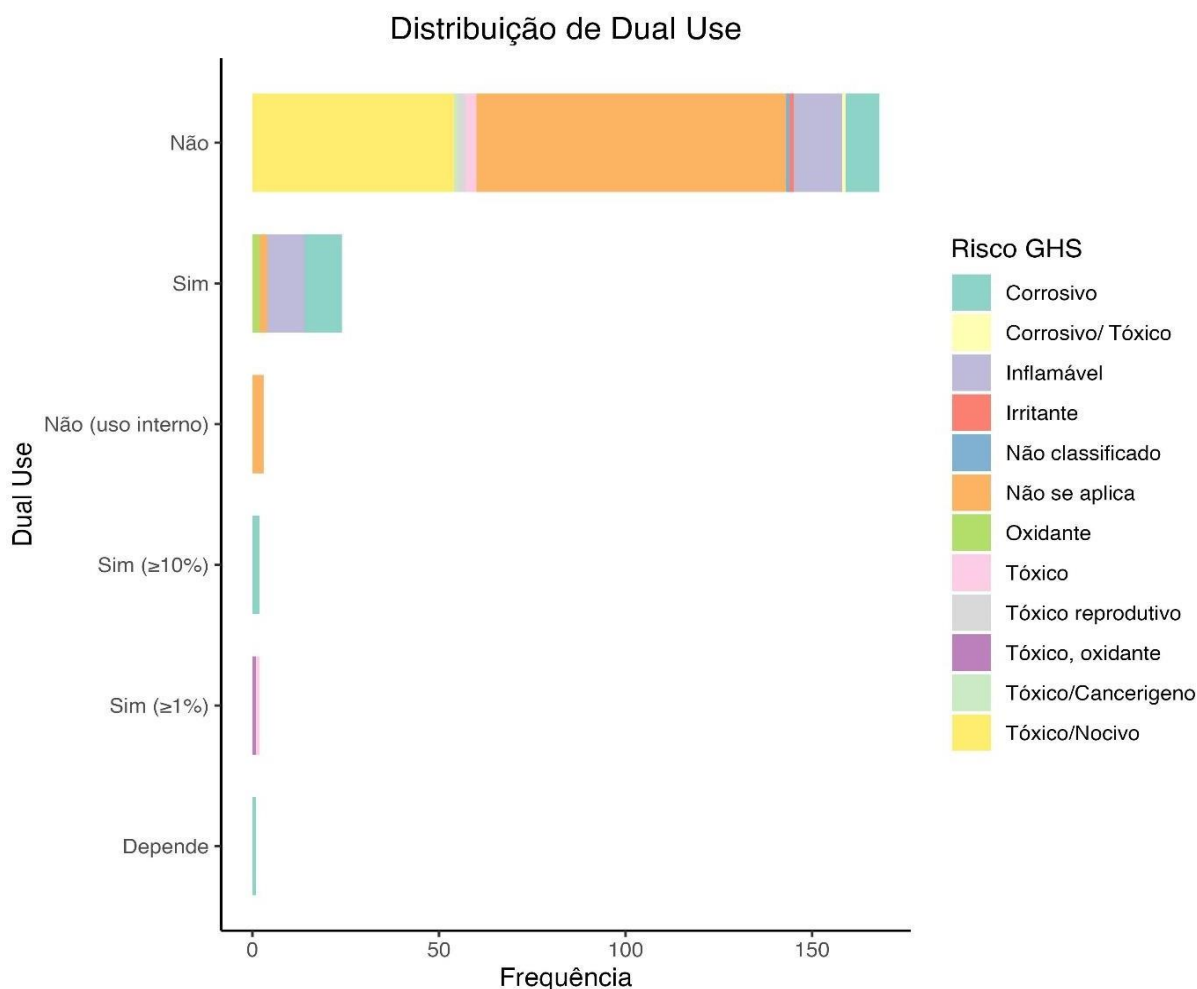
que a UFV avance na construção de políticas de biossegurança, sustentabilidade e governança química em sintonia com padrões internacionais.

A Figura 12 apresenta a distribuição de substâncias químicas classificadas segundo o potencial de uso dual (dual use) nos laboratórios da UFV, relacionando-as às categorias de risco estabelecidas pelo Sistema Globalmente Harmonizado (GHS). O gráfico demonstra que a maior parte dos insumos foi classificada como “Não”, ou seja, sem aplicabilidade direta em cenários de uso dual, o que representa um ponto positivo em termos de risco institucional. Contudo, observa-se que aproximadamente 20% dos produtos inventariados se enquadram em categorias críticas de “Sim”, “Sim $\geq 1\%$ ” e “Sim $\geq 10\%$ ”, indicando vulnerabilidades expressivas que merecem análise detalhada, à luz das recomendações internacionais de governança baseada em risco e controle proporcional de substâncias químicas sensíveis em ambientes acadêmicos (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2011; OPCW, 1997; ABNT, 2023).

Entre os insumos destacados como “Sim”, encontram-se solventes orgânicos como acetona, clorofórmio, diclorometano, etanol e isopropanol, amplamente empregados em atividades laboratoriais, mas que também figuram entre os principais reagentes utilizados em sínteses clandestinas de drogas ilícitas e adulteração de combustíveis (García-Reyes *et al.*, 2021). Já entre os ácidos minerais e sais oxidantes, como ácido nítrico, ácido sulfúrico, permanganato e dicromato de potássio, o risco de desvio está associado à fabricação de explosivos improvisados e ao refino de cocaína, conforme documentado por estudos da European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA, 2022).

Os produtos classificados como “Depende” representam um desafio adicional, já que seu potencial de desvio varia conforme o volume estocado e o contexto de uso. Pequenas quantidades podem ser inofensivas, mas estoques elevados ou combinações específicas podem ampliar exponencialmente os riscos. Essa ambiguidade reforça a importância de inventários digitais dinâmicos, associados a auditorias regulares e controles de acesso, de modo a manter uma trilha verificável de posse e uso e permitir ajuste proporcional dos controles ao risco observado (Straut; Nelson, 2020).

Figura 12 – Classificação dos produtos químicos segundo níveis de potencial de uso dual associados às classes de perigo do GHS, evidenciando presença de substâncias com diferentes graus de criticidade



Comparativamente, universidades norte-americanas e europeias já enfrentaram situações críticas envolvendo desvios de insumos de uso dual, o que levou à criação de políticas de reporte compulsório e auditorias independentes (Burton; Roberts; Andrews, 2021; European Commission, 2022). No Brasil, porém, ainda persiste uma fragilidade normativa: a RDC nº 222/2018 (ANVISA) regulamenta resíduos químicos em serviços de saúde, mas não abarca laboratórios de ensino e pesquisa. Essa lacuna expõe as IFES à formação de resíduos passivos, isto é, substâncias perigosas armazenadas sem destinação adequada, frequentemente em condições de risco. Além de potenciais acidentes, esses resíduos representam passivos ambientais e financeiros, com custos de destinação até dez vezes maiores quando acumulados por longos períodos (Rodrigues; Souza, 2023).

Do ponto de vista da sustentabilidade institucional, a presença de insumos com uso dual reforça a necessidade de integração entre biossegurança, biocustódia e gestão de resíduos. Não basta controlar a entrada de produtos; é fundamental também assegurar a rastreabilidade de seu ciclo de vida até o descarte final, sob supervisão do Departamento de Meio Ambiente (DAM). Sem esse controle, a universidade não apenas amplia riscos de desvio, mas compromete sua credibilidade e responsabilidade socioambiental.

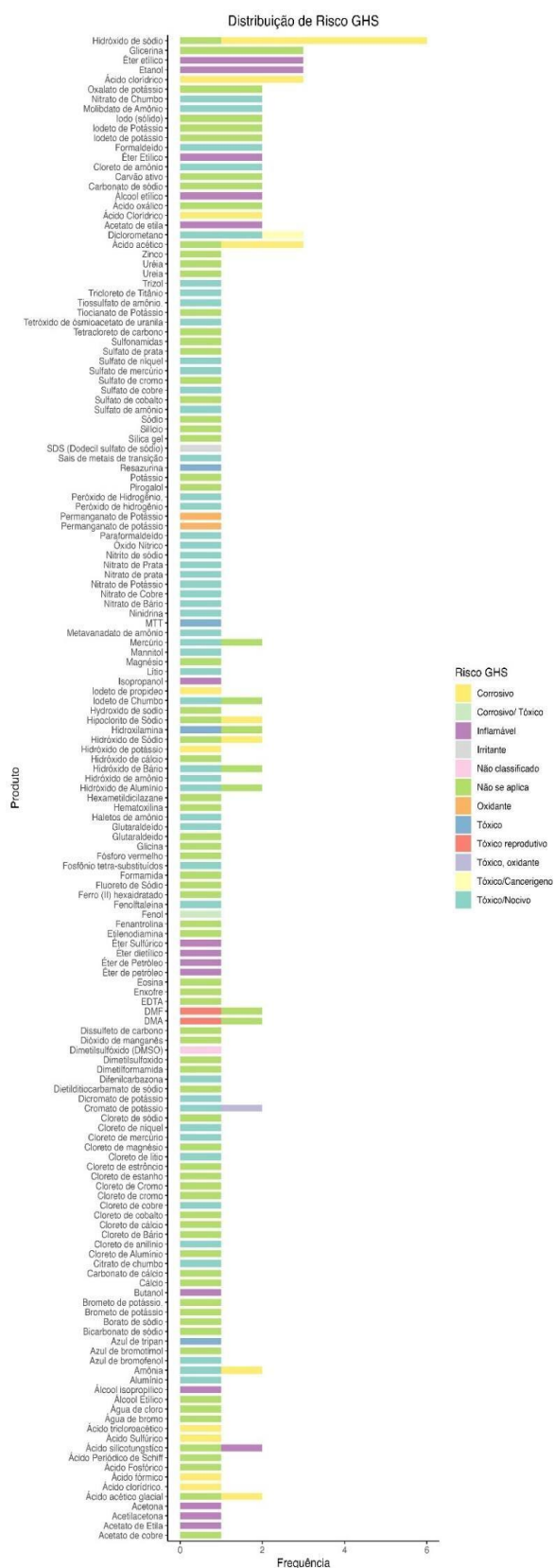
Assim, a análise da Figura 12 confirma três pontos centrais:

- **Ponto forte:** a maioria dos insumos não possui potencial de uso dual direto, reduzindo parte da vulnerabilidade.
- **Fragilidade:** cerca de 20% dos produtos apresentam alto risco, seja por concentração, volume ou natureza química, e estão desprotegidos pela ausência de regulamentação nacional específica.
- **Oportunidade:** o mapeamento de uso dual constitui ferramenta estratégica para a gestão de riscos, podendo orientar políticas institucionais de auditoria, capacitação e sustentabilidade.

A Figura 13 apresenta a classificação de produtos químicos utilizados nos laboratórios da UFV segundo os critérios do Sistema Globalmente Harmonizado (GHS). O gráfico evidencia a ampla diversidade de insumos, distribuídos em categorias como corrosivos, tóxicos/nocivos, inflamáveis, oxidantes, cancerígenos, tóxicos reprodutivos e irritantes, além de compostos que foram enquadrados como “não se aplica” ou “não classificados”, em consonância com os critérios contemporâneos de classificação e comunicação de perigos estabelecidos pelo GHS e discutidos na literatura recente sobre sua implementação e impacto na gestão de segurança química (Zhang *et al.*, 2021).

Um dos aspectos mais críticos revelados é a predominância de substâncias enquadradas como corrosivas e tóxicas/nocivas, como os ácidos sulfúrico, clorídrico e nítrico, bem como sais como dicromato de potássio e nitrato de chumbo. Esses insumos não apenas apresentam risco direto de acidentes laboratoriais (queimaduras químicas, inalação de vapores corrosivos, contaminação ambiental), mas também são reconhecidos como reagentes de uso dual, associados à produção de explosivos improvisados, drogas ilícitas e adulteração de combustíveis (EMCDDA, 2022; García-Reyes *et al.*, 2021).

Figura 13 – Distribuição de produtos químicos segundo classificação de risco do GHS, com predominância de substâncias corrosivas, tóxicas e inflamáveis de maior impacto ocupacional e ambiental



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os solventes inflamáveis — como éter etílico, etanol, isopropanol, diclorometano e acetona — aparecem em proporções relevantes, indicando vulnerabilidade significativa. Além do risco ocupacional associado à volatilidade e inflamabilidade, esses compostos têm sido documentados em sínteses clandestinas de drogas sintéticas e como solventes na purificação de cocaína, conforme alertam relatórios internacionais de biosegurança (Burton; Roberts; Andrews, 2021; European Commission, 2022).

Outro ponto de destaque são os compostos de metais pesados (chumbo, mercúrio, cromo, níquel, prata), que aparecem dispersos em diferentes categorias GHS. O descarte inadequado desses insumos gera resíduos passivos de alta periculosidade ambiental, pois podem contaminar águas subterrâneas e bioacumular em cadeias tróficas, com consequências crônicas para a saúde pública e para a sustentabilidade institucional. A literatura demonstra que a destinação tardia de resíduos de metais pesados pode custar até dez vezes mais do que a coleta sistemática, criando não apenas um passivo ambiental, mas também um passivo financeiro significativo para universidades públicas (Rodrigues; Souza, 2023).

A presença de substâncias classificadas como tóxicas para reprodução e cancerígenas, embora em menor frequência, merece atenção redobrada. Compostos como formaldeído e DMF (dimetilformamida) estão diretamente relacionados a doenças ocupacionais de longo prazo, e sua manipulação sem infraestrutura adequada pode configurar infrações trabalhistas e sanitárias, além de comprometer a saúde de estudantes expostos. Esse dado reforça a fragilidade normativa brasileira: embora a RDC nº 222/2018 (ANVISA, 2018) regulamente resíduos de serviços de saúde, não há legislação equivalente para laboratórios de ensino e pesquisa, deixando um vácuo regulatório que transfere às IFES a responsabilidade exclusiva pela criação de protocolos (OECD, 2022).

Comparando com outras universidades internacionais, nota-se um contraste marcante. Instituições norte-americanas e europeias operam com sistemas de reportes compulsórios, inventários digitais e auditorias independentes, o que reduz o risco de desvios e passivos químicos. No Brasil, porém, a gestão ainda é voluntária e descentralizada, como observado na UFV, onde cabe ao Departamento de Meio Ambiente (DAM) a coleta de resíduos, mas sem estrutura suficiente para rastrear o ciclo de vida de todos os insumos.

Do ponto de vista da biossegurança e da custódia, o Gráfico 13 demonstra a necessidade de integrar inventários digitais, controle de acesso e treinamento contínuo. Produtos como permanganato de potássio, dicromato de potássio e ácido nítrico, identificados entre os de maior risco, deveriam ser submetidos a um protocolo de monitoramento diferenciado, incluindo auditorias periódicas, restrição de estocagem e priorização no gerenciamento de resíduos, em consonância com estratégias contemporâneas de avaliação e gestão de risco químico em laboratórios universitários (Feng; Li; Zhang, 2022).

Entre os de alta criticidade, destacam-se os ácidos minerais e oxidantes fortes (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl , ácido perclórico, permanganato e dicromato de potássio, nitrato de chumbo, nitrato de potássio). Esses compostos apresentam riscos imediatos (queimaduras químicas, intoxicações, corrosão de equipamentos) e potenciais ilícitos (explosivos improvisados, refino de drogas). Ele se aplica aos solventes inflamáveis/voláteis (acetona, diclorometano, clorofórmio, éter etílico, etanol, isopropanol), cujo desvio para adulteração de combustíveis e drogas ilícitas é amplamente documentado (EMCDDA, 2022; Wang; Huang, 2023).

Também os metais pesados (sais de mercúrio, chumbo, níquel, cromo, prata) são de grande relevância, não só pelo potencial de reaproveitamento ilícito, mas sobretudo pela toxicidade ambiental e pela geração de resíduos persistentes, de difícil e onerosa destinação (Rodrigues; Souza, 2023). Já os compostos cronicamente tóxicos (formaldeído, glutaraldeído, DMF, DMSO) representam riscos laborais de longo prazo, relacionados a mutagenicidade e toxicidade reprodutiva, além de também poderem ser empregados como solventes em sínteses clandestinas.

Substâncias como fenolftaleína, antes usada como laxante e hoje classificada como possivelmente carcinogênica (IARC, 2020), apresentam importância intermediária. Não são produtos de dual use direto, mas envolvem riscos de saúde ocupacional e de descarte ambiental. Isso vale para corantes e indicadores (azul de tripan, eosina, azul de bromotimol), com toxicidade significativa em exposições repetidas. Compostos básicos de uso comum (NaOH , hipoclorito de sódio, ureia) também se enquadram nesta categoria, sendo de baixo risco isoladamente, mas críticos quando manipulados em grandes volumes ou armazenados sem segregação. Por fim, sais estáveis e de uso analítico, como carbonatos e sulfatos simples, apresentam baixo risco individual. Contudo, quando acumulados como resíduos não tratados, podem evoluir para resíduos passivos, especialmente se armazenados em

frascos antigos, sem identificação e em condições degradadas, aumentando os riscos institucionais.

5.7.4 Pontos críticos

Resíduos passivos: As IFES brasileiras enfrentam graves dificuldades no manejo de resíduos acumulados, gerados por décadas sem destinação. Estudos na USP e na UFRJ apontam que mais de 40% dos resíduos laboratoriais perigosos armazenados eram considerados passivos, aumentando custos e riscos de acidentes (Silva *et al.*, 2020; Oliveira; Gomes, 2021). Na UFMG, iniciativas recentes de coleta centralizada reduziram parcialmente o problema, mas evidenciaram a necessidade de regulamentação nacional (Carvalho *et al.*, 2022).

