

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

KAREN PEREIRA DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO VELOCIDADE PARA DIMENSIONAMENTO
DE TANQUES DE SEDIMENTAÇÃO UTILIZADOS NO MANEJO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS EM UNIDADES DE PRODUÇÃO ANIMAL**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

KAREN PEREIRA DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO VELOCIDADE PARA DIMENSIONAMENTO
DE TANQUES DE SEDIMENTAÇÃO UTILIZADOS NO MANEJO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS EM UNIDADES DE PRODUÇÃO ANIMAL**

Relatório final, apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Cecília de Fátima Souza Ferreira

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

KAREN PEREIRA DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO VELOCIDADE PARA
DIMENSIONAMENTO DE TANQUES DE SEDIMENTAÇÃO UTILIZADOS
NO MANEJO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS EM UNIDADES DE PRODUÇÃO
ANIMAL**

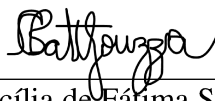
Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 29 de julho de 2022.

Assentimento:



Karen Pereira da Silva
Autora



Cecília de Fátima Souza Ferreira
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu força, coragem para conseguir chegar até aqui. A minha mãe Claudirlene, por ser minha fonte de inspiração, motivo pelo qual eu nunca desisti. Aos meus irmãos Jonas, Karine e Camila, que sempre me apoiaram e foram minha fonte de luz. Amo vocês! Ao meu namorado Jéssus, pelo amor, incentivo e companheirismo.

A todas as pessoas que me auxiliaram direta e indiretamente para que eu conseguisse chegar até ao fim dessa etapa. A professora Cecília que me guiou durante a realização deste trabalho sempre com muita calma e sabedoria. Em especial gostaria de agradecer também a Professora Fernanda, por ter me apoiado durante toda a minha graduação, sempre me ajudando e fazendo extrema diferença no meu perfil acadêmico e pessoal.

As amizades construídas na Universidade, que me proporcionaram momentos únicos de alegria, descontração e também aprendizado. Gostaria de agradecer a Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Agrícola e ao Núcleo de Pesquisa em Construções Rurais e Ambiente, por todo o auxílio que me foi dado durante todos esses anos. Minha eterna gratidão a todos que mencionei aqui e os que não mencionei, mas que estão sempre no meu coração.

RESUMO

SILVA, Karen Pereira da, Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, julho de 2022. **Determinação do parâmetro velocidade para dimensionamento de tanques de sedimentação utilizados no manejo de águas residuárias em unidades de produção animal.** Orientadora: Cecília de Fátima Souza Ferreira.

Devido ao panorama da produção animal, que se encontra em ascensão no Brasil, aumentou-se a preocupação e a responsabilidade com o meio ambiente, visto que as atividades agrícolas e agropecuárias geram grandes quantidades de resíduos que, em alguns casos, provocam sérios problemas de poluição. Além disso, os consumidores têm valorizado processos produtivos que gerem menos impactos ambientais. Objetivou-se com este trabalho determinar o parâmetro velocidade de sedimentação para elaboração de projetos de tanques de sedimentação, para manejo de resíduos em Unidades de Produção Animal de bovinos de leite e suínos. Os valores da velocidade de sedimentação foram determinados através de ensaios de proveta, aplicando o modelo matemático de Kynch. Com base nas condições estabelecidas no presente estudo, observou-se que as curvas de sedimentação obtidas pelos resíduos da suinocultura tiveram bons coeficientes de determinação, com valores entre 0,80 e 0,88, atestando que os dados são confiáveis para o dimensionamento de um sedimentador contínuo e que o método de Kynch, pode ser utilizado. Já as curvas de sedimentação dos resíduos da bovinocultura de leite não apresentaram bons coeficientes de determinação, com valores abaixo de 0,50, indicando baixa confiabilidade. Constatou-se que as curvas de sedimentação para os dois resíduos apresentam definidas apenas a zona de sedimentação livre e a de formação de sedimento, sendo a zona de transição não definida. Verificou-se também que a presença de microrganismos vivos resultantes da ação biológica, que estavam em suspensão, interferiam na sedimentação, especificamente nas alturas das interfaces. Para os resíduos de bovinos de leite, a velocidade média foi de $3,1 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$, obtida do ensaio em que se tinha a maior concentração de sólidos totais. O mesmo ocorreu para os resíduos da suinocultura que tiveram a velocidade média de $4,9 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$. A velocidade máxima encontrada nos ensaios realizados foi de $3,7 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ para os resíduos do gado de leite e $9,9 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ para os dos suínos. Nos decantadores de fluxo ascendente, para os quais se espera velocidade de sedimentação menores em relação aos resíduos dos suínos, deve-se realizar ajustes nos parâmetros da equação da área, para maior eficiência dessa estrutura.

Palavras-chave: Bovinocultura. Construções Rurais. Decantação. Suinocultura.

ABSTRACT

SILVA, Karen Pereira da, Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, July, 2022. **Determination of the parameters rate used on the sizing of sedimentation tanks for residual water management in animal production facilities.** Adviser: Cecília de Fátima Souza Ferreira.

Due to the ascending perspective of animal production taking place in Brazil, there has been a growing concern over the responsibility towards environmental issues, as agricultural and livestock activities produce a huge amount of residuals, that, in some cases, might cause pollution. Besides, most people value productive processes that result in less environmental impacts. The main focus of this paper is to establish the parameter of sedimentation rates, in order to formulate sedimentation tank projects, used to handle residuals in Animal Production Facilities of dairy and swine. The sedimentation rate values have been outlined through test tubes, using the Kynch's Theory Statement. Based on the conditions settled into this study, it has been noticed that the sedimentation curves obtained from swine farming residuals have had good coefficient of determinations, between 0.80 and 0.88, proving that the data are reliable to outline a continuous sedimenter and that Kynch's Theory can be used in it. On the other hand, the sedimentation curves of dairy residuals have not revealed good coefficient of determinations, under 0.50, which is not reliable. It has been realized that the sedimentation curves for both residuals are only defined in the free and sedimentation formation zones, however the transition one is not defined. It has also been noticed that the presence of living organisms resulting from biological action, which were suspended, interfered in the sedimentation process, especially the interface heights. For the dairy residuals the average rate was $3.1 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$, taken from the culture tubes that had a higher concentration of solids. The same thing happened for the swine farming residuals with the rate of $4.9 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$. The maximum rate found in the test tubes was $3.7 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ for dairy cattle and $9.9 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ for swine. The upflow decanter will have some area equation adjustments, for it is expected to have lower sedimentation rates compared to the swine residuals.

Keywords: Cattle Raising. Decanting. Rural Constructions. Swine Farming.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 A produção animal no Brasil	9
2.2 Caracterização das unidades de produção (UP's) para bovinos e suínos	10
2.3 A problemática ambiental	11
2.4 Manejo dos dejetos	12
2.5 Sedimentação	13
2.5.1 Zonas de sedimentação	14
2.5.2 Fatores que influenciam a sedimentação	16
2.6 Tanques de sedimentação	16
2.6.1 Decantador convencional	17
2.6.2 Projeto de Sedimentadores Contínuos	18
2.6.3 Projeto de Decantadores de fluxo ascendente	19
2.7 Modelagem matemática da sedimentação - Método de Kynch (1952)	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Amostragem	22
3.2 Análises das amostras	23
3.3 Monitoramento das curvas de sedimentação	25
3.4 Obtenção das curvas de sedimentação	26
3.5 Determinação da velocidade de sedimentação	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Concentração de Sólidos Totais nos Resíduos analisados	27
4.2 Curvas de Sedimentação dos Resíduos de Bovinos de Leite e de Suínos	27
5 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o grande fornecedor de alimentos do futuro, em virtude do panorama de desenvolvimento da produção agropecuária nos últimos 40 anos, destacando-se o papel da tecnologia como um vetor transformador e responsável por esse sucesso. Nesse contexto, o Brasil passou de importador de alimentos para um dos importantes celeiros de produção do mundo (EMBRAPA, 2018).