Fragilidade normativa: A RDC nº 222/2018 (ANVISA) regula resíduos de saúde, mas não cobre laboratórios de ensino e pesquisa. Isso cria um vácuo legal, obrigando universidades a dependerem de iniciativas internas (Machado; Fonseca, 2022).

Comparação internacional: Enquanto universidades da Europa e América do Norte operam com inventários digitais, auditorias compulsórias e programas de responsabilidade estendida (EPA, REACH), as IFES brasileiras ainda adotam sistemas voluntários, com baixa adesão e ausência de integração entre setores (Burton; Roberts; Andrews, 2021; OECD, 2022).

5.7.5 Conclusão

A Figura 13 demonstra que os produtos de maior criticidade para a UFV são os ácidos fortes, oxidantes, solventes inflamáveis e metais pesados, todos vinculados a riscos ocupacionais, ambientais e de dual use. Substâncias de relevância intermediária, como fenolftaleína e corantes laboratoriais, revelam riscos crônicos e ambientais muitas vezes negligenciados. Já compostos de menor criticidade, quando acumulados sem descarte, transformam-se em resíduos passivos, expondo a instituição a custos desproporcionais, sanções legais e acidentes potenciais, conforme evidenciado na literatura recente sobre gestão de risco químico e passivos ambientais em laboratórios universitários (Liu; Zhang; Wang, 2021).

Assim, a gestão integrada exige: (i) protocolos específicos de custódia para insumos críticos, (ii) auditorias institucionais regulares, (iii) inventários digitais auditáveis, e (iv) políticas nacionais que contemplem a realidade dos laboratórios de ensino e pesquisa.

A figura evidencia a predominância expressiva de produtos químicos não controlados, que representam mais de 70% do inventário analisado. Embora, à primeira vista, essa categoria possa sugerir menor criticidade regulatória, trata-se de uma falsa sensação de segurança. Diversos desses insumos, ainda que fora das listas oficiais da PF (Portaria MJSP nº 204/2022) e da PC, possuem alto potencial de uso dual, sobretudo quando combinados a outros reagentes em sínteses clandestinas (Atlas; Reppy, 2020). Esse ponto reforça uma fragilidade do arcabouço normativo brasileiro, cuja ênfase recai sobre produtos isolados, desconsiderando o risco agregado de combinações químicas.

Entre os produtos sob controle da PF, destacam-se o éter etílico, acetato de etila, ácido clorídrico e ácido nítrico, amplamente reconhecidos por sua aplicação em processos de refino de entorpecentes, síntese clandestina e produção de explosivos improvisados. A presença recorrente desses produtos nos laboratórios acadêmicos

reforça a necessidade de inventários digitais integrados, rastreabilidade contínua e acesso restrito, conforme as boas práticas de custódia e controle proporcional de substâncias perigosas descritas na literatura internacional de gestão de risco laboratorial (National Academies Of Sciences, Engineering, And Medicine, 2022), bem como em conformidade com os mecanismos nacionais de controle estabelecidos pela Lei nº 9.112/1995 (CIBES) e pela regulamentação da Polícia Federal aplicável ao controle de produtos químicos sujeitos a fiscalização especial (Brasil, 1995, 2019).

Já no caso da PC, observam-se substâncias altamente oxidantes, como o dicromato de potássio e o permanganato de potássio, ambos frequentemente associados à síntese ilícita de drogas e à manipulação de agentes explosivos. Apesar de essenciais em protocolos de pesquisa, tais substâncias demandam um controle diferenciado, com protocolos de aquisição justificada, treinamentos obrigatórios e auditorias internas, a exemplo do que já é praticado em universidades da União Europeia (European Commission, 2022).

Os produtos controlados em concentrações $\geq 10\%$, como o ácido acético glacial e o ácido fórmico, apresentam um desafio adicional: a diluição realizada nos

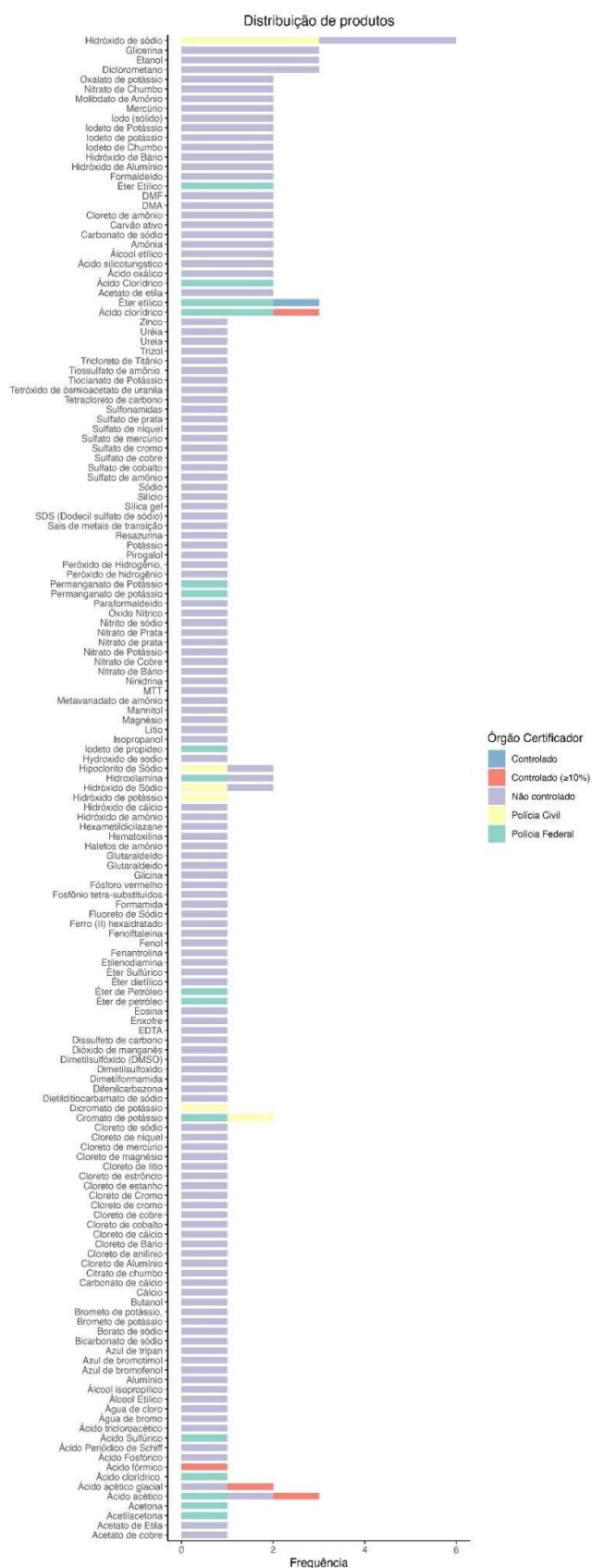
laboratórios faz com que soluções subsequentes deixem de ser monitoradas legalmente, escapando ao escopo das normativas. Esse fenômeno, já relatado em estudos sobre gestão de risco químico em universidades federais brasileiras (Mendes; Carvalho, 2021), expõe uma fragilidade de monitoramento que demanda revisão regulatória.

No que tange à gestão de resíduos, a Figura 14 expõe um problema crítico: substâncias de alta periculosidade, como solventes halogenados (clorofórmio, diclorometano) e sais de metais pesados (chumbo, mercúrio, cromo), quando não destinados adequadamente, resultam na formação de resíduos passivos. Esses resíduos acumulados em frascos antigos, muitas vezes sem rótulo ou fora de validade, geram riscos de explosão, contaminação ambiental e custos financeiros até dez vezes superiores ao manejo periódico (Silva *et al.*, 2023).

Esse contexto revela ainda uma lacuna regulatória brasileira. A RDC nº 222/2018 (ANVISA, 2018) disciplina o gerenciamento de resíduos de saúde, mas não contempla resíduos provenientes de laboratórios de ensino e pesquisa, deixando as Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) em situação de vulnerabilidade. Enquanto isso, experiências internacionais, como nos Estados Unidos e no Canadá, demonstram a eficácia de sistemas integrados de Chemical Inventory Management, que permitem rastrear desde a aquisição até o descarte, vinculados a auditorias obrigatórias (Hossain *et al.*, 2021; Canadian Biosafety Standard, 2022).

No contexto da UFV, tais elementos reforçam a necessidade de fortalecimento de mecanismos institucionais integrados de governança, capazes de articular biossegurança, custódia, rastreabilidade e sustentabilidade ambiental de forma sistêmica, com controles proporcionais ao risco e foco em riscos sistêmicos e vulnerabilidades institucionais (Renn, 2021). Como referência operacional para estruturar modelos de cadeia de custódia e rastreabilidade auditável ao longo de processos organizacionais, recomenda-se adotar a terminologia e os modelos descritos na ISO 22095:2020 (ISO, 2020b). No eixo normativo de dual use no Brasil, a universidade deve alinhar seus procedimentos internos à lógica nacional de controle de bens e serviços sensíveis (incluindo o campo químico), vinculada à Lei nº 9.112/1995 e às estruturas governamentais correlatas (Brasil, 1995).

Figura 14 – Distribuição de produtos químicos segundo órgãos de controle regulatório, evidenciando fragmentação normativa e coexistência de diferentes regimes de fiscalização



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Assim, a análise da Figura 14 revela três pontos críticos principais:

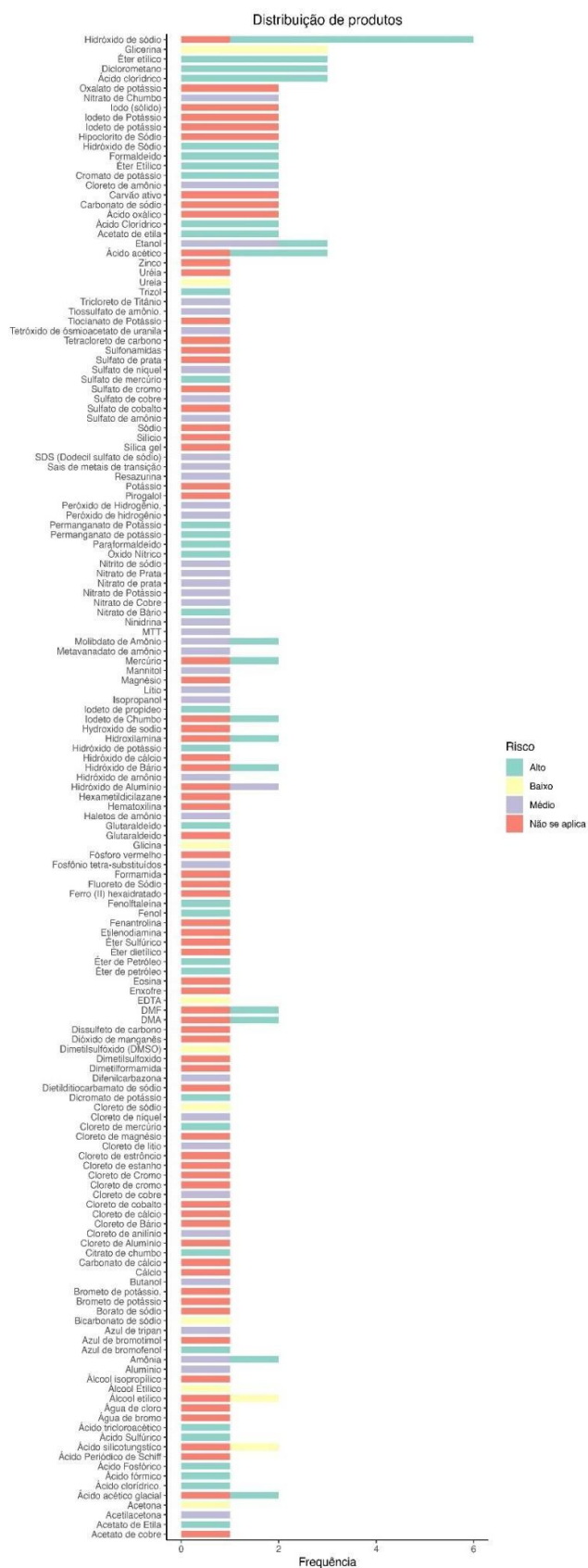
- A predominância de produtos não controlados não elimina o risco, pois muitos apresentam potencial de uso dual quando combinados.
- O controle fragmentado entre diferentes órgãos (PF, PC, ANVISA) gera sobreposições e lacunas operacionais.
- A ausência de integração entre custódia e gerenciamento de resíduos amplia o risco de desvios ilícitos e de formação de resíduos passivos.

Portanto, o mapeamento da Figura 14 não apenas descreve a distribuição de produtos químicos, mas constitui uma ferramenta estratégica para subsidiar políticas institucionais mais robustas, que incorporem biossegurança, bioproteção e sustentabilidade ambiental às práticas laboratoriais.

Em relação a Figura 15, em que é mostrada a distribuição de produtos químicos segundo categorias de risco (alto, médio, baixo e não se aplica), conforme critérios de classificação do Sistema Globalmente Harmonizado (GHS), o gráfico ilustra a concentração de substâncias críticas em laboratórios universitários, destacando pontos de vulnerabilidade para gestão de resíduos, biossegurança e prevenção de passivos ambientais, em consonância com os princípios internacionais de classificação e comunicação de perigos químicos (UNECE, 2023; ABNT, 2023).

A Figura 15 evidencia a distribuição de produtos químicos classificados segundo diferentes categorias de risco (alto, médio, baixo e não se aplica), permitindo uma leitura integrada da periculosidade e da vulnerabilidade associada ao inventário laboratorial. Nota-se que há predominância de substâncias classificadas como alto risco, seguidas por produtos de risco médio, enquanto os de baixo risco apresentam participação mais restrita. A categoria “não se aplica” reflete substâncias que, embora manipuladas em laboratórios, não apresentam enquadramento direto nas categorias do GHS, mas ainda assim representam desafios no gerenciamento e descarte, exigindo abordagem sistemática de avaliação e tratamento de riscos, conforme diretrizes de gestão baseada em risco aplicadas a ambientes laboratoriais (NASEM, 2011; ISO, 2018).

Figura 15 – Distribuição de produtos químicos segundo categorias de risco (alto, médio, baixo e não classificado), com predominância de substâncias de alta periculosidade e lacunas de classificação



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Entre os produtos de alto risco, destacam-se ácidos minerais (ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorídrico), oxidantes fortes (permanganato de potássio, dicromato de potássio, nitrato de chumbo) e solventes halogenados (diclorometano, clorofórmio). Esses compostos não apenas apresentam propriedades corrosivas, tóxicas ou carcinogênicas, como também figuram entre substâncias de interesse em regulamentações internacionais, devido ao seu potencial de desvio para uso dual — fabricação de explosivos improvisados, adulteração de bebidas ou processos de refino de drogas ilícitas (UNODC, 2022; OPCW, 2023). A presença desses insumos em laboratórios universitários exige medidas rigorosas de custódia, inventários digitalizados e protocolos de rastreabilidade, sob risco de fragilizar tanto a segurança ocupacional quanto a segurança pública.

Os produtos classificados como risco médio abrangem solventes orgânicos voláteis (etanol, acetona, éter etílico), sais metálicos (cloretos de cádmio, níquel, mercúrio) e compostos orgânicos de toxicidade significativa (formaldeído, glutaraldeído). Ainda que não tenham a mesma criticidade dos oxidantes e ácidos fortes, apresentam riscos cumulativos quando armazenados em grandes volumes ou sem compatibilidade química. No contexto de universidades brasileiras, onde o descarte de resíduos químicos ainda é voluntário e fragmentado (Brasil, 2018), a acumulação desses insumos tende a gerar resíduos passivos — substâncias fora de prazo de validade, armazenadas sem identificação ou em frascos deteriorados, configurando ameaça ambiental e financeira.

Na categoria de baixo risco, encontram-se compostos básicos como hidróxido de sódio, bicarbonato de sódio e sais inorgânicos comuns. Apesar da baixa toxicidade relativa, quando mal segregados, esses produtos podem reagir com ácidos fortes ou oxidantes, gerando cenários de risco em cadeia, muitas vezes negligenciados pela gestão universitária. Essa interação destaca a importância de se adotar planos integrados de gerenciamento e segregação por compatibilidade química, conforme amplamente descrito na literatura internacional de segurança laboratorial (NASEM, 2011).

Já os produtos classificados como “não se aplica” remetem a reagentes sem enquadramento direto no GHS, mas cuja presença no inventário laboratorial não pode ser desconsiderada. Ainda que alguns apresentem baixo risco imediato, a ausência de classificação oficial dificulta a implementação de rotinas de segregação e descarte, reforçando a necessidade de padronização normativa.

O mapeamento trazido pela Figura 15 revela pontos críticos para as universidades federais brasileiras: (i) a elevada proporção de substâncias de alto risco, (ii) a ausência de normativas específicas para resíduos de pesquisa, e (iii) a tendência de formação de passivos ambientais e químicos em função do descarte descentralizado. Experiências internacionais mostram que universidades como Harvard, MIT e Oxford mantêm inventários digitais integrados com auditorias internas anuais, além de planos de minimização de resíduos químicos (EPA, 2020; ECHA, 2021). No Brasil, iniciativas pontuais em universidades como USP e UFMG têm mostrado avanços em coleta centralizada, mas ainda carecem de cobertura normativa nacional (Souza; Torres, 2022).