Todos os subsetores da agropecuária brasileira vêm apresentando grandes tendências de desenvolvimento, destacando-se primariamente a produção de carnes, ovos e leite e, gradualmente, nos demais setores produtivos. O setor da suinocultura, que é caracterizado pelo dinamismo da cadeia e uso intensivo de novas tecnologias, nas áreas da genética, nutrição, instalações e manejo, teve um aumento expressivo na oferta de carne. No ano de 2021, o Brasil exportou cerca de 1,137 milhões de toneladas e produziu 4,701 milhões de toneladas tornando-se o 4º produtor mundial dessa proteína (ABPA, 2022).

O leite é um importante alimento demandado pelo consumidor brasileiro, fato que avança o processo de produção. Em 2020, o Brasil atingiu uma produção de 24,965 mil toneladas de leite, com isto, o país se tornou o 7º maior produtor de lácteos a nível global, ficando logo atrás da China e Rússia. Além disso, esse subsetor figura como um significativo gerador de empregos no Brasil (CONAB, 2021).

Atualmente, os produtores rurais, precisam conciliar a preocupação e a responsabilidade ambiental, com a produção intensificada de alimentos, visto que as atividades agropecuárias geram grandes quantidades de resíduos que, em alguns casos, provocam sérios problemas de poluição. Além disso os consumidores têm valorizado processos produtivos que gerem menos impactos ambientais e que causem menos danos à saúde humana, como, por exemplo, uso mínimo ou nulo de agrotóxicos e sistemas de produção que não provoquem a degradação dos recursos naturais ou aumentem a emissão de gases de efeito estufa.

A geração de dejetos resultantes da criação de bovinos de leite, no Brasil no ano de 2009, considerando um peso médio de 450 kg por animal e um período de permanência de 365 dias, foi de 316.909,675 toneladas/ano. O maior rebanho é encontrado na região Sudeste, seguido da região Nordeste e Sul, gerando mais de 90 milhões de toneladas/ano de dejetos, considerando-se a criação somente em sistema confinado. Em contrapartida, a geração de dejetos de suínos, considerando um peso médio de 90 kg e um período de permanência de 135 dias, chega a um montante de 20.379,732 toneladas/ano, com destaque para a região sul do país,

onde há 6 milhões de cabeças de suínos e, portanto, é a região de maior produção de dejetos (SCHNEIDER et al., 2012).

Visando o tratamento primário dos dejetos, ou seja, a remoção de sólidos grosseiros, suspensos sedimentáveis e flotáveis, podem ser utilizados os tanques de sedimentação. Tais estruturas figuram como peças-chave do sistema, visto que, com o seu uso, pode-se aumentar a vida útil das lagoas e esterqueiras, com as quais venham a estar conectados, além de reduzirem a presença de maus odores.

A sedimentação é um dos processos de separação das interfaces sólido-líquido, que ocorre devido à força gravitacional que atua sobre as partículas do meio. O modelo matemático precursor para o dimensionamento de sedimentadores contínuos é o de Kynch (1952). Com tal modelo, é possível realizar o dimensionamento, à partir de dados experimentais obtidos em ensaios de proveta conduzidos em laboratório, possibilitando o traçado de curvas de sedimentação. Tomando-se como base o referido modelo e aplicando-se os dados obtidos dos ensaios laboratoriais, pode-se calcular as variáveis de projeto, tais como a velocidade de sedimentação.

Predizer os valores da velocidade de sedimentação, por meio do acompanhamento do processo de sedimentação dos resíduos e leitura de dados de espessura ou altura das interfaces, obtidas nas provetas e aplicados no modelo matemático de Kynch (1952), e destacar as variáveis mais significativas bem como suas interações, agrega uma grande economia de tempo, esforços e custos nos experimentos e, conseqüentemente, maior facilidade na concepção e elaboração de projetos dos sedimentadores. Como os cálculos de projeto dependem de parâmetros dessa natureza e como as características dos resíduos são variáveis em função de vários fatores, é de grande valia a condução periódica de ensaios em laboratórios para determinação dos mesmos e para monitoramento dos processos de manejo.

Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho, determinar o parâmetro velocidade de sedimentação para fins de análises comparativas, visando orientação de conduta para elaboração de projetos de tanques de sedimentação, para manejo de resíduos em Unidades de Produção Animal (UPA's) de bovinos de leite e de suínos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A produção animal no Brasil

A produção animal é a atividade responsável por uma das mais significativas parcelas do avanço do agronegócio brasileiro. É o meio a partir do qual se obtém os alimentos necessários para a sobrevivência da humanidade, além de ser fonte de emprego e renda. Tem como princípio básico a evolução reprodutiva, acompanhando o aumento da população a fim de suprir as suas necessidades (BARROS et al., 2017).

Num contexto geral, são sinalizadas projeções de continuidade do crescimento da produção animal no Brasil, destacando-se a avicultura, a suinocultura e a bovinocultura. A cadeia produtiva de aves no Brasil é bastante diversificada e complexa. Atualmente o Brasil exporta cerca de 4,610 milhões de toneladas, sendo o maior exportador mundial, tendo a Ásia e o Oriente Médio como os principais destinos. Produz cerca de 14,329 milhões de toneladas sendo o terceiro maior produtor dessa proteína. Os frangos são o segundo maior plantel nacional, perdendo a posição apenas para os bovinos. O País conta com 55 milhões de matrizes alojadas para corte e 1,3 milhões de matrizes para postura (EMBRAPA, 2021).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC), em 2020, o Brasil teve uma produtividade média de 65,5 kg de carcaça/ha/ano. Foi registrado um abate de 41,5 milhões de cabeças. Do total de carne produzida, 73,93%, tiveram como destino o mercado interno, enquanto 26,07%, foram destinadas às exportações. Em relação aos maiores produtores o estado do Mato Grosso lidera com 27.427 milhões de cabeça.

O setor da suinocultura brasileira não somente impulsiona a economia do país como um todo, mas também gera milhares de empregos nas localidades onde as atividades estão instaladas. Em 2021 foram produzidas 4,701 milhões de toneladas de carne de porco. Deste total, 75,81% foram destinados ao mercado interno e 24,19% foi destinado às exportações, levando o Brasil há ocupar a posição de 4º maior produtor mundial (ABPA, 2022).

Devido ao crescimento e às inovações tecnológicas empregadas na cadeia produtiva do leite ao longo das décadas, espera-se um aumento na demanda por produtos lácteos. Em relação à produção, 24.965 mil toneladas de leite foram produzidas no ano de 2020. Com destaque para o estado de Minas Gerais, que produziu 6.516,916 mil litros de leite no ano. Quanto à exportação de produtos lácteos, boas expectativas vêm sendo criadas devido ao panorama da cadeia produtiva do leite como um todo (CONAB, 2021).

Mediante as fortes demandas internas e externas por produtos de origem animal, e as vantagens que a produção gera para a população, sendo fonte de alimento, empregos e renda, investimentos em estudos e inovações tecnológicas são fatores imprescindíveis para maximizar o resultado produtivo animal.