Dessa forma, a Figura 15 não deve ser interpretado apenas como uma listagem de substâncias, mas como um diagnóstico estratégico: ela permite ao Departamento de Meio Ambiente (DAM) identificar os laboratórios de maior criticidade, priorizar coletas, prevenir a formação de passivos e alinhar a universidade às melhores práticas internacionais de sustentabilidade e biossegurança.

5.8 Distribuição percentual aproximada por grupo

Solventes inflamáveis (≈ 30%): incluem acetona, etanol, metanol, isopropanol e éteres. Sua elevada prevalência representa o maior risco de incêndio/explosão nos laboratórios, exigindo armazenagem segregada, ventilação adequada e manutenção preventiva de cabines de exaustão. No contexto de uso dual, destacam-se metanol e acetona, frequentemente desviados para síntese de drogas e adulteração de bebidas (Agência Brasil, 2024).

Ácidos minerais e oxidantes fortes (≈ 25%): como ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorídrico, permanganato de potássio e dicromato de potássio. Classificados como corrosivos e oxidantes, são críticos tanto por acidentes de contato (queimaduras) quanto pelo risco de desvio como precursores de explosivos improvisados. No Brasil, constam das listas de controle da PF (Brasil, 2019).

Compostos tóxicos e cancerígenos (≈ 15%): formaldeído, benzeno, clorofórmio e sais de metais pesados (chumbo, mercúrio, níquel, cromo VI). Apresentam risco ocupacional elevado, além de potencial impacto ambiental em casos de descarte inadequado. A presença desses compostos reforça a necessidade

de protocolos de biossegurança específicos, dado o risco de bioacumulação e intoxicações crônicas.

Bases fortes e reagentes alcalinos (≈ 10%): incluem hidróxido de sódio, amônia e ureia. Embora representem risco moderado quando comparados a oxidantes ou solventes inflamáveis, sua manipulação inadequada pode causar queimaduras graves e gerar incompatibilidades químicas importantes (ex.: reação violenta com ácidos).

Compostos orgânicos especiais (≈ 8%): englobam DMSO, DMF, glutaraldeído e azul de tripan. São menos volumosos, mas altamente relevantes: podem ser usados em sínteses clandestinas e, em alguns casos, como adulterantes em medicamentos.

Outros reagentes e substâncias de uso comum (≈ 12%): hipoclorito de sódio, sais de amônio e reagentes tampão. Embora de menor criticidade individual, o volume acumulado aumenta a relevância, especialmente para geração de resíduos passivos.

5.8.1 Pontos críticos identificados

Alta prevalência de solventes inflamáveis (30%): torna o risco de incêndio e explosão o mais relevante na rotina dos laboratórios.

Oxidantes e ácidos minerais (25%): com duplo papel: risco de corrosão/queimaduras e desvio para ilícitos (explosivos e drogas).

Resíduos passivos: compostos de metais pesados e solventes halogenados, se armazenados por longos períodos, representam ameaça ambiental e financeira.

Lacunas regulatórias: a RDC 222/2018 (ANVISA) trata de resíduos químicos em serviços de saúde, mas não abrange laboratórios de pesquisa, deixando as universidades em um vazio normativo.

Custódia insuficiente: ausência de inventários digitais auditáveis aumenta o risco de desvio de insumos críticos.

5.8.2 Relevância para gestão institucional

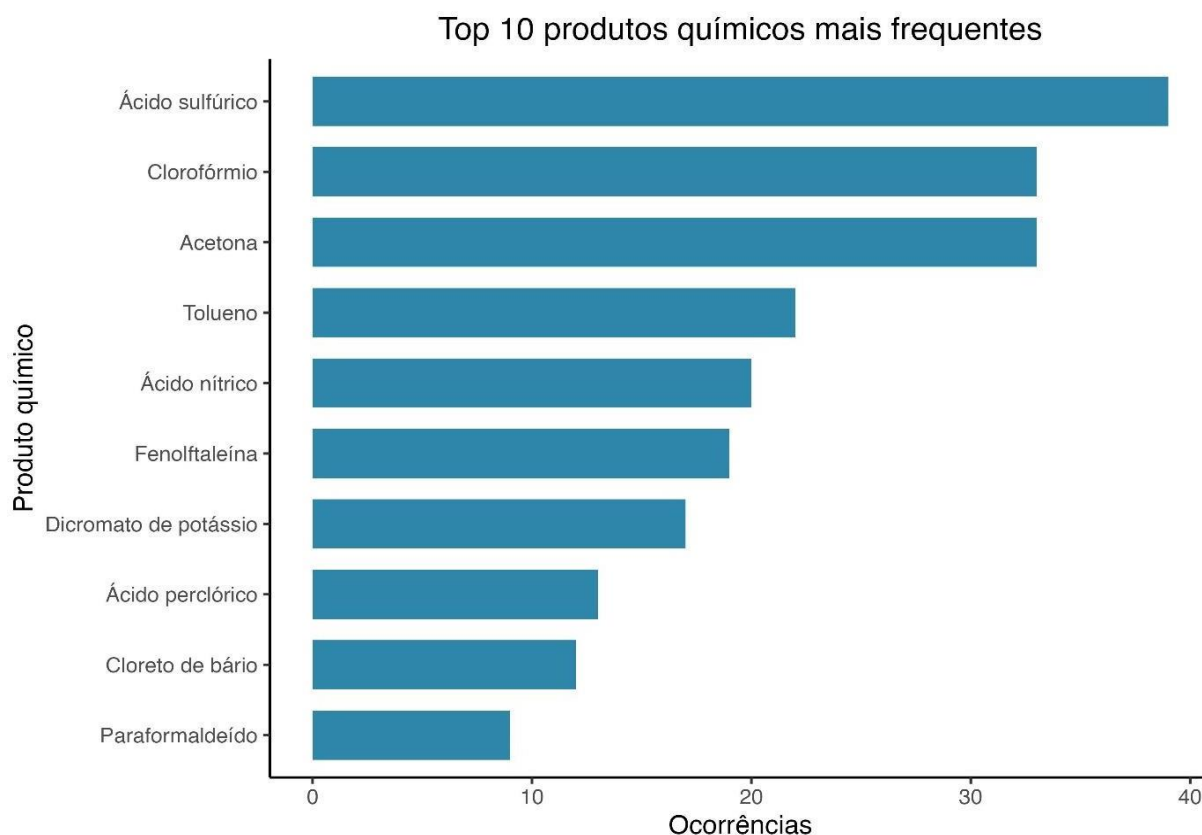
Esse mapeamento é essencial para que o Departamento de Meio Ambiente (DAM) priorize:

- Coletas regulares de resíduos em laboratórios de maior risco;
- Inventários que permitam rastreabilidade de entrada e saída de insumos;
- Treinamentos contínuos para mitigar falhas humanas;
- Políticas de prevenção ao uso dual, em consonância com a Convenção sobre Armas Químicas e com o controle nacional de substâncias (Brasil, 2019).

A Figura 16 mostra a distribuição dos dez produtos químicos mais recorrentes identificados nos inventários laboratoriais da UFV. Observa-se predominância de ácidos minerais (sulfúrico e nítrico), solventes inflamáveis (acetona, clorofórmio e tolueno) e compostos com elevado potencial de uso dual (p. ex., dicromato de potássio e ácido perclórico). Essa configuração evidencia riscos críticos associados à corrosividade, inflamabilidade, toxicidade e carcinogenicidade, além de reforçar a preocupação com resíduos passivos e a necessidade de fortalecimento da custódia institucional (inventários digitais auditáveis, segregação por compatibilidade e controle proporcional de substâncias mais perigosas), em linha com abordagens práticas de priorização de químicos perigosos e de gestão de armazenamento/estoques em laboratórios acadêmicos descritas na literatura recente (Fatemi; Dehdashti; Jannati, 2022; Kuzmina *et al.*, 2022).

A Figura 16 evidencia que os produtos mais frequentes nos laboratórios da UFV são o ácido sulfúrico (≈ 38 ocorrências; 16%), seguido pelo clorofórmio (≈ 33 ; 14%) e pela acetona (≈ 33 ; 14%), os quais, juntos, representam quase metade do total do top 10. Esses compostos possuem ampla aplicabilidade em diferentes rotinas experimentais, mas estão associados a altos riscos de corrosividade, inflamabilidade e toxicidade, em consonância com classificações internacionais de risco químico (IARC, 2020; OSHA, 2012).

Figura 16 – Frequência dos dez produtos químicos mais recorrentes nos laboratórios, destacando ácidos minerais e solventes orgânicos associados a riscos ocupacionais e potencial de uso dual



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

No grupo intermediário, o tolueno, ácido nítrico e fenolftaleína concentram cerca de 15-18% das ocorrências. O tolueno é um solvente inflamável com reconhecido efeito neurotóxico; o ácido nítrico combina corrosividade extrema e potencial explosivo, sendo também precursor de compostos de interesse ilícito; e a fenolftaleína, embora largamente empregada como indicador, é classificada como potencial carcinogênica em exposições prolongadas (IARC, 2020).

Já os compostos dicromato de potássio, ácido perclórico, cloreto de bário e paraformaldeído configuram o grupo de menor frequência relativa ($\approx 20\%$ do top 10), mas apresentam alto impacto dual use e toxicológico. O dicromato e o ácido perclórico, em particular, são oxidantes fortes com histórico de utilização em sínteses ilícitas e riscos explosivos quando mal armazenados. O cloreto de bário é tóxico sistêmico, com risco ambiental significativo se descartado de forma inadequada, enquanto o paraformaldeído é reconhecido por seus efeitos tóxicos e carcinogênicos, configurando vulnerabilidade ocupacional.

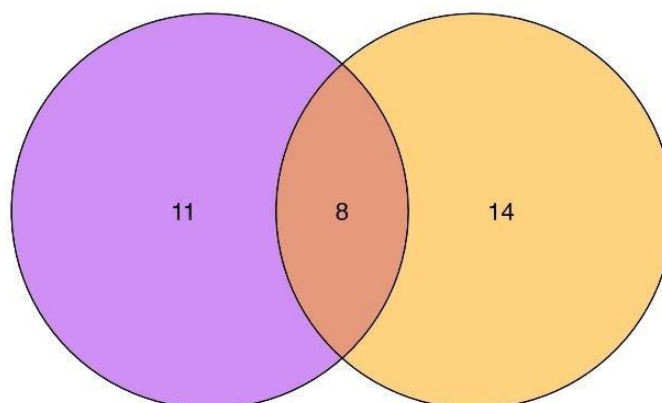
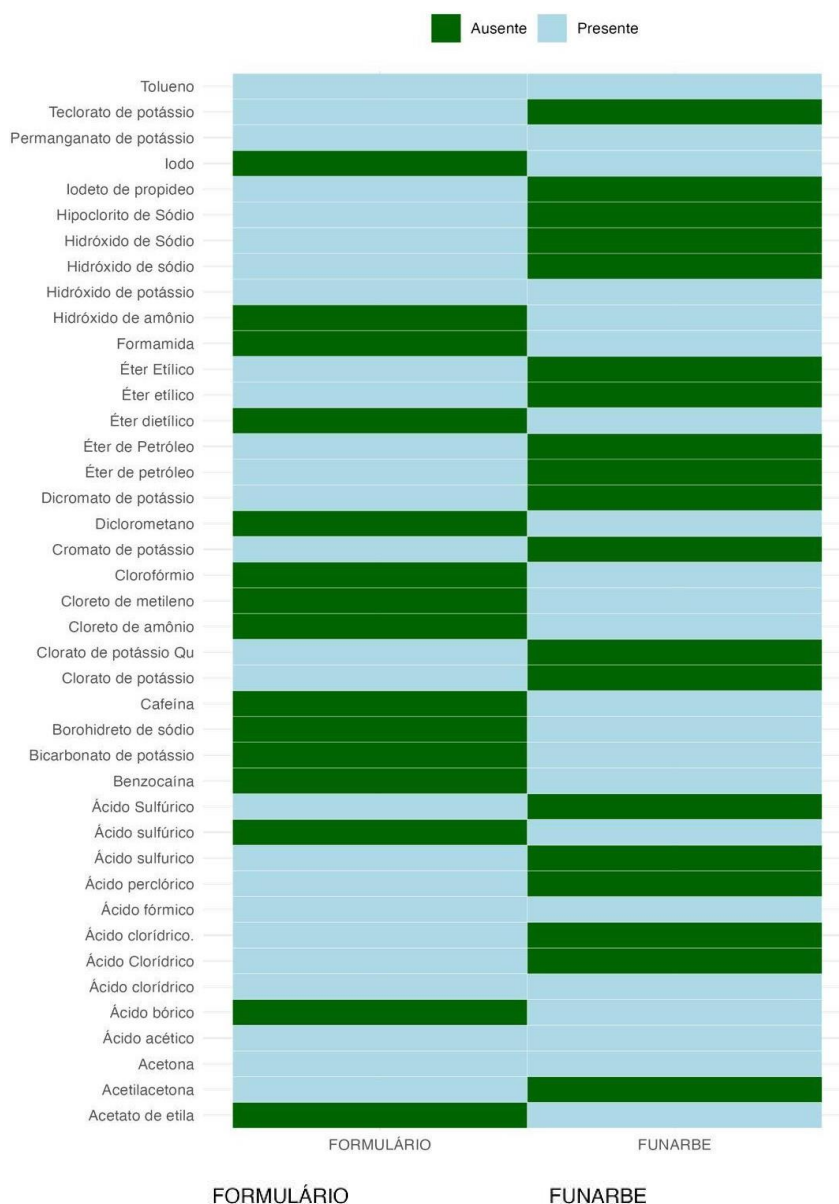
Do ponto de vista da gestão de resíduos, esses produtos reforçam a urgência de evitar a formação de resíduos passivos, definidos como substâncias perigosas armazenadas por longos períodos, sem destinação, em frascos deteriorados ou fora da validade. Além de implicações ambientais — como a contaminação de solo e água subterrânea por solventes halogenados e metais pesados —, a destinação tardia gera custos até dez vezes maiores que a coleta periódica (Machado; Fonseca, 2022).

No cenário nacional, estudos em instituições como a USP, UFRJ e UFMG apontam resultados semelhantes, com ácidos minerais e solventes voláteis entre os principais resíduos críticos (Ribeiro *et al.*, 2022; Souza *et al.*, 2023). Entretanto, ao contrário de algumas IFES que possuem programas institucionais obrigatórios de coleta, na UFV o descarte ainda é voluntário, transferindo ao DAM (Departamento de Meio Ambiente) a responsabilidade de centralizar demandas, mas sem instrumentos regulatórios específicos para pesquisa, já que a RDC nº 222/2018 (ANVISA) normatiza apenas resíduos de serviços de saúde.

Portanto, os resultados da Figura 16 reforçam a necessidade de políticas internas robustas, alinhadas aos princípios do Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM) e ao atual Global Framework on Chemicals (UNEP, 2022), para garantir não apenas a biossegurança e a custódia, mas também a sustentabilidade institucional, evitando riscos de acidentes, sanções legais e danos ambientais irreversíveis.

A Figura 17 apresenta a sobreposição de produtos químicos identificados por dois sistemas distintos: o levantamento realizado via formulário Jotform, diretamente junto aos coordenadores de laboratórios, e o banco de dados da FUNARBE, responsável pela gestão de aquisições vinculadas a projetos de pesquisa e convênios. Observa-se que apenas oito substâncias ($\approx 24\%$) coincidem entre os dois registros, enquanto 11 ($\approx 33\%$) aparecem exclusivamente no formulário e 14 ($\approx 43\%$) apenas na FUNARBE. Essa discrepância revela fragmentação administrativa e a ausência de um sistema integrado de rastreabilidade.

Figura 17 – Comparação entre produtos químicos registrados em sistemas laboratoriais e administrativos, evidenciando inconsistências e falhas na rastreabilidade institucional



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A Figura 17 apresenta a comparação entre os produtos químicos informados pelos laboratórios via formulário Jotform e os registros administrativos da FUNARBE, que atua como uma das principais portas de entrada para aquisição de insumos por meio de projetos de pesquisa e convênios. Observa-se que apenas oito substâncias coincidem entre os dois conjuntos, enquanto onze aparecem exclusivamente no formulário e quatorze apenas nos registros da FUNARBE. Essa discrepância demonstra de forma clara a fragmentação administrativa e a ausência de um sistema integrado de rastreabilidade que assegure a visibilidade completa do ciclo de vida dos produtos químicos no contexto universitário.

A existência de múltiplos canais de aquisição — como convênios, compras institucionais, parcerias externas, editais de fomento e aquisições diretas realizadas pelos próprios laboratórios —, embora viabilize a diversidade de pesquisas, cria um mosaico desarticulado de registros. Essa pulverização administrativa dificulta o acompanhamento dos produtos desde sua entrada até a etapa de descarte, ampliando vulnerabilidades de biossegurança, custódia e sustentabilidade. No plano da biossegurança, a ausência de inventários unificados favorece tanto a duplicação de compras quanto a subnotificação de substâncias críticas, aumentando riscos de acidentes por superposição de estoques. Do ponto de vista da custódia, a fragmentação dificulta a rastreabilidade de substâncias classificadas como de uso dual, como clorofórmio, dicromato de potássio, permanganato de potássio e acetona, as quais podem ser desviadas para usos ilícitos em sínteses clandestinas, adulteração de combustíveis ou mesmo fabricação de artefatos explosivos.