2.2 Caracterização das unidades de produção (UP's) para bovinos e suínos

Uma unidade de produção animal (UPA) é definida como o espaço delimitado no qual é implantado e desenvolvido todo o processo de produção, com todas as estruturas e etapas pertinentes. Para a viável escolha da área, deve-se levar em consideração, na fase de pré-projeto, fatores como: análise do mercado consumidor, infraestrutura, clima e características locais. Após feita a seleção da área, com base nos critérios mencionados, o projetista, juntamente com o empreendedor, deve listar as instalações que farão parte do processo. Para se iniciar a rotina projetual, deve-se levar em consideração a topografia, acessos, orientação das instalações, espaçamento, setorização das atividades e fluxos de entrada e saída. A análise é realizada de forma que um conjunto concebido resulte em um espaço organizado e rentável, dentro da área determinada na fase de pré-projeto (SOUZA, et al., 2021).

Nas UPA's, o sucesso da cadeia produtiva está intimamente ligado ao projeto adequado das instalações. Na UP bovino de leite, considerando o sistema intensivo, que é o mais usual, os animais ficam confinados durante o ano, recebendo alimentação adequada nas instalações de confinamento. Dentre as de instalações do sistema intensivo, têm-se:

- *Free stall*, sistema que consiste em áreas com camas individualizadas, corredores de acesso e pistas de trato, organizadas no interior de um galpão coberto, destinado a atender novilhas ou animais adultos em produção;
- *Loose housing*, que é constituído de área de cama, única, coberta, além de alas de alimentação, contendo comedouros e bebedouros e área descoberta, como solário;
- *Compost Bedded Pack Barn*, que é uma tipologia recente de instalação, na qual os animais são mantidos sobre área de cama, feita de material específico, para garantir um processo completo de transformação biológica nesse meio. Nessa instalação há também um corredor onde se oferta alimentação e água para os animais (ANDRADE, 2021).

Para a produção de suínos os conjuntos de instalações adotadas, devem maximizar o processo produtivo, visando atender as condições básicas quanto a higiene, orientação das instalações, funcionalidade e custos. Nas UP's de suínos, devem ser adotadas construções diferenciadas, considerando-se tanto a produção em ciclo completo, englobando as fases de

reprodução e gestação, maternidade, creche, crescimento e terminação, quanto a produção em fases distintas conduzidas em sítios específicos (SEVERO, 2005).

Nas unidades de produção, dentre as instalações que são projetadas, destacam-se também aquelas que são destinadas ao manejo dos resíduos, que fazem parte do setor sanitário da unidade e são de grande importância para uma produção sustentável (SOUZA, et al., 2021). Devido ao fato de a produção animal gerar grande quantidade de resíduos, a concepção, planejamento e o projeto, que envolve o dimensionamento das estruturas para manejo e tratamento deles, devem ser feitos minuciosamente, visando os cuidados com o resultado produtivo e o meio ambiente, sendo estas definidas na etapa de pré-projeto.

2.3 A problemática ambiental

Considerando-se os produtos de origem animal, principalmente os destinados à alimentação, o mercado consumidor está cada vez mais exigente. O consumidor tem se preocupado com a origem dos alimentos, a forma como foram produzidos e com a influência do processo produtivo sobre o meio ambiente. A criação de animais de produção é considerada uma das principais atividades responsáveis pelo desmatamento, causando perda da biodiversidade, degradação do solo e poluição da água (HSI, 2011). Com o aumento da demanda por produtos de origem animal, a questão relativa ao destino dos rejeitos das atividades acabou se tornando um ponto prioritário a ser analisado.

A suinocultura é uma das atividades potencialmente causadoras de degradação ambiental, devido aos danos causados ao meio ambiente como poluição das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar. Assim, é enquadrada como de grande potencial poluidor pela Legislação Ambiental (Lei 9.605/98 – Lei de Crimes Ambientais). Nessa modalidade o produtor pode ser responsabilizado criminalmente por eventuais danos, caso haja descumprimento dos requisitos listados nas licenças ambientais. Para fins de licenciamento, as unidades de produção de suínos devem ser classificadas de acordo com o sistema de criação, número de animais e volume de resíduos gerados, sendo esta última informação de grande importância no planejamento do manejo a ser adotado (FAEP, 2021).