Outro ponto crítico identificado é a formação de resíduos passivos. Ao não existir controle institucional efetivo, substâncias permanecem armazenadas por longos períodos em frascos deteriorados, sem identificação ou destinação final adequada. Esse fenômeno, já descrito em estudos realizados em universidades brasileiras (Machado; Fonseca, 2022; Lopes; Moura; Souza, 2023), gera impactos ambientais pela contaminação do solo e da água, riscos de bioacumulação de metais pesados e solventes halogenados, além de custos financeiros significativamente mais altos para a destinação emergencial, que pode chegar a dez vezes o valor da coleta periódica. Institucionalmente, a manutenção de passivos expõe as universidades a multas, sanções e perdas de credibilidade em auditorias externas.

Comparando com o cenário internacional, verifica-se que instituições como o Massachusetts Institute of Technology (MIT) nos Estados Unidos e a Universidade de

Cambridge no Reino Unido operam com sistemas integrados de Chemical Inventory Management, vinculados às autorizações de compra, protocolos de uso e procedimentos de descarte. Esses sistemas asseguram rastreabilidade completa dos insumos e permitem auditorias contínuas, o que fortalece a custódia e reduz drasticamente os riscos de desvios e formação de resíduos passivos (OECD, 2021; Kelly; Moran, 2022). No Brasil, por outro lado, a regulamentação segue limitada: a RDC nº 222/2018 da ANVISA dispõe sobre o gerenciamento de resíduos químicos em serviços de saúde, mas não contempla o contexto das instituições de ensino e pesquisa. Essa lacuna normativa cria um vazio regulatório que obriga cada IFES a desenvolver procedimentos internos, geralmente frágeis, desarticulados e sem respaldo legal robusto.

Diante desse cenário, o mapeamento exposto na Figura 17 não apenas evidencia as fragilidades estruturais na gestão de produtos químicos, como também aponta para a necessidade urgente de integração entre sistemas institucionais e administrativos. A ausência de uma plataforma unificada impede que a universidade tenha visão clara sobre quais substâncias entram, circulam e permanecem nos laboratórios. Tal condição compromete tanto a biossegurança quanto a sustentabilidade ambiental e financeira, ao mesmo tempo em que fragiliza a custódia, deixando em aberto a possibilidade de desvios de substâncias críticas para usos ilícitos.

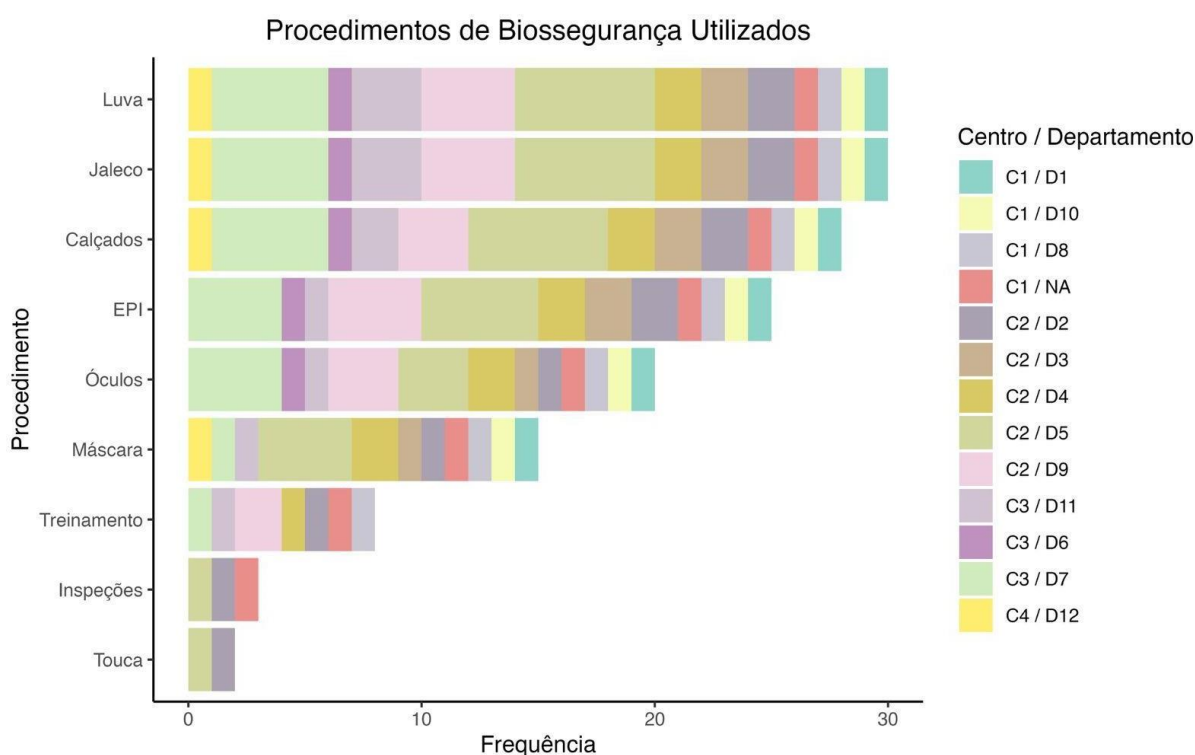
Superar essas lacunas exige medidas estruturantes. Primeiramente, a implantação de inventários digitais integrados, capazes de consolidar dados da FUNARBE, dos laboratórios e de outros setores administrativos, deve ser considerada estratégica. Além disso, auditorias periódicas com foco em substâncias de uso dual são indispensáveis para garantir a rastreabilidade de insumos sensíveis. Também se faz necessária a normatização específica para o gerenciamento de químicos em instituições de ensino e pesquisa, suprimindo o vazio regulatório deixado pela legislação nacional. Por fim, é fundamental adotar a perspectiva do ciclo de vida, assegurando que cada insumo seja monitorado desde sua aquisição até sua destinação final, evitando tanto desvios quanto a perpetuação de passivos ambientais.

Portanto, a análise da Figura 17 confirma que a multiplicidade de portas de entrada de insumos químicos, sem integração tecnológica e administrativa, representa uma das principais fragilidades da governança química nas instituições federais de ensino superior. Essa vulnerabilidade não apenas compromete a segurança

institucional e a sustentabilidade ambiental, como também coloca em xeque a responsabilidade social das universidades públicas brasileiras diante de riscos associados ao desvio e ao uso indevido de substâncias químicas de alta periculosidade.

A Figura 18 ilustra a distribuição dos procedimentos de biossegurança utilizados nos laboratórios de ensino e pesquisa da UFV, discriminados por centro e departamento. Observa-se que o uso de luvas ($\approx 95\%$ dos laboratórios) e jalecos ($\approx 90\%$) é quase universal, seguido por calçados fechados ($\approx 85\%$) e óculos de proteção ($\approx 70\%$). Entretanto, a adesão a procedimentos como máscaras ($\approx 60\%$), treinamentos formais ($\approx 35\%$), inspeções periódicas ($\approx 15\%$) e toucas ($\approx 10\%$) é consideravelmente menor, revelando lacunas críticas na gestão da biossegurança.

Figura 18 – Distribuição dos procedimentos de biossegurança por departamento, com alta adesão a EPI básicos e baixa implementação de treinamentos e inspeções formais



Em termos de distribuição entre centros/departamentos:

- C2/D5 e C3/D7 concentram aproximadamente 20% dos registros de uso de EPI, refletindo maior adesão a procedimentos formais.

- C2/D9 e C3/D11 aparecem com cerca de 15% cada, evidenciando uso expressivo, mas ainda irregular.
- C1/D1, C1/D8 e C4/D12 representam conjuntamente 10%, com ênfase em EPI básicos (luva, jaleco, calçado), mas baixo registro de inspeções e treinamentos.
- Departamentos menores (C2/D2, C2/D3, C2/D4, C3/D6) somam 20% da amostra, mas apresentam forte heterogeneidade, com alguns relatando apenas uso de barreiras físicas, sem registros de capacitação formal.

Essa distribuição revela que a adesão é fragmentada e desigual entre unidades, o que reflete a descentralização da governança da biossegurança na universidade.

Do ponto de vista normativo, a NR-6 estabelece que o fornecimento e treinamento em EPI são obrigações do empregador; contudo, em instituições de ensino, a aplicação prática é falha, pois alunos (usuários majoritários) não têm vínculo empregatício. Já a NR-32 e a RDC 222/2018 estabelecem diretrizes para biossegurança em ambientes de saúde, mas não cobrem de forma específica os laboratórios acadêmicos. Esse vazio normativo cria uma condição em que o fornecimento de EPI recai sobre projetos de pesquisa ou sobre os próprios estudantes, gerando assimetrias de proteção.

Outro ponto crítico é a baixa adesão a inspeções (15%) e treinamentos (35%), em contraste com padrões internacionais. A Occupational Safety and Health Administration (2012) e a European Biosafety Association (2022) estabelecem a obrigatoriedade de auditorias internas e treinamentos regulares, vinculados inclusive à manutenção de financiamentos de pesquisa. A ausência desses mecanismos nas IFES brasileiras reforça a vulnerabilidade institucional, uma vez que os EPIs, por si só, não são suficientes para mitigar riscos sem capacitação e monitoramento sistemático.

Do ponto de vista crítico, a Figura 18 revela três fragilidades principais:

- Prevalência do uso de barreiras individuais, sem integração a políticas institucionais robustas.
- Desigualdade entre centros/departamentos, o que dificulta padronização e compromete a cultura organizacional de biossegurança.
- Ausência de mecanismos formais de auditoria e treinamento contínuo, perpetuando uma abordagem reativa em vez de preventiva.

Assim, ainda que a presença de luvas e jalecos seja um ponto positivo, a análise reforça que biossegurança não pode ser reduzida a equipamentos: deve envolver educação, governança e fiscalização estruturada, sob risco de se perpetuar a falsa percepção de segurança.

A Figura 18 apresenta os procedimentos de biossegurança relatados pelos diferentes centros e departamentos, destacando a frequência de uso de itens como luvas, jalecos, calçados fechados, demais Equipamentos de Proteção Individual (EPI), óculos de proteção, máscaras, treinamentos, inspeções e toucas. O gráfico evidencia que luvas e jalecos são os itens mais utilizados, seguidos de calçados e óculos de proteção, enquanto treinamentos, inspeções regulares e uso de toucas apresentam baixa adesão.

Esse cenário reflete uma tendência já identificada em instituições de ensino superior: a priorização de barreiras individuais imediatas, como luvas e jalecos, em detrimento de medidas estruturais e preventivas de caráter coletivo, como treinamentos periódicos e inspeções institucionais (Soares *et al.*, 2021; Silva; Lima, 2023). Tal configuração cria uma assimetria na gestão do risco, onde a responsabilidade recai quase exclusivamente sobre o usuário, fragilizando a cultura de biossegurança e reduzindo a eficácia global dos protocolos.

Do ponto de vista normativo, a NR-32 (Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde) estabelece que a utilização de EPI deve ser acompanhada de treinamento adequado, avaliação de riscos e medidas de proteção coletiva. Entretanto, no contexto acadêmico, a ausência de uma norma equivalente direcionada a laboratórios de ensino e pesquisa cria um vazio regulatório. A NR-6 (Equipamento de Proteção Individual) reforça a obrigatoriedade de fornecimento, treinamento e fiscalização pelo empregador, mas a aplicação prática nas universidades públicas é dificultada pela descentralização administrativa e pela ausência de comissões internas de acompanhamento contínuo.

Outro ponto crítico é a baixa frequência de inspeções formais, que deveriam ser conduzidas regularmente por Comissões Internas de Biossegurança (CIBio) ou por órgãos de segurança institucional. A literatura aponta que a ausência dessas inspeções está diretamente associada ao aumento de acidentes laboratoriais e à subnotificação de incidentes (Oliveira *et al.*, 2020; García *et al.*, 2022). Em comparação internacional, universidades norte-americanas e europeias adotam

protocolos obrigatórios de auditoria interna, frequentemente vinculados ao cumprimento de normas da OSHA e da EBSA.

A baixa adesão a treinamentos regulares também se mostra preocupante. Dados da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) ressaltam que treinamentos contínuos são essenciais para internalizar comportamentos seguros e reduzir falhas humanas, responsáveis por mais de 70% dos acidentes em laboratórios. No Brasil, ainda prevalece uma abordagem reativa, em que treinamentos são realizados apenas após incidentes, o que compromete a prevenção e perpetua uma cultura institucional frágil frente à biossegurança.

Em termos de pontos fortes, nota-se a alta frequência no uso de luvas, jalecos e calçados, que garante uma barreira física mínima contra exposição direta. Contudo, a fragilidade está na baixa integração entre EPI e políticas institucionais robustas de biossegurança. Sem inspeções, monitoramento e educação continuada, esses equipamentos funcionam de maneira isolada e limitada, não configurando um sistema de proteção eficaz.

Por fim, a análise da Figura 18 reforça a necessidade urgente de:

- Normatização específica para laboratórios acadêmicos, suprimindo o vazio regulatório que deixa a biossegurança dependente de normas de saúde e trabalho pensadas para outros contextos.
- Implantação de treinamentos regulares e obrigatórios, documentados e auditáveis.
- Fortalecimento das comissões institucionais de biossegurança, garantindo inspeções periódicas e padronizadas.
- Integração entre proteção individual e medidas coletivas, promovendo uma cultura de biossegurança e biocustódia alinhada a padrões internacionais.

Em síntese, a Figura 18 demonstra que, embora haja adesão elevada a EPI básicos, persiste uma lacuna crítica no acompanhamento sistemático, fiscalização e capacitação institucional, o que compromete a eficácia das práticas de biossegurança e expõe fragilidades que precisam ser sanadas para que as instituições de ensino brasileiras alcancem padrões de excelência e segurança compatíveis com os adotados internacionalmente.

6 DISCUSSÃO

6.1 Governança do ciclo de vida de produtos químicos em IFES: evidências empíricas e enquadramento conceitual

Os resultados desta pesquisa confirmam que a gestão do ciclo de vida de produtos químicos em uma instituição federal de ensino superior apresenta caráter heterogêneo, fragmentado e parcialmente formalizado, corroborando a Hipótese H1 e alinhando-se à literatura que descreve universidades como ambientes simultaneamente estratégicos e vulneráveis do ponto de vista da biossegurança e da governança institucional (WHO, 2020; Perkins *et al.*, 2021).

Conforme discutido na Revisão Bibliográfica (Seção 2), a gestão de produtos químicos em laboratórios universitários extrapola requisitos técnicos isolados de armazenamento e descarte, exigindo uma abordagem sistêmica que integre inventário, rastreabilidade, controle de acesso, comunicação de perigos, mitigação de riscos e cultura organizacional. Os achados empíricos indicam que, na prática, tais dimensões tendem a ser tratadas de forma desconectada, com forte dependência de iniciativas locais e individuais dos laboratórios, em detrimento de uma governança institucional integrada.

Essa desconexão confirma o paradoxo apontado na literatura: universidades concentram grande diversidade de substâncias químicas e capacidades técnicas, mas operam sob modelos de governança que privilegiam autonomia acadêmica, dificultando a padronização de práticas críticas de segurança e sustentabilidade (Kelly; Moran, 2020; Hess, 2021).

6.1.1 Inventário, rastreabilidade e biocustódia: confirmação das hipóteses H1 e H2

Os resultados referentes a inventário e rastreabilidade evidenciam fragilidades estruturais consistentes, especialmente quando analisados à luz dos princípios de gestão de riscos da ISO 31000 e da abordagem de custódia discutida na Seção 2.6.

A baixa coincidência entre os dados obtidos via survey e os registros administrativos (aproximadamente 24%) indica a inexistência de um inventário institucional unificado e auditável, confirmando a Hipótese H2, segundo a qual há

oportunidades claras de aprimoramento na rastreabilidade, com potenciais ganhos de segurança, conformidade e sustentabilidade.

A literatura internacional aponta que inventários fragmentados e descentralizados reduzem a capacidade institucional de:

- avaliar riscos de forma agregada,
- responder a emergências,
- prevenir perdas e desvios,
- mitigar a formação de resíduos passivos (WHO, 2020; OECD, 2022).

No caso analisado, a presença de múltiplas portas de entrada para aquisição de produtos químicos — incluindo compras via diferentes sistemas, fundações de apoio, convênios e cartão pesquisador — compromete a rastreabilidade ao longo do ciclo de vida, criando inventários paralelos e dificultando a prestação de contas regulatória. Esse cenário é amplamente descrito como fator crítico de vulnerabilidade institucional em ambientes acadêmicos, sobretudo em países em desenvolvimento (Lentzos, 2016; Perkins *et al.*, 2021).

6.1.2 Armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos: evidências da fragmentação operacional

A análise dos resultados relacionados ao armazenamento, segregação por compatibilidade e rotulagem confirma que práticas técnicas fundamentais da biossegurança química são aplicadas de maneira inconsistente entre laboratórios, reforçando a Hipótese H1 e dialogando diretamente com os referenciais apresentados na Seção 2.7.

A organização de reagentes por critérios alfabéticos, a ausência ou desatualização de FDS/FISPQ e a rotulagem incompleta de frascos secundários indicam que a comunicação de perigos — elemento central do GHS — não está plenamente incorporada como rotina institucional. Tais achados são consistentes com estudos nacionais e internacionais que apontam a predominância de abordagens reativas e informais em universidades, especialmente na ausência de auditorias periódicas e treinamento contínuo (Silva *et al.*, 2022; WHO, 2020).

Do ponto de vista da governança de riscos, essas fragilidades não devem ser interpretadas como falhas individuais, mas como expressão de um modelo

organizacional que não internalizou a segurança química como valor institucional estruturante. A literatura enfatiza que armazenamento e compatibilidade química só se sustentam quando acompanhados de inspeção, responsabilização e cultura de segurança — elementos ainda incipientes no contexto analisado.

6.1.3 Descarte, resíduos passivos e sustentabilidade: confirmação da Hipótese H3

Os resultados relacionados às rotinas de descarte e à formação de resíduos passivos reforçam a Hipótese H3, evidenciando que a integração entre requisitos ocupacionais, ambientais e de proteção institucional permanece limitada.

Conforme discutido na Seção 2.8, a gestão inadequada do descarte de resíduos químicos em universidades tende a gerar impactos que extrapolam o campo ambiental, incluindo riscos ocupacionais, passivos financeiros e danos reputacionais. Os dados analisados indicam que o armazenamento prolongado de resíduos perigosos, associado à ausência de planejamento de destinação, é prática recorrente, fenômeno amplamente descrito na literatura sobre sustentabilidade em IFES (Pereira *et al.*, 2023; Machado; Fonseca, 2022).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos e a Agenda 2030 estabelecem diretrizes claras para a gestão sustentável do ciclo de vida de produtos químicos. Entretanto, os resultados mostram que, sem governança institucional integrada e financiamento adequado, essas políticas permanecem de difícil operacionalização no ambiente universitário, reforçando o caráter estrutural — e não pontual — das fragilidades observadas.

6.1.4 Substâncias de uso dual e proteção institucional: confirmação da Hipótese H4

A identificação de substâncias com potencial de uso dual em diversos laboratórios confirma a Hipótese H4, sem, contudo, indicar a existência de riscos intencionais ou práticas ilícitas. Os achados devem ser interpretados sob a ótica da proteção institucional, conforme discutido na Seção 2.10.

A literatura de bioproteção e DURC enfatiza que o risco institucional não decorre apenas da presença de substâncias sensíveis, mas da ausência de controles proporcionais à sua criticidade (WHO, 2020; NSABB, 2023). No contexto analisado, os resultados indicam que substâncias controladas ou de interesse dual são geridas

sob os mesmos critérios aplicados a reagentes comuns, sem camadas adicionais de custódia, controle de acesso ou reconciliação periódica.

Esse cenário é consistente com diagnósticos realizados em outras universidades latino-americanas e reforça a necessidade de diferenciar níveis de controle dentro do inventário institucional, sem comprometer a atividade científica legítima. Trata-se, portanto, de uma vulnerabilidade não intencional, mas estrutural, associada à ausência de políticas claras de custódia e governança de risco.

6.1.5 Cultura de biossegurança e fatores humanos: elemento transversal aos resultados

Os resultados relacionados à capacitação, uso de EPIs, inspeções e manutenção preventiva confirmam que a cultura de biossegurança permanece predominantemente reativa, reforçando observações discutidas na Seção 2.9.

A literatura internacional é consistente ao afirmar que fatores humanos são determinantes para o sucesso de qualquer sistema de gestão de riscos em laboratório (WHO, 2020; OECD, 2022). A predominância de treinamentos pontuais, a ausência de auditorias regulares e a transferência informal de responsabilidades para técnicos e estudantes indicam que a biossegurança ainda não foi plenamente incorporada ao ethos institucional.

Esse aspecto é central para a interpretação dos resultados: fragilidades técnicas e documentais são amplificadas por lacunas culturais e organizacionais, dificultando a consolidação de inventários confiáveis, rastreabilidade efetiva e práticas sustentáveis.

6.1.6 Síntese integradora da discussão

De forma integrada, os resultados confirmam que:

- as Hipóteses H1, H2 e H4 foram plenamente corroboradas,
- a Hipótese H3 foi confirmada de forma consistente, evidenciando espaço significativo para fortalecimento da governança institucional.

A análise demonstra que os desafios observados não decorrem de ausência normativa, mas da fragmentação entre normas, sistemas e práticas, conforme

antecipado na revisão bibliográfica. As evidências reforçam a necessidade de transição de um modelo reativo e descentralizado para um modelo institucional de governança do ciclo de vida de produtos químicos, orientado por risco, custódia e sustentabilidade.

6.1.7 Integração entre Governança Química em IFES, QBRN e Defesa Nacional

A Nota Técnica SB3 01/2026 destaca que falhas na percepção de risco, na gestão de pessoas e na governança institucional configuram vetores críticos de vulnerabilidade no contexto de ameaças QBRN, sobretudo quando riscos de baixa frequência e alto impacto são tratados como abstratos ou improváveis.

O documento enfatiza que a prevenção de eventos deliberados ou acidentais exige abordagem antecipatória, sistêmica e baseada em risco, centrada não apenas em barreiras físicas, mas na estruturação de processos, definição de responsabilidades e fortalecimento da cultura institucional.

Nesse contexto, a presente tese dialoga diretamente com essas reflexões ao analisar a gestão do ciclo de vida de produtos químicos — controlados e não controlados — em Instituições Federais de Ensino Superior (IFES), identificando a presença de substâncias com potencial de uso dual (DURC) e a inexistência de mecanismos integrados de rastreabilidade institucional. A ausência de inventários digitais centralizados, de controle sistemático de acesso e de monitoramento formal de entrada e saída de bens sensíveis revela uma vulnerabilidade estrutural compatível com o que a Nota Técnica caracteriza como baixa percepção de risco organizacional.

Sob a perspectiva QBRN, laboratórios acadêmicos que manipulam substâncias com potencial tóxico ou dual-use podem ser compreendidos como ambientes sensíveis cuja governança inadequada amplia riscos sistêmicos. A pesquisa demonstra que a fragmentação normativa — distribuída entre eixos trabalhistas, ambientais, sanitários e policiais — não se traduz, no nível institucional, em um modelo integrado de governança química. Tal lacuna regulatória reforça a necessidade de políticas públicas específicas voltadas à proteção de bens sensíveis em ambiente acadêmico.

A contribuição da tese para a Defesa Nacional, portanto, situa-se na dimensão preventiva e estrutural. Ao propor inventários digitais, controle de acesso e

rastreabilidade do ciclo de vida de produtos químicos, a pesquisa atua na mitigação de vulnerabilidades relacionadas a desvios, uso ilícito e potencial instrumentalização bélica de substâncias químicas. Essa abordagem converge com a lógica defendida pela SB3 de que a gestão de risco deve anteceder o incidente, sendo construída na forma como instituições estruturam seus processos e responsabilidades.

Assim, ao fortalecer a governança química em IFES, a tese contribui não apenas para a biossegurança e a bioproteção institucional, mas também para a consolidação de uma cultura nacional de segurança química alinhada à prevenção de ameaças QBRN e ao fortalecimento da capacidade estatal de controle de bens sensíveis estratégicos.

Essa discussão estabelece a base analítica para as Conclusões e Recomendações, nas quais serão sistematizadas propostas alinhadas a referenciais internacionais e à realidade operacional das IFES brasileiras.

7 CONCLUSÃO

A presente tese analisou as condições de gestão de produtos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa de uma instituição federal de ensino superior, sob as perspectivas da biossegurança, da custódia e da sustentabilidade, com foco na governança do ciclo de vida desses insumos. O estudo partiu do pressuposto de que universidades, embora desempenhem papel estratégico na produção científica, operam em contextos organizacionais caracterizados por elevada autonomia laboratorial, rotatividade de usuários e fragmentação administrativa, fatores que podem ampliar vulnerabilidades institucionais quando não acompanhados de mecanismos estruturados de governança.

À luz do objetivo geral proposto, os resultados demonstram que a gestão do ciclo de vida de produtos químicos na instituição analisada apresenta fragilidades estruturais, expressas pela ausência de integração entre inventários, sistemas de aquisição e registros de descarte, bem como pela aplicação heterogênea de práticas de armazenamento, comunicação de perigos e mitigação de riscos. Essas fragilidades não se configuram como falhas pontuais ou individuais, mas como características sistêmicas, coerentes com o padrão descrito na literatura para ambientes acadêmicos de pesquisa.

No que se refere aos objetivos específicos, constatou-se que:

- o inventário de produtos químicos não constitui um instrumento institucional consolidado, operando de forma descentralizada e incompleta, o que limita a rastreabilidade, dificulta auditorias internas e reduz a capacidade de avaliação integrada de riscos;
- as práticas de armazenamento, segregação por compatibilidade e rotulagem apresentam inconsistências relevantes, com impacto direto sobre a segurança ocupacional e a resposta a emergências, em desacordo com referenciais técnicos amplamente reconhecidos;
- os fluxos de descarte e destinação de resíduos químicos revelam tendência à formação de resíduos passivos, indicando que a gestão ambiental não está plenamente integrada às etapas iniciais do ciclo de vida dos insumos;
- substâncias com potencial de uso dual estão presentes em diversos laboratórios sem a adoção sistemática de camadas adicionais de custódia, controle de acesso

ou reconciliação periódica, configurando vulnerabilidades institucionais não intencionais;

- **a cultura de biossegurança** permanece predominantemente reativa, com baixa institucionalização de treinamentos regulares, inspeções sistemáticas e auditorias, o que compromete a sustentabilidade das medidas técnicas existentes.

A análise das hipóteses formuladas confirma que as Hipóteses H1, H2 e H4 foram corroboradas, enquanto a Hipótese H3 foi confirmada de forma consistente, evidenciando que a fragmentação normativa, a ausência de integração sistêmica e a fragilidade cultural constituem eixos centrais das vulnerabilidades identificadas.

De forma integrada, os resultados indicam que o principal desafio enfrentado pela instituição não reside na inexistência de marcos regulatórios, mas na dificuldade de operacionalizar, de maneira coordenada, normas, sistemas e práticas ao longo do ciclo de vida dos produtos químicos. A coexistência de múltiplas portas de entrada, inventários paralelos e responsabilidades difusas compromete tanto a segurança quanto a sustentabilidade institucional.

Considerando a ainda incipiente produção científica oriunda de outras Instituições Federais de Ensino Superior (IFES) acerca da gestão de produtos químicos, observa-se que a governança desses insumos estratégicos se encontra em estágio de consolidação institucional, marcado por assimetrias normativas, fragmentação administrativa e heterogeneidade procedimental. Tal configuração revela a prevalência de práticas predominantemente conformativas, orientadas pelo atendimento formal de exigências regulatórias, sem a devida incorporação de modelos estruturantes ancorados em gestão prospectiva de riscos, rastreabilidade integral ao longo do ciclo de vida e sistemas robustos de monitoramento, avaliação e melhoria contínua. O fortalecimento dessa governança, portanto, não se circunscreve à esfera da biossegurança e da conformidade ambiental, mas assume caráter estruturante para a integridade institucional, a mitigação de passivos contingenciais — ambientais, financeiros e reputacionais — e a consolidação da credibilidade científica das universidades públicas brasileiras em um contexto de crescente escrutínio regulatório e responsabilidade social ampliada.

8 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos e nas conclusões apresentadas, esta tese propõe um conjunto de recomendações estruturadas em eixos complementares, com o objetivo de fortalecer a governança do ciclo de vida de produtos químicos em instituições federais de ensino superior, promovendo biossegurança, biocustódia e sustentabilidade de forma integrada.

8.1 Fortalecimento da governança institucional e integração sistêmica

Recomenda-se que a instituição implemente um modelo institucional integrado de gestão de produtos químicos, superando a fragmentação atualmente observada entre laboratórios, departamentos e setores administrativos. Esse modelo deve contemplar:

- a consolidação de um inventário digital centralizado, com atualização obrigatória e padronizada por todas as unidades laboratoriais;
- a integração entre sistemas de compras, recebimento, armazenamento e descarte, de modo a assegurar rastreabilidade ao longo de todo o ciclo de vida dos insumos;
- a definição clara de responsabilidades institucionais, com papéis atribuídos a unidades técnicas, administrativas e acadêmicas, evitando a personalização excessiva da gestão.

Essa integração é fundamental para reduzir inconsistências, prevenir perdas e permitir uma visão sistêmica dos riscos químicos em nível institucional.

8.2 Inventário, rastreabilidade e custódia de produtos sensíveis

Considerando a presença de substâncias perigosas e de potencial uso dual em ambientes acadêmicos, recomenda-se o fortalecimento da custódia institucional, entendida como um conjunto de práticas de controle e rastreabilidade aplicáveis a produtos químicos críticos. Nesse sentido, sugere-se:

- adoção de inventário por frasco, com identificação única (ex.: código de barras ou QR code);

- estabelecimento de porta única institucional de recebimento de produtos químicos, reduzindo múltiplas entradas paralelas;
- implementação de registros de movimentação (entrada, uso, transferência e descarte), especialmente para substâncias controladas ou de maior criticidade;
- realização de auditorias periódicas e reconciliações de estoque, com frequência proporcional ao nível de risco.

Essas medidas contribuem para a prevenção de extravios, usos indevidos e inconsistências documentais, fortalecendo a proteção institucional.

8.3 Padronização de práticas operacionais e comunicação de perigos

Recomenda-se a padronização institucional das práticas relacionadas a armazenamento, compatibilidade química e comunicação de perigos, por meio de:

- alinhamento sistemático às normas técnicas vigentes (GHS, ABNT NBR 14725 e correlatas);
- exigência de rotulagem completa e atualizada em frascos primários e secundários;
- disponibilização acessível de FDS/FISPQ atualizadas nos ambientes laboratoriais;
- definição de critérios institucionais mínimos para segregação e acondicionamento de substâncias incompatíveis.

A padronização dessas práticas reduz a variabilidade entre laboratórios e aumenta a previsibilidade e a segurança operacional.

8.4 Gestão de resíduos químicos e sustentabilidade institucional

No eixo ambiental, recomenda-se que a gestão de resíduos químicos seja incorporada como componente estratégico da governança do ciclo de vida, e não apenas como etapa final. Para tanto, sugere-se:

- integração entre inventário de reagentes e planejamento de descarte, reduzindo a formação de resíduos passivos;
- revisão periódica de estoques antigos e obsoletos;
- fortalecimento da articulação entre laboratórios e setores responsáveis pela destinação;
- adoção de indicadores de desempenho ambiental e financeiro associados à gestão de resíduos.

Essas ações contribuem para a redução de riscos ambientais, custos emergenciais e passivos institucionais.

8.5 Capacitação contínua e fortalecimento da cultura de biossegurança

Diante da centralidade dos fatores humanos, recomenda-se a implementação de programas contínuos e institucionais de capacitação, contemplando:

- treinamentos regulares e obrigatórios para estudantes, técnicos e docentes, com conteúdos adaptados aos níveis de risco;
- reciclagens periódicas e condicionamento do acesso a laboratórios à comprovação de capacitação;
- inspeções internas e auditorias educativas, com enfoque preventivo e formativo;
- estímulo à notificação de incidentes e quase-acidentes, promovendo aprendizagem organizacional.

O fortalecimento da cultura de biossegurança é condição essencial para a sustentabilidade das medidas técnicas e administrativas propostas.

8.6 Articulação normativa e alinhamento a boas práticas internacionais

Por fim, recomenda-se que a instituição avance na articulação entre normativas nacionais e referenciais internacionais, buscando:

- alinhar suas práticas a modelos consolidados de gestão de riscos (ISO 31000) e auditorias (ISO 19011);
- incorporar boas práticas internacionais de Chemical Inventory Management adaptadas à realidade das IFES;
- fomentar diálogo institucional com órgãos reguladores e agências de fomento, contribuindo para o amadurecimento de políticas nacionais específicas para laboratórios de ensino e pesquisa.

Esse alinhamento amplia a robustez da governança institucional e posiciona a universidade de forma proativa frente às demandas contemporâneas de segurança, sustentabilidade e responsabilidade científica.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese demonstra que a governança de produtos químicos nas universidades brasileiras ainda se encontra em estágio incipiente, marcada por fragmentação normativa, ausência de integração sistêmica e fragilidade cultural em biossegurança. Ao mesmo tempo, evidencia que há condições institucionais para o avanço: estruturas já existentes podem ser fortalecidas, tecnologias digitais podem ser adotadas e práticas internacionais podem ser adaptadas à realidade nacional.

Como proposta de aprimoramento alinhada ao fortalecimento da biossegurança e ao uso racional das estruturas institucionais já existentes, este estudo sugere a implementação de ações integradas de capacitação e controle administrativo. No âmbito da formação acadêmica, a oferta de treinamento em modalidade de Ensino a Distância (EAD) em biossegurança e segurança química, seguido de avaliação de aprendizagem, poderia ser considerada como etapa prévia para a efetivação da matrícula de estudantes em atividades laboratoriais no sistema acadêmico institucional.

De forma complementar, no que se refere à aquisição de produtos químicos, a integração entre os sistemas institucionais pode ser fortalecida mediante a vinculação da solicitação de compra à atualização prévia do inventário de produtos químicos nos laboratórios. Tal estratégia favorece o acompanhamento do ciclo de vida dos produtos químicos, amplia a rastreabilidade e a custódia e contribui para a gestão de resíduos químicos pelo Departamento de Meio Ambiente (DAM).