A produção de carne suína sustentável é pautada ao uso dos recursos na produção de forma racional a fim de não resultar em prejuízos ao meio ambiente. A suinocultura é uma atividade que demanda um elevado consumo de água, o que justifica o aumento da quantidade de resíduos (água residuária) e dispersão da matéria orgânica nos efluentes. Quando não devidamente tratados, esses resíduos podem causar sérios danos ao meio ambiente. Resíduos

como esterco, urina, adicionados de restos de ração, água e outros materiais diversos, são denominados dejetos. As características dos dejetos dos animais podem ser expressas por meio de propriedades físicas, químicas e biológicas e são essenciais para os projetos dos sistemas de tratamento (OLIVEIRA et al., 2016).

Um suíno produz em média 6,7 kg de dejetos por dia, a cada 100 quilos de animal vivo. Estima-se que a produção de dejetos de suínos pode variar de 60 a 100 litros/matriz/dia em uma granja de ciclo completo, 35 a 60 litros/matriz/dia em granjas produtoras de leitão e de 4,5 a 7,5 litros/cabeça/dia em granjas de produção de terminados. Trata-se de um animal com capacidade elevada de geração de dejetos o que requer especial atenção (DIAS et al., 2011).

A pecuária leiteira brasileira tem evoluído e se destacado. Com isso, considerando um grande percentual de UP's que adotam criação dos animais em sistemas de confinamento ou semi-confinamento, tem sido observada maior preocupação dos criadores com relação ao aumento do volume gerado de dejetos e ao manejo e armazenamento correto de fezes, urina e água desperdiçadas no bebedouro. Para fins de licenciamento ambiental, o empreendedor deve definir o sistema de criação (confinamento ou semi-confinamento), o número de animais do rebanho, volume e características dos dejetos produzidos (FAEP, 2021).

A realização incorreta do manejo dos dejetos pode causar sérios danos ao meio ambiente e aos próprios animais. Uma vaca produz em média 45 kg de dejetos por dia, considerando um peso vivo de 450 kg, sendo que nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S) e matéria orgânica estão presentes no dejetos em concentrações distintas, podendo também apresentar alto potencial poluidor, a depender das concentrações (MARTINS et al., 2016).

2.4 Manejo dos dejetos

Os dejetos de suínos são constituídos por uma fração sólida que pode ser transformada em composto orgânico e por uma fração líquida que concentra a maior parte dos nutrientes solúveis. O processo físico, que é a primeira etapa de tratamento, consiste em separar as duas fases. Dentre os métodos de separação, tem-se a decantação, centrifugação, peneiramento e/ou prensagem, desidratação por vento, ar forçado ou ar aquecido (CARDOSO et al., 2015). O método mais utilizado no manejo dos dejetos é a decantação, que consiste na separação dos dejetos pelas densidades das partículas, o que reduz seu potencial poluidor, tendo em vista que uma maior quantidade dos metais pesados, do fósforo orgânico e do nitrogênio orgânico, é removida nesse método (OLIVEIRA et al., 2016).

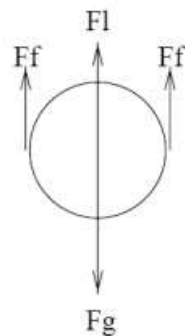
O manejo dos dejetos de bovinos deve ser conduzido conforme o sistema de produção, sendo determinantes a mão de obra e o tamanho do empreendimento. Este visa diminuir a carga orgânica, aproveitar os nutrientes, eliminar os organismos patogênicos e reutilizar água. Os sistemas de tratamento podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos. O sistema físico consiste em separar a fração sólida e líquida, evitando assim sobrecarga do sistema e deposição de sólidos. A decantação separa as fases sólidas e líquidas por gravidade e o dimensionamento deve considerar a gravidade dos constituintes, além de considerar a vazão do efluente e a velocidade de sedimentação (KUNZ et al., 2007).