Essas medidas não pressupõem a criação de novas estruturas institucionais, mas sim o aprimoramento da comunicação entre sistemas já consolidados, podendo apoiar a sustentabilidade financeira e ambiental da universidade e fortalecer a aderência às políticas públicas relacionadas à segurança química e à governança responsável da ciência.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Mortes por bebidas adulteradas com metanol são confirmadas em São Paulo**. Brasília: EBC, 2024.

AGÊNCIA BRASIL. **Brasil registra casos e mortes por intoxicação por metanol em São Paulo**. Agência Brasil, 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br>. Acesso em: 25 abr. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTES. **Resolução nº 5.947, de 1º de junho de 2021**. Atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e aprova as suas Instruções Complementares, e dá outras providências. Disponível em: https://antilegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&tipo=RES&numeroAto=00005947&seqAto=000&valorAno=2021&orgao=DG/ANTT/MI&codTipo=&desltem=&desltemFim=&cod_menu=5408&cod_modulo=161&pesquisa=true. Acesso em: 16 jan. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Portaria SVS/MS nº 344, de 12 de maio de 1998**. Aprova o regulamento técnico sobre substâncias e medicamentos sujeitos a controle especial. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1998/prt0344_12_05_1998_rep.html. Acesso em: 4 abr. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução-RE nº 09, de 16 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre a orientação técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_.pdf/8ccafc91-1437-4695-8e3a-2a97deca4e10. Acesso em: 10 abr. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 222, de 28 de março de 2018**. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento de Resíduos e Serviços de Saúde e dá outras providências. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2018/rdc0222_28_03_2018.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs)**. Cincinnati: ACGIH, 2021. Disponível em: <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/>. Acesso em: 21 fev. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17505: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. Disponível em: <https://static-sindirrefino-prod.s3.amazonaws.com/upload/noticias/00001643.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16725: Resíduo químico – informações sobre segurança e meio ambiente – ficha com dados de segurança de resíduos químicos (FDSR) e rotulagem**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/30346/abnt-nbr16725-residuo-quimico-perigoso-informacoes-sobre-seguranca-saude-e-meio-ambiente-ficha-com-dados-de-seguranca-de-residuos-fdsr-e-rotulagem>. Acesso em: 5 fev. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14725: Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente – Aspectos gerais do Sistema Globalmente Harmonizado (GHS), classificação, FDS e rotulagem de produtos químicos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/21459/abnt-nbr14725-produtos-quimicos-informacoes-sobre-seguranca-saude-e-meio-ambiente-aspectos-gerais-do-sistema-globalmente-harmonizado-ghs-classificacao-fds-e-rotulagem-de-produtos-quimicos>. Acesso em: 14 jul. 2024.

BOCCHINI, B. **São Paulo confirma cinco mortes em casos de intoxicação por metanol**. 30 set. 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2025-09/sao-paulo-confirma-cinco-mortes-em-casos-de-intoxicacao-por-metanol>. Acesso em: 3 out. 2025.

ATLAS, R.; REPPY, J. **Global biosecurity: threats and responses**. New York: Springer, 2020a.

ATLAS, R.; REPPY, J. Managing dual-use research: Biosecurity and the responsible conduct of science. **Science and Engineering Ethics**, v. 26, n. 2, p. 927-948, 2020b.

BECKER, M.; KATZ, J.; SMITH, R. Student participation in laboratory safety culture: a Canadian perspective. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 8, p. 1587- 1594, 2019.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 28 mar. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.112, de 10 de outubro de 1995**. Dispõe sobre a exportação de bens sensíveis e serviços diretamente vinculados. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9112.htm. Acesso em: 21 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998**. Dispõe sobre as medidas básicas referentes aos procedimentos de verificação visual do estado de limpeza, remoção de sujidades por métodos físicos e manutenção do estado de integridade e eficiência de todos os componentes dos sistemas de climatização, para garantir a qualidade do ar de interiores e prevenção de riscos à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html. Acesso em: 8 fev. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005**. Regulamenta os incisos II, IV e V do §1º do art. 225 da Constituição Federal, [...], e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm. Acesso em: 3 abr. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 5 mar. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.589, de 4 de janeiro de 2018**. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes. Disponível em: https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=13589&ano=2018&ato=e_b8MTWq1UeZpWTab5. Acesso em: 13 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Portaria nº 240, de 12 de março de 2019**. Estabelece procedimentos para o controle e a fiscalização de produtos químicos e define os produtos químicos sujeitos a controle pela Polícia Federal. Brasília: MJSP, 2019a. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/produtos-quimicos/legislacao/portaria-240.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **Portaria COLOG nº 118, de 4 de outubro de 2019**. Dispõe sobre a lista de Produtos Controlados pelo Exército e dá outras providências. Brasília: Exército Brasileiro/Comando Logístico, 2019b. Disponível em: <https://proadi.ufms.br/files/2020/09/Portaria-n%C2%BA-118-COLOG-de-4-Out-2019-Lista-de-PCE-1.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 10.030, de 30 de setembro de 2019**. Aprova o Regulamento de Produtos Controlados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2019c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D10030.htm. Acesso em: 30 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 32 (NR-32)**: Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde. Brasília: MTE, 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/ acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-32-atualizada-2022-2.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 6 (NR-6)**: Equipamentos de Proteção Individual. Brasília: MTE, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/ acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-6-nr-6>. Acesso em: 6 jun. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15)**: Atividades e Operações Insalubres. Brasília: MTE, 2020c. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-15-nr-15>. Acesso em: 15 jan. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 9 (NR-9)**: Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR). Brasília: MTE, 2020d. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-9-nr-9>. Acesso em: 9 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Portaria nº 204/2022**: Anexo I Lista de produtos químicos controlados. Brasília: MJSP, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/produtos-quimicos/legislacao/listas204.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2022b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm. Acesso em: 30 mar. 2024.

BRASIL. **Portaria MJSP nº 204, de 21 de outubro de 2022**. Estabelece procedimentos para o controle e fiscalização de produtos químicos sujeitos a controle pela Polícia Federal (SIPROQUIM 2). Brasília, 2022c. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-mj-sp-n-204-de-21-de-outubro-de-2022-438279876>. Acesso em: 6 jan. 2026.

BRASIL. **Portaria MTP nº 2.175, de 28 de julho de 2022**. Atualiza a Norma Regulamentadora nº 26 – Sinalização de Segurança. Brasília, DF, 2022d. Disponível em: https://www.normaslegais.com.br/legislacao/portariamt2175_2022.htm. Acesso em: 22 jan. 2026.

BURTON, J. E.; ROBERTS, K.; ANDREWS, D. Biosecurity and dual-use research oversight in academic laboratories. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 9, p. 621-633, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2015.00013>

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. Federal Select Agent Program. **Guidance on the inventory of select agents and toxins**. Atlanta, GA: CDC/APHIS/FSAP, 2022. Disponível em: <https://www.selectagents.gov/compliance/guidance/inventory/index.htm>. Acesso em: 16 out. 2025.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **Federal select agent program**. Atlanta: CDC, 2024. Disponível em: <https://www.selectagents.gov/index.htm>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHEN, Y.; WILLIAMS, D.; TAYLOR, K. The role of laboratory technicians in sustaining biosafety culture: evidence from Australian universities. **Safety Science**, v. 127, 104705, 2020.

COSTA, R.; MORAES, A. Governança e biossegurança em laboratórios acadêmicos: desafios na América Latina. **Revista Latino-Americana de Políticas Científicas**, v. 5, n. 2, p. 45-63, 2019.

DAIKELER, J.; BOSNJAK, M.; MANFREDA, K. L. Web versus other survey modes: an updated and extended meta-analysis comparing response rates. **Journal of Survey Statistics and Methodology**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 513-539, 2020.
<https://doi.org/10.1093/jssam/smz008>

DENZIN, N. K. **The research act: a theoretical introduction to sociological methods**. 3. ed. New York: Routledge, 2012.

EUROPEAN CHEMICAL AGENCY. **Guidance on information requirements and chemical safety assessment**. Helsinki: ECHA, 2021. Disponível em: <https://www.echa.europa.eu/guidance-documents/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment>. Acesso em: 23 abr. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. **Guidance on managing dual-use research of concern in universities and research institutions**. Brussels, 2022.

EUROPEAN UNION. **Regulation (EC) n° 273/2004 of the European Parliament and of the Council on drug precursors**. Official Journal of the EU, 2004. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/273/oj/eng>. Acesso em: 3 jul. 2024.

EUROPEAN MONITORING CENTRE FOR DRUGS AND DRUG ADDICTION. **European Drug Report 2022: trends and developments**. Luxembourg: Publications Office of the European Union/EMCDDA, 2022. <https://doi.org/10.2810/14644>

FAN, W.; YAN, Z. Factors affecting response rates of the web survey: a systematic review. **Computers in Human Behavior**, v. 26, n. 2, p. 132-139, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2009.10.015>

FARIA, L.; ANDRADE, V.; GOMES, T. Biossegurança e formação discente: vulnerabilidades em laboratórios universitários brasileiros. **Revista de Educação em Ciências e Saúde**, v. 18, n. 3, p. 77-89, 2021.

FATEMI, F.; DEHDASHTI, A.; JANNATI, M. Implementation of chemical health, safety, and environmental risk assessment in laboratories: a case-series study. **Frontiers in Public Health**, v. 10, 898826, 2022.
<https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.898826>

FENG, Y.; LI, J.; ZHANG, L. Risk assessment and management strategies for hazardous chemicals in university laboratories. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 158, p. 246-256, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.021>

GARCÍA, L. *et al.* Chemical safety practices in Latin American universities: lessons from Mexico and Colombia. **Journal of Chemical Health & Safety**, v. 28, n. 2, p. 65-73, 2021.

GARCÍA, P. *et al.* Biosafety culture in academic institutions: lessons from survey data. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 6, p. 3312-3325, 2022.

GARCÍA-REYES, J. F. *et al.* Emerging trends in solvent misuse: implications for forensic chemistry and biosecurity. **Journal of Forensic Sciences**, v. 66, n. 2, p. 451-463, 2021.

GROVES, R. M.; PEYTCHEVA, E. The impact of nonresponse rates on nonresponse bias: a meta-analysis. **Public Opinion Quarterly**, v. 72, n. 2, p. 167-189, 2008.
<https://doi.org/10.1093/poq/nfn011>

HESS, G. Dual-use research and the challenge of governance in life sciences. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 9, 2021.
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.680295>

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans**. Lyon: IARC, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK419324/>. Acesso em: 4 fev. 2024.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans**. Lyon: IARC, 2020. Disponível em: <https://monographs.iarc.who.int/>. Acesso em: 3 set. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/IEC 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories**. Geneva: ISO, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 31000:2018 – Risk management – Guidelines**. Geneva: ISO, 2018a. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/65694.html>. Acesso em: 4 set. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19011:2018 – Guidelines for auditing management systems**. Geneva: ISO, 2018b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15190:2020 – Medical laboratories – Requirements for safety**. Geneva: ISO, 2020a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 22095:2020 – Chain of custody: General terminology and models**. Geneva: ISO, 2020b. Disponível em: <https://www.iso.org/news/ref2571.html>. Acesso em: 1 jul. 2025.

KELLY, C.; MORAN, K. Biosafety and biosecurity in academic research: dual-use dilemmas and institutional responsibilities. **Science and Engineering Ethics**, v. 26, n. 3, p. 1459-1477, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11948-020-00231-w>.

KUMAR, S. *et al.* Outbreak of methanol toxicity due to illicit liquor in India: public health implications. **Journal of Family Medicine and Primary Care**, v. 8, n. 12, p. 4045-4050, 2019.

KUZMINA, O.; HARTRICK, E.; MARCHANT, A.; EDWARDS, E.; BRANDT, J. R.; HOYLE, S. Chemical management: storage and inventory in research laboratories. **ACS Chemical Health & Safety**, v. 29, n. 1, p. 62-71, 2022.
<https://doi.org/10.1021/acs.chas.1c00086>

LAMBERT, M. *et al.* University laboratory waste management: financial and environmental sustainability challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 110-118, 2020.

LIN, S. Chemical safety in Asian universities: gaps in laboratory practices. **Journal of Chemical Health and Safety**, v. 28, n. 1, p. 25-34, 2021.

LIU, Y.; ZHANG, H.; WANG, Q. Risk assessment and environmental management of hazardous chemicals in university laboratories. **Journal of Cleaner Production**, v. 317, 128364, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128364>

LOPES, A.; MOURA, R.; SOUZA, D. Passivos químicos em universidades brasileiras: desafios de gestão e custos de destinação. **Química Nova**, v. 46, n. 2, p. 210-218, 2023.

MACHADO, A.; FONSECA, M. Passivos químicos em instituições públicas: riscos e custos ocultos. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 122-139, 2022a.

MACHADO, C. R.; FONSECA, J. P. Resíduos químicos em universidades: desafios da gestão ambiental e biossegurança. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 11, n. 2, p. 34-52, 2022b.
<https://www.doi.org/10.5585/geas.v11i2.2345>

MACHADO, F.; FONSECA, R. Resíduos químicos em universidades: riscos e governança. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 27, n. 4, p. 1456-1470, 2022c.

MACHADO, P.; FONSECA, J. Gestão de resíduos perigosos em instituições de ensino superior: lições e desafios. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 22, n. 4, p. 102-119, 2022d.

MACHADO, P.; OLIVEIRA, H. O papel do técnico de laboratório na biossegurança universitária: entre responsabilidades e invisibilidades. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 9, p. 3567-3576, 2020.

MEDEIROS, T. *et al.* Gestão de resíduos em universidades brasileiras: lacunas e desafios institucionais. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, n. 4, p. 1199-1212, 2023.

MENDONÇA, F.; SOARES, C. Experiência técnica e memória institucional na gestão de riscos laboratoriais. **Gestão & Tecnologia de Biossegurança**, v. 11, n. 1, p. 99-114, 2022.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Prudent practices in the laboratory**: handling and management of chemical hazards. Washington, DC: NASEM, 2011.

NATIONAL SCIENCE ADVISORY BOARD FOR BIOSECURITY. **Proposed framework for the oversight of dual use life sciences research**: strategies for minimizing the potential misuse of research information. Washington, DC: NSABB, 2007. Disponível em: <https://osp.od.nih.gov/wp-content/uploads/Proposed-Oversight-Framework-for-Dual-Use-Research.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2024.

NATIONAL SCIENCE ADVISORY BOARD FOR BIOSECURITY. **Proposed biosecurity oversight framework for the future of science**: final report. Bethesda, MD: NSABB, 2023. Disponível em: <https://osp.od.nih.gov/wp-content/uploads/2023/03/NSABB-Final-Report-Proposed-Biosecurity-Oversight-Framework-for-the-Future-of-Science.pdf>. Acesso em: 22 out. 2025.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. **Laboratory safety standards**. Washington, DC: OSHA, 2012.

OLIVEIRA, M. A.; GOMES, C. M. Gestão de resíduos químicos em instituições de ensino superior: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 56, 2021.

OLIVEIRA, P.; SANTOS, F. Resíduos perigosos em universidades brasileiras: desafios para a sustentabilidade institucional. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 38, n. 9, p. 1-12, 2022.

OLIVEIRA, R. *et al.* Underreporting of accidents in teaching laboratories: cultural and institutional factors. **Safety Science**, v. 132, 104978, 2020.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Biosecurity and biosafety in the academic context: lessons from higher education institutions**. Paris: OECD, 2022a. <https://doi.org/10.1787/9789264302236-en>

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Biosecurity and dual-use research governance in higher education**. Paris: OECD, 2022b.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Good laboratory chemical management practices**. Paris: OECD, 2022c.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Global biosecurity governance review**. Paris: OECD, 2022d.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Laboratory biorisk management framework**. Paris: OECD, 2022e.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Laboratory chemical safety and waste management in higher education institutions**. Paris: OECD, 2022f.

ORGANISATION FOR THE PROHIBITION OF CHEMICAL WEAPONS. **The hague ethical guidelines**. The Hague: OPCW, 2015.

PEREIRA, R.; SILVEIRA, J. A percepção discente sobre segurança em laboratórios de química. **Química Nova na Escola**, v. 42, n. 3, p. 255-263, 2020.

PEREIRA, L. *et al.* Chemical residues from teaching laboratories: quantification and management. **Waste Management**, v. 152, p. 80-89, 2023.

PÉREZ, A. *et al.* Chemical waste management in Latin American universities: risk assessment and policy gaps. **Environmental Science and Policy**, v. 114, p. 180-188, 2020.

PERKINS, D. *et al.* Risk-based biosafety practices in higher education laboratories. **Applied Biosafety**, v. 26, n. 4, p. 225-234, 2021.

PERKINS, J. L. *et al.* Biosafety culture in academic research institutions: gaps and opportunities. **Applied Biosafety**, v. 26, n. 4, p. 217-229, 2021.

PODSAKOFF, P. M.; MacKENZIE, S. B.; LEE, J.-Y.; PODSAKOFF, N. P. Common method biases in behavioral research: a critical review of the literature and recommended remedies. **Journal of Applied Psychology**, Washington, v. 88, n. 5, p. 879-903, 2003. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879>

PORTER, S. R.; WHITCOMB, M. E. The impact of contact type on web survey response rates. **Public Opinion Quarterly**, v. 67, n. 4, p. 579-588, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3521694>. Acesso em: 4 set. 2024.

RENN, O. Risk governance: coping with uncertainty in a complex world. **Journal of Risk Research**, 2021.

RIBEIRO, A. *et al.* Gestão de resíduos químicos em universidades públicas brasileiras: estudo comparado entre USP e UFMG. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 511-520, 2022.

RITCHIE, H. *et al.* Chemical risk governance in higher education institutions. **Safety Science**, v. 145, 105512, 2021.

RODRIGUES, L. P.; SOUZA, M. C. Resíduos químicos em instituições de ensino superior: desafios para a sustentabilidade ambiental. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 10, n. 3, p. 95-113, 2023.

SCHROEDER, D.; RENN, O. Chemical stewardship in European universities: a governance approach. **Science and Public Policy**, v. 47, n. 6, p. 823-834, 2020.

SILVA, P.; LIMA, V. Biosafety policies and laboratory practices in higher education institutions. **Journal of Biosafety and Biosecurity**, v. 5, n. 2, p. 95-104, 2023.

SILVA, R.; ANDRADE, C. Armazenamento de reagentes controlados em universidades: fragilidades e riscos. **Revista de Saúde e Segurança do Trabalho**, v. 19, n. 2, p. 122-137, 2021.

SOARES, L. *et al.* Adesão a EPIs em laboratórios de ensino: uma análise crítica. **Revista Saúde Pública**, v. 55, p. 101-113, 2021.

SOUZA, A.; TORRES, M. Sustentabilidade e biossegurança em universidades federais. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 25, n. 1, p. 1-22, 2022.

SOUZA, A. P. *et al.* Segurança química em laboratórios de ensino: práticas e fragilidades em universidades brasileiras. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 28, n. 7, p. 1985-1998, 2023.

SOUZA, B. *et al.* Resíduos químicos em IFES: riscos ocupacionais e ambientais. **Cadernos de Saúde Coletiva**, v. 31, n. 2, p. 223-233, 2023.

STILGOE, J.; OWEN, R.; MacNAGHTEN, P. Developing a framework for responsible innovation. **Research Policy**, v. 42, n. 9, p. 1568-1580, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008>

STRAUT, C. M.; NELSON, A. W. Improving chemical security with material control and accountability and inventory management. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 7, p. 1809-1814, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00844>

UNITED NATIONS. **Biological weapons convention**. Geneva: UN, 1972.
Disponível em: <https://www.un.org/disarmament/biological-weapons/>.

UNITED NATIONS. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. New York: UN, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 3 jun. 2024.

UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. **Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS), Rev. 10**. Geneva: UNECE, 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM) – 2012 evaluation report**. Nairobi: UNEP, 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Chemicals Outlook II: From Legacies to Innovative Solutions**. Nairobi: UNEP, 2019.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global chemicals outlook II: from legacies to innovative solutions**. Geneva: UNEP, 2022a.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Chemicals and waste management towards sustainability**. Geneva: UNEP, 2022b.

UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME. **Precursors and chemicals frequently used in the illicit manufacture of narcotic drugs and psychotropic substances**. Vienna: UNODC, 2022.

UNITED STATES. Electronic Code of Federal Regulations. **21 CFR §1310.02: substances covered**. ECFR, 2025a. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-II/part-1310/section-1310.02>. Acesso em: 16 out. 2025.

UNITED STATES. Electronic Code of Federal Regulations. **21 CFR Part 1310**: records and reports of listed chemicals and certain machines. ECFR, 2025b. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-II/part-1310>. Acesso em: 16 out. 2025.

UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA. Environmental Health & Radiation Safety. **Purchasing drug precursor chemicals (List I and II)**. Philadelphia, PA: EHRS, 2024. Disponível em: <https://ehrs.upenn.edu/policies-resources/purchasing-drug-precursor-chemicals-list-i-and-ii>. Acesso em: 16 out. 2025.

WANG, J.; HUANG, Q. Chemical safety management and risk control in laboratories: a systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 392, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.13627>

WANG, H. *et al.* Sustainable chemistry in higher education: reducing hazardous waste generation in laboratories. **Journal of Cleaner Production**, v. 316, 128401, 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Laboratory biosafety manual**. 4. ed. Geneva: WHO, 2020a.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **International programme on chemical safety: methanol**. Geneva: WHO, 2020b.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Biosafety and laboratory biosecurity: a global overview**. Geneva: WHO, 2021.

YANG, Y. *et al.* Chemical control in universities: dual-use risks and governance failures. **Science and Global Security**, v. 30, n. 3, p. 201-222, 2022.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. 5. ed. Thousand Oaks: Sage, 2015.

ZHANG, H.; LI, X.; WU, J. Chemical safety and dual-use awareness in Chinese universities: challenges and strategies. **Safety Science**, v. 120, p. 803-811, 2019.

ZHANG, Y.; ZHOU, X.; WANG, Y.; LI, F. Advances in the globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS): implementation and impact on chemical safety management. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, 125892, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125892>

APÊNDICE A – Questionário para pesquisa em laboratórios de instituições de ensino superior

Quarta-feira, dezembro 4, 2024

Questionário para Pesquisa em Laboratórios de Instituições de Ensino Superior

OS DADOS UTILIZADOS NA PESQUISA SÃO CONFIDENCIAIS E AUTORIZADO PELO COMITÊ DE ÉTICA PELO PROCESSO Nº.....

Approval Status

COMPLETED

1- Qual sua Instituição/Campus?

2 - Qual é o seu setor/ departamento?

3 - Qual é o seu cargo?

4- Há quantos anos você trabalha no laboratório?

5 - Assinale quais são os produtos químicos mais utilizados em seu laboratório e quais as frequências de uso (Semanal/Mensal/ Trimestral, etc.) e quantitativo estimado (Gentileza colocar a métrica utilizada - mg/ml/Lt/Kg)

	Quantidade	Frequência de Uso
Acetato de chumbo		
Acetona		
Acetonitrila		
Ácido Fosfomolibdico		
Ácido Fosfórico		
Ácido Fosfotungstico		
Ácido nítrico		
Ácido perclórico		
Ácido sulfurico		
Brometo de etídeo		
Cloreto de Bário		
clorofórmio		
Dicromato de potássio		
Fenolftaleína		
Metanol		
Nitrato de potássio		
Óxido de Mercurio		

	Quantidade	Frequência de Uso
Paraformaldeído		
Sulfato de Sódio		
Tolueno		
Clorato de potássio		
Ácido bórico		
Teclorato de potássio		
Hexano		

6- Se existem produtos que não estão na lista acima por favor insira - os - abaixo:

7- Como são armazenados os produtos químicos em seu laboratório? (Marque todos que se aplicam)

8 - Como são identificados os produtos químicos em seu laboratório? (Marque todos que se aplicam)

9- Onde são armazenados os resíduos químicos em seu laboratório?

10- Você recebeu algum treinamento de biossegurança para usar o laboratório?

Sim

11- Qual a periodicidade dos treinamentos de biossegurança em seu laboratório?

12- Onde são descartados os resíduos perigosos (químicos) gerados no laboratório? (Marque todos que se aplicam)

13- Quais procedimentos de biossegurança são seguidos no manuseio de produtos químicos em seu laboratório? (Marque todos que se aplicam)

14- Qual a periodicidade da revisão das Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) em seu laboratório?

15- Como é realizado o seu processo para aquisição de produtos químicos em seu laboratório?

Tags**Flow Activity History**

Actor	Actions	Date
-------	---------	------

APÊNDICE B – Termo de consentimento livre e esclarecido

1

TERMO DE ESCLARECIMENTO PARA PARTICIPAÇÃO EM PESQUISA

Título da Pesquisa: GESTÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS NOS LABORATÓRIOS DA UFV

"Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética da UFV (Processo nº 7.447.559, em 18/03/2025), e todos os dados coletados serão mantidos em sigilo e utilizados exclusivamente para fins acadêmicos."

Pesquisador Responsável: Cláudio Lisias Mafra de Siqueira

Instituição: Universidade Federal de Viçosa (UFV)

E-mail: mafra@ufv.br

Interesse na Participação:

Você tem interesse em participar desta pesquisa? () Sim () Não

Esclarecimento sobre a Pesquisa:

Você está sendo convidado(a) a participar, de forma voluntária, da pesquisa "Gestão de Produtos Químicos nos laboratórios da UFV. O objetivo desta pesquisa é acompanhar o ciclo de vida dos produtos químicos utilizados nos laboratórios acadêmicos, desde a aquisição até o descarte, analisando os protocolos adotados para armazenamento e descarte, visando avaliar a conformidade com as normas vigentes de segurança química e ambiental. A coleta de dados será realizada por meio de um questionário online via JotForm, com tempo estimado de resposta de aproximadamente 15 minutos.

Procedimentos: A pesquisa consiste no preenchimento de um formulário eletrônico, no qual serão solicitadas informações sobre os produtos químicos manuseados em seu laboratório, os métodos de armazenamento e descarte adotados, bem como a periodicidade das revisões das Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) e a existência de treinamento em biossegurança e em procedimentos relacionados ao descarte e armazenamento desses produtos.

Riscos e Medidas de Controle: Os riscos associados à participação nesta pesquisa são mínimos, limitando-se ao potencial desconforto ao responder questões relacionadas às práticas laboratoriais. Embora não sejam coletados dados pessoais sensíveis, existe um risco remoto de identificação indireta, mitigado por estratégias de anonimização dos registros. Para minimizar qualquer risco adicional, todas as respostas serão codificadas e armazenadas em ambiente seguro, garantindo confidencialidade e sigilo. Não há riscos físicos, psicológicos ou financeiros decorrentes da participação, uma vez que a pesquisa envolve exclusivamente o preenchimento de um questionário online. Estou ciente do risco de perder alguma informação durante o preenchimento do questionário devido a falhas de conexão com a internet ou interrupção do

fornecimento de energia elétrica. Para mitigar o risco, fui informado sobre a disponibilização de versões em Word e PDF do mesmo questionário, permitindo o preenchimento paulatino do questionário. Também estou ciente do risco relacionado ao não conhecimento de todas as respostas. Nesse caso, o risco será mitigado da seguinte forma: nenhuma pergunta é de preenchimento obrigatório.

Benefícios: Embora não haja benefícios diretos e imediatos para os participantes, os resultados desta pesquisa poderão contribuir para o aprimoramento das práticas de gestão de produtos químicos em instituições de ensino superior, fomentando a segurança química e a conformidade com regulamentações ambientais e ocupacionais, como também sustentabilidade financeira e ambiental.

Participação Voluntária: Para participar deste estudo, você deverá assinar um termo de consentimento. Você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Apesar disso, diante de eventuais danos, identificados e comprovados, decorrentes da pesquisa, você tem assegurado o direito à indenização. Você tem garantida plena liberdade de recusar-se a participar ou seu responsável legal de retirar o consentimento ou interromper sua participação, em qualquer fase da pesquisa, sem necessidade de comunicado prévio. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que você é atendido(a) pelo pesquisador. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Você não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar. Seu nome ou o material que indique sua participação não serão liberados sem a sua permissão.

Este termo de assentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, no “Município de Viçosa/MG” e a outra será fornecida a você.

Os dados e instrumentos utilizados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 3 anos após o término da pesquisa. Depois desse tempo, os mesmos serão destruídos.

Confidencialidade e Uso dos Dados: Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo e confidencialidade, atendendo à legislação brasileira, em especial, à Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, e utilizarão as informações somente para fins acadêmicos e científicos.

Contato para Dúvidas: Caso tenha alguma dúvida ou deseje mais informações, entre em contato com o pesquisador responsável.

Caso identifique alguma irregularidade de natureza ética, você pode entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFV:

CEP/UFV – Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos

Universidade Federal de Viçosa

Edifício Arthur Bernardes, piso inferior

Av. PH Rolfs, s/n – Campus Universitário

CEP: 36570-900 Viçosa/MG

Telefone: (31) 3612-2316

E-mail: cep@ufv.br

Site: www.cep.ufv.br

Viçosa, _____ de _____ de 20____

Declaração de Consentimento:

Eu, _____, contato

_____, declaro que fui informado(a) sobre os objetivos da pesquisa "Gestão de Produtos Químicos nos laboratórios da UFV, de forma clara e detalhada. Sei que minha participação é voluntária e que posso desistir a qualquer momento, sem prejuízo.

Recebi uma via deste termo de esclarecimento e me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer minhas dúvidas.

Assinatura do Participante

Assinatura do Pesquisador Responsável

APÊNDICE C – Quadros

Quadro 2 – Marcos internacionais relevantes e implicações para a governança universitária (CAQ/OPCW, UNSCR 1540, SAICM, Agenda 2030, WHO 2020 e Australia Group) como referência técnica

Marco internacional	Ano	Natureza jurídica / arranjo	Escopo central	Pontos de fricção para a governança universitária (IFES)
Convenção sobre Armas Químicas (CAQ) / Organização para a Proibição de Armas Químicas	1993 (vigência 1997)	Tratado multilateral vinculante com mecanismo internacional de verificação	Proibição do desenvolvimento, produção, aquisição e uso de armas químicas; estabelecimento de listas de substâncias controladas (Schedules 1, 2 e 3).	Ausência de identificação sistemática de substâncias listadas no inventário institucional; inexistência de categorização por criticidade; fragilidade de rastreabilidade; gestão indistinta entre reagentes comuns e substâncias sensíveis.
Resolução 1540 do Conselho de Segurança da ONU (UNSCR 1540)	2004	Resolução vinculante do Conselho de Segurança da ONU	Obriga Estados a prevenir o acesso de atores não estatais a armas químicas, biológicas, radiológicas e nucleares (QBRN), incluindo adoção de controles internos eficazes.	Inventários descentralizados e não auditáveis; múltiplas portas de aquisição; ausência de due diligence institucional; lacunas no controle de acesso físico e documental.
Strategic Approach to International Chemicals Management (SAICM)	2006	Marco político global (soft law)	Promoção da gestão racional de produtos químicos ao longo de todo o ciclo de vida.	Fragmentação entre aquisição, armazenamento e descarte; formação de resíduos passivos; ausência de integração entre sustentabilidade e segurança química; baixa padronização institucional.
Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (ODS)	2015	Agenda global não vinculante	Estabelece metas de desenvolvimento sustentável, incluindo gestão ambientalmente adequada de produtos químicos e resíduos.	Dificuldade de operacionalização de indicadores institucionais; ausência de métricas consolidadas de redução de resíduos perigosos; desconexão entre sustentabilidade e governança química.
WHO Laboratory Biosafety Manual – 4ª edição	2020	Referencial técnico internacional	Abordagem baseada em risco e integração entre biossegurança e biosecurity.	Cultura de biossegurança predominantemente reativa; ausência de classificação de risco dos insumos químicos; treinamentos pontuais; inexistência de política formal de biocustódia
Grupo da Austrália	1985	Regime multilateral informal de harmonização de controles de exportação	Harmonização de listas de controle de agentes químicos, biológicos, toxinas e equipamentos sensíveis	Manipulação de substâncias dual-use sem reconhecimento formal de criticidade; inexistência de alinhamento entre inventário universitário e listas internacionais; ausência de camadas diferenciadas de controle

Fonte: Elaborado pela autora com base em CAQ/OPAQ, UNSCR 1540, SAICM, Agenda 2030, WHO (2020) e Grupo da Austrália.

Quadro 3 — Mapa regulatório nacional aplicável à gestão de químicos em IFES: ocupacional; ambiental; sanitário; controlados; transporte; normas ABNT, com exemplos de implicações práticas e “pontos de fricção” para IFES

Eixo regulatório	Instrumentos normativos vigentes (atualizados)	Órgãos competentes	Implicações técnico-operacionais para IFES	Pontos de fricção regulatória e operacional
Saúde e Segurança do Trabalho (SST)	Norma Regulamentadora nº 1 — NR-1 (atualizada 2025); Norma Regulamentadora nº 6 — NR-6 (atualizações 2025); demais NRs correlatas	Ministério do Trabalho e Emprego (MTE)	Implementação obrigatória do Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO) e do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), incluindo identificação, avaliação e controle de riscos químicos; formalização documental e evidências de monitoramento.	Desarticulação entre PGR e inventário químico institucional; ausência de indicadores integrados de exposição ocupacional; heterogeneidade na aplicação entre laboratórios.
Gestão Ambiental e Resíduos Perigosos	Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos — PNRS); Decreto nº 10.936/2022	Ministério do Meio Ambiente; Órgãos Ambientais Estaduais	Obrigatoriedade de planejamento e implementação de instrumentos de gerenciamento de resíduos químicos, incluindo segregação, armazenamento temporário, transporte e destinação final ambientalmente adequada.	Fragilidade na rastreabilidade do resíduo desde a geração até a destinação final; terceirização sem auditoria técnica sistemática; armazenamento incompatível sob a ótica de periculosidade.
Regulação Sanitária (interface laboratorial)	RDC nº 222/2018 (ANVISA)	Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e Vigilâncias Sanitárias locais	Estabelece diretrizes para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, aplicável quando laboratórios acadêmicos mantêm interface assistencial ou biomédica.	Ambiguidade classificatória entre resíduos químicos e resíduos de serviços de saúde; aplicação desigual em ambientes exclusivamente de pesquisa.
Controle de Produtos Químicos Fiscalizados	Portaria MJSP nº 204/2022 (substitui a Portaria 240/2019); atos normativos complementares da Polícia Federal (2023-2024)	Polícia Federal	Exigência de cadastramento institucional, controle de aquisição, armazenamento, consumo e prestação de informações periódicas relativas a substâncias químicas sujeitas a controle especial.	Descentralização das aquisições acadêmicas; desconhecimento das listas de substâncias controladas; risco de responsabilização administrativa e penal por inconsistências declarativas.
Transporte de Produtos Perigosos	Resolução ANTT nº 5.998/2022; alterações posteriores (Resoluções nº 6.016/2023 e nº 6.056/2024)	Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT)	Regulamenta acondicionamento, rotulagem, documentação, sinalização e responsabilidades na cadeia logística de transporte terrestre de produtos perigosos.	Transferência intercampi sem avaliação técnica de conformidade; desconhecimento da responsabilidade solidária da instituição na cadeia de transporte
Normas Técnicas de Classificação e Comunicação de Perigos	ABNT NBR 14725:2023 (Sistema Globalmente Harmonizado – GHS)	Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)	Padronização da classificação, rotulagem e Ficha com Dados de Segurança (FDS); exigência de atualização documental e compatibilidade química no armazenamento.	FDS desatualizadas ou inexistentes; ausência de controle de versões; organização de estoques por critério alfabético em detrimento da compatibilidade química.

ANEXO A – Parecer consubstanciado do Comitê de ÉticaUNIVERSIDADE FEDERAL DE
VIÇOSA - UFV**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA****Título da Pesquisa:** Gestão de produtos químicos em Instituição Ensino Federal Superior**Pesquisador:** CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA**Área Temática:****Versão:** 2**CAAE:** 85631524.0.0000.5153**Instituição Proponente:** Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular**Patrocinador Principal:** FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP**DADOS DO PARECER****Número do Parecer:** 7.447.559**Apresentação do Projeto:**

O presente protocolo foi enquadrado como pertencente à Grande Área do conhecimento de defesa química, biológica, radiológica e nuclear. As informações elencadas nos campos *Apresentação do Projeto*, *Objetivo da Pesquisa* e *Avaliação dos Riscos e Benefícios* foram retiradas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa (PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2466191) e/ou do Projeto Detalhado:

1. INTRODUÇÃO: As atividades de biossegurança e bioproteção são cruciais para proteger a força de trabalho laboratorial e a comunidade em geral contra exposições a agentes biológicos patogênicos, sejam essas exposições intencionais ou acidentais. Estas práticas são fundamentadas em uma rigorosa avaliação de risco e no fomento de uma cultura de segurança laboratorial, essenciais para um ambiente de trabalho seguro onde medidas preventivas minimizem riscos de contaminação (OPAS, 2019). A UFV tem uma estrutura dedicada para a gestão de resíduos químicos e radioativos, que inclui um sistema centralizado de compras, um plano de gerenciamento de resíduos e uma equipe especializada na supervisão e execução dessas atividades. A gestão de risco compreende a identificação dos riscos, avaliação da probabilidade de ocorrência e impacto, bem como a definição de ações e respostas adequadas. Esta gestão é um processo contínuo e deve ser conduzido sob a supervisão direta da administração sênior, visando a segurança organizacional e a eficácia na

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário **CEP:** 36.570-977
UF: MG **Município:** VICOSA
Telefone: (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br

Continuação do Parecer: 7.447.559

realização dos objetivos institucionais (ABNT NBR ISO 31000). No âmbito dos produtos químicos e radioativos, o gerenciamento eficaz de seu ciclo de vida é fundamental. Desde a aquisição até o descarte, é imperativo que as instituições implementem políticas e processos robustos para lidar com esses materiais, garantindo não só a segurança, mas também a conformidade com normas ambientais e de saúde pública. Nesse contexto, a proposta deste projeto visa monitorar e otimizar o ciclo de vida dos produtos químicos e radioativos em uma Instituição Federal de Ensino Superior. O foco será aperfeiçoar o processo de compra e gerenciamento interno, promovendo a catalogação e controle eficaz dos fluxos de entrada e saída desses materiais. Além de aprimorar a coleta de dados sobre a demanda laboratorial, esse monitoramento permitirá uma gestão mais precisa dos riscos associados aos resíduos gerados, garantindo a rastreabilidade dos descartes e reduzindo impactos ambientais.

2. HIPÓTESE: A justificativa para realizar o presente projeto é acompanhar o ciclo de produtos químicos e radioativos, desde sua aquisição até o destino final. Propor ações minuciosas na análise do modelo de compras e gerenciamento internos destes produtos, propondo catalogação, otimizando entrada e saída de produtos, permitindo levantamento de informações de quais são os produtos com maior demanda em cada laboratório em âmbito nacional, bem como, gerenciar os riscos de cada resíduo gerado, permitindo rastreabilidade dos descartes destes resíduos de forma adequada, impactando no meio ambiente e permitindo a gestão em políticas públicas, trazendo sustentabilidade para os nossos laboratórios, uma vez que, será possível mensurar quais produtos podemos reutilizar, otimizar e realocar.

3. METODOLOGIA: No decorrer do desenvolvimento do projeto, identificamos a necessidade de implementar um formulário específico para os laboratórios com o objetivo de obter dados precisos e consistentes sobre os produtos químicos utilizados, assim como as práticas de manejo, armazenamento e descarte. Essa etapa visa garantir uma análise robusta e detalhada que contribua diretamente para os objetivos estabelecidos no estudo. Para isso, disponibilizamos o link do formulário elaborado: [<https://form.jotform.com/242883993028671>]. Solicitamos, portanto, a sua autorização para a aplicação do referido formulário, possibilitando a execução dessa fase de coleta de dados indispensável para a conclusão do projeto.

Objetivo da Pesquisa:

Acompanhar o ciclo de produtos químicos e radioativos, desde sua aquisição até o destino final. Propor ações minuciosas na análise do modelo de compras e gerenciamento internos destes

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário **CEP:** 36.570-977
UF: MG **Município:** VICOSA
Telefone: (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br

Continuação do Parecer: 7.447.559

produtos, propondo catalogação, otimizando entrada e saída de produtos, permitindo levantamento de informações de quais são os produtos com maior demanda nas Instituições federais de ensino superior, com seus diversos laboratórios e pesquisadores, precisam de sistemas robustos para gerenciar produtos químicos e radioativos. Isto pode envolver a formação de comitês de segurança, o treinamento de pessoal, e a implementação de sistemas de informação para rastrear a aquisição, o uso, e o descarte destes materiais. Criar sistemas de alerta para monitorar o ciclo de vida dos produtos químicos. Estes sistemas podem enviar alertas quando um produto químico estão prestes a expirar, quando está sendo usado de forma inadequada, ou quando está sendo armazenado de forma inadequada.

Como objetivos secundários eles apontam:

a) Gerenciar os riscos da utilização de produtos químicos nos laboratórios em conjunto de procedimentos de gestão, planejados e implementados a partir de bases científicas, técnicas, normativas e legais, minimizando riscos relacionados às atividades laboratoriais bem como gestão de risco de descartes de resíduos, proporcionando um encaminhamento seguro, de forma eficiente, visando à proteção dos profissionais e a preservação da saúde pública, dos recursos naturais e do meio ambiente. b) Rastrear os produtos químicos, utilizados nos laboratórios, catalogar o produto, gerenciando formas de descartes de resíduos desses produtos de forma consciente e adequada, ou reutilização do mesmo, e reduzir casos de acidentes, utilizar os POP_s (Procedimento Operacional Padrão), ofertar biossegurança ao profissional.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os pesquisadores apresentam no formulário online da Plataforma os seguintes Riscos:

Confidencialidade dos Dados: Existe o risco de exposição de informações sensíveis relacionadas aos produtos químicos utilizados e às práticas de manejo nos laboratórios. **Mitigação:** Garantir que todos os dados sejam tratados de forma anônima e armazenados de acordo com os padrões de segurança recomendados. **Adesão Limitada:** Nem todos os laboratórios podem estar dispostos ou disponíveis para responder ao formulário, o que pode limitar a amostra. **Mitigação:** Enviar comunicações claras e formais, destacando a importância da participação e os benefícios gerados pela pesquisa. **Interpretação Subjetiva das Respostas:** Respostas imprecisas ou subjetivas podem afetar a qualidade dos dados coletados. **Mitigação:** Elaborar perguntas objetivas e diretas, com opções padronizadas sempre que possível.

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário **CEP:** 36.570-977
UF: MG **Município:** VICOSA
Telefone: (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
VIÇOSA - UFV



Continuação do Parecer: 7.447.559

E os seguintes Benefícios:

Levantamento de Dados Fidedignos: O formulário permitirá identificar com precisão os produtos químicos mais utilizados nos laboratórios, além das práticas de manejo, armazenamento e descarte, gerando um panorama real e detalhado. **Subsídio para Melhorias:** As informações obtidas podem embasar sugestões de melhorias nas práticas laboratoriais, promovendo maior segurança e sustentabilidade no manejo de produtos químicos. **Facilitação do Cumprimento de Normas:** A análise dos dados pode auxiliar os laboratórios a se alinharem às legislações e regulamentações pertinentes, contribuindo para um ambiente mais seguro e em conformidade. **Impacto Científico e Social:** A pesquisa poderá gerar conhecimento relevante que beneficie não apenas os laboratórios participantes, mas também a comunidade acadêmica e profissional como um todo.

Avaliação: Os riscos e os benefícios estão de acordo com as recomendações sobre pesquisas com seres humanos, baseados nas Resoluções 466/12 e 510/16 do CNS

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Os pesquisadores propõe acompanhar o ciclo de produtos químicos e radioativos, desde sua aquisição até o destino final. Propor ações minuciosas na análise do modelo de compras e gerenciamento internos destes produtos, propondo catalogação, otimizando entrada e saída de produtos, permitindo levantamento de informações de quais são os produtos com maior demanda nas Instituições federais de ensino superior, com seus diversos laboratórios e pesquisadores, precisam de sistemas robustos para gerenciar produtos químicos e radioativos. Isto pode envolver a formação de comitês de segurança, o treinamento de pessoal, e a implementação de sistemas de informação para rastrear a aquisição, o uso, e o descarte destes materiais. Criar sistemas de alerta para monitorar o ciclo de vida dos produtos químicos. Estes sistemas podem enviar alertas quando um produto químico estão prestes a expirar, quando está sendo usado de forma inadequada, ou quando está sendo armazenado de forma inadequada. Para isso pretendem No decorrer do desenvolvimento do projeto, identificamos a necessidade de implementar um formulário específico para os laboratórios com o objetivo de obter dados precisos e consistentes sobre os produtos químicos utilizados, assim como as práticas de manejo, armazenamento e descarte. Essa etapa visa garantir uma análise robusta e detalhada que contribua diretamente para os objetivos estabelecidos no estudo. Para isso, disponibilizamos o link do formulário elaborado: [<https://form.jotform.com/242883993028671>].

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário **CEP:** 36.570-977
UF: MG **Município:** VICOSA
Telefone: (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
VIÇOSA - UFV**



Continuação do Parecer: 7.447.559

Solicitamos, portanto, a sua autorização para a aplicação do referido formulário, possibilitando a execução dessa fase de coleta de dados indispensável para a conclusão do projeto.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos de apresentação obrigatória estão de acordo com as recomendações sobre pesquisas com seres humanos, baseados nas Resoluções 466/12 e 510/16 do CNS.

Recomendações:

Quando da coleta de dados, o TCLE deve ser elaborado em duas vias, rubricado em todas as suas páginas e assinado, ao seu término, pelo convidado a participar da pesquisa, bem como pelo pesquisador responsável, ou pessoa(s) por ele delegada(s), devendo todas as assinaturas constar na mesma folha. Não é necessário apresentar os TCLEs assinados ao CEP/UFV. Uma via deve ser mantida em arquivo pelo pesquisador e a outra é do participante da pesquisa.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

Ao término da pesquisa é necessário apresentar, via notificação, o Relatório Final (modelo disponível no site www.cep.ufv.br). Após ser emitido o Parecer Consubstanciado de aprovação do Relatório Final, deve ser encaminhado, via notificação, o Comunicado de Término dos Estudos para encerramento de todo o protocolo na Plataforma Brasil.

Projeto aprovado autorizando o início da coleta de dados com os seres humanos a partir da data de emissão deste parecer.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2466191.pdf	06/02/2025 09:42:15		Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	CartaResposta.docx	05/02/2025 16:01:58	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Outros	questionariomodificado.docx	05/02/2025 15:42:36	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Orçamento	orcamentomodificado.pdf	05/02/2025	CLAUDIO LISIAS	Aceito

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário **CEP:** 36.570-977
UF: MG **Município:** VICOSA
Telefone: (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
VIÇOSA - UFV



Continuação do Parecer: 7.447.559

Orçamento	orcamentomodificado.pdf	15:35:56	MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	declaracao.pdf	05/02/2025 15:34:56	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLEMODIFICADO.pdf	05/02/2025 15:32:09	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Cronograma	Cronogramamodificado.docx	05/02/2025 15:31:13	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Folha de Rosto	folhaderosto.pdf	06/12/2024 14:14:06	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA.docx	06/12/2024 14:10:03	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Outros	questionario.pdf	04/12/2024 11:21:43	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto.pdf	02/12/2024 19:41:57	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Brochura Pesquisa	projeto.docx	02/12/2024 19:41:09	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	02/12/2024 19:33:10	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	02/12/2024 19:00:01	CLAUDIO LISIAS MAFRA DE SIQUEIRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário **CEP:** 36.570-977
UF: MG **Município:** VICOSA
Telefone: (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
VIÇOSA - UFV



Continuação do Parecer: 7.447.559

VICOSA, 18 de Março de 2025

Assinado por:
Guilherme de Azambuja Pussieldi
(Coordenador(a))

Endereço: Universidade Federal de Viçosa, Avenida PH Rolfs s/n, Edifício Arthur Bernardes
Bairro: Campus Universitário **CEP:** 36.570-977
UF: MG **Município:** VICOSA
Telefone: (31)3612-2316 **E-mail:** cep@ufv.br

ANEXO B – Formulário técnico para avaliação da gestão de produtos químicos nos laboratórios da UFV

In order to submit this form, you should open it with Adobe Acrobat Reader.

Formulário Técnico para Avaliação da Gestão de Produtos Químicos nos Laboratórios da UFV

"Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética da UFV (Processo nº 7.447.559, em 18/03/2025), e todos os dados coletados serão mantidos em sigilo e utilizados exclusivamente para fins acadêmicos."

4- Há quantos anos você trabalha no laboratório?

Favor selecionar

5 - Assinale quais são os produtos químicos mais utilizados em seu laboratório e quais as frequências de uso (Semanal/Mensal/ Trimestral, etc.) e quantitativo estimado (Gentileza colocar a métrica utilizada - mg/ml/Lt/Kg)

	Quantidade	Frequência de Uso
Acetato de chumbo	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Acetona	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Acetonitrila	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ácido Fosfomolibdico	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ácido Fosfórico	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ácido Fosfotungstico	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ácido nítrico	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ácido perclórico	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ácido sulfurico	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Brometo de etídeo	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Cloreto de Bário	<input type="text"/>	<input type="text"/>
clorofórmio	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Dicromato de potássio	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fenolftaleina	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Metanol	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nitrato de potássio	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Óxido de Mercurio	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Paraformaldeido	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Sulfato de Sódio	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Tolueno	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Clorato de potássio	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ácido bórico	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Teclorato de potássio	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Henexano	<input type="text"/>	<input type="text"/>

6- Se existem produtos que não estão na lista acima por favor insira - os abaixo:

7- Como são armazenados os produtos químicos em seu laboratório? (Marque todos que se aplicam)

- Embaixo da pia dos laboratórios
- Em armários ventilados
- Almojarifado Central do Departamento
- Bancada
- Em armários fechados sem ventilação
- Refrigerados
- Em frascos âmbar
- Em frascos comum
- Em bombonas
- Em sacos plásticos comuns
- Em frascos rígidos devidamente identificados

8 - Como são identificados os produtos químicos em seu laboratório? (Marque todos que se aplicam)

- Rotulados em ordem alfabética
- Rotulados conforme periculosidade do produto
- Rotulados em português
- Rotulados em outro idioma com tradução
- Rotulados em outro idioma sem tradução

9- Onde são armazenados os resíduos químicos em seu laboratório?

- Embaixo da pia dos laboratórios
- Dentro dos armários
- Em local específico para armazenamento de resíduos
- Bancada
- Em galões plásticos
- Bombonas

11- Qual a periodicidade dos treinamentos de biossegurança em seu laboratório?

- Até 1 ano
- 1 a 5 anos
- 5 a 10 anos
- Nunca
- Sem periodicidade definida

12- Onde são descartados os resíduos perigosos (químicos) gerados no laboratório? (Marque todos que se aplicam)

- Direto na pia
- Lixo comum
- Instalações de tratamento de resíduos da própria instituição
- Empresa de gerenciamento de resíduos perigosos
- Aterro sanitário especializado

13- Quais procedimentos de biossegurança são seguidos no manuseio de produtos químicos em seu laboratório? (Marque todos que se aplicam)

- Uso de EPI (Equipamento de Proteção Individual)
- Luva
- Jaleco
- Touca
- Máscara
- Calçados fechados
- Óculos de proteção
- Treinamento regular de biossegurança
- Inspeções regulares de biossegurança
- Nenhuma das opções anteriores

14- Qual a periodicidade da revisão das Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) em seu laboratório?

- Até 1 ano
- 1 a 5 anos
- 5 a 10 anos
- 10 a 20 anos
- Nunca
- Sem periodicidade definida.

15- Como é realizado o seu processo para aquisição de produtos químicos em seu laboratório?

- FUNARBE
- Compras UFV
- Possui o cartão pesquisador de projetos que coordena
- SIF
- Recurso financeiro de Pós-graduação
- Other