2.5 Sedimentação

Segundo Cremasco (2012), a sedimentação é conceituada como uma operação de separação sólido-líquido, baseada nas diferenças de concentrações das fases da suspensão a ser processada pela ação gravitacional. As operações de sedimentação são realizadas em estruturas denominadas sedimentadores e tanques de decantação ou decantadores, e podem ser realizadas de maneira contínua ou descontínua (FOUST et al., 1982).

Durante a operação de sedimentação, a partícula sólida em suspensão sofre ação da gravidade, empuxo e resistência ao movimento. Pressupõe-se que qualquer partícula, suspensa em um meio líquido em repouso de menor massa específica, será acelerada pela ação da gravidade até que as forças de resistência viscosa sejam iguais ao peso da partícula, conforme esquematizado na Figura 1. Nesse momento, a velocidade descendente torna-se constante e passa a ser denominada velocidade de sedimentação ou terminal (GUIMARÃES, 2010).

Figura 1 – Forças atuantes em uma partícula sólida durante a sedimentação



Onde:

F_f = força de fricção entre as partículas e o fluido;

F_l = força de empuxo; e

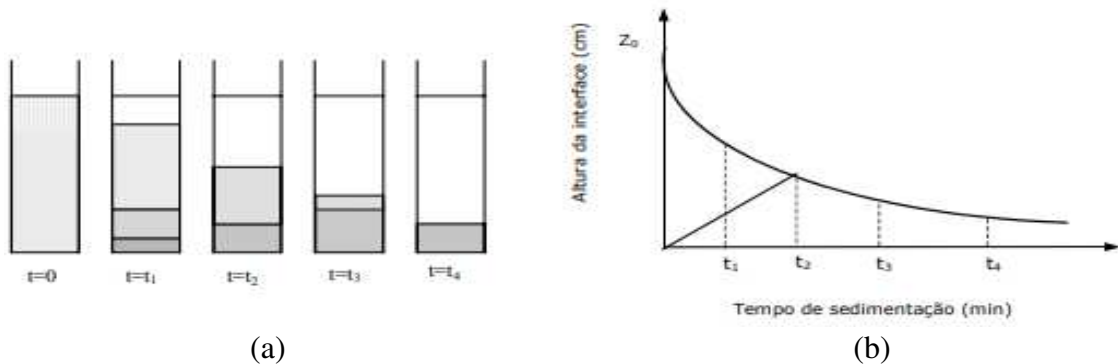
F_g = força externa, que nesse caso é a força da gravidade.

A velocidade de sedimentação depende das dimensões e forma das partículas e da massa específica. De acordo com a variação da concentração de sólidos e das características das partículas, tem-se a sedimentação de partículas floculadas, quando a massa das partículas se torna maior, provocando aumento da velocidade de sedimentação; sedimentação discreta, quando as partículas sedimentam individualmente; sedimentação em massa (flocos com alta concentração), quando há a formação da zona clarificada e a sedimentação por compressão, quando as partículas começam a aglomerar no fundo (FRANÇA; CASQUEIRA 2007).

2.5.1 Zonas de sedimentação

Os ensaios realizados em provetas, contendo certa suspensão de sólidos, é um dos mecanismos utilizados para melhor visualização do processo de sedimentação, bem como as distintas zonas que se formam (FOUST et al., 1982). As partículas sólidas que compõem a suspensão podem ser de dois tipos: materiais decantáveis, que sedimentam livremente com velocidade de queda constante e diretamente proporcional ao seu peso específico e as floculadas que são produtos da coagulação de certo material coloidal e sólidos suspensos (CLAAS; MAIA, 1994). Na Figura 2, podem ser visualizadas as zonas formadas nos ensaios de sedimentação em provetas.

Figura 2 – Representação das zonas de sedimentação de uma suspensão, visualizadas por meio do ensaio de provetas (a) e curva de sedimentação resultante do ensaio (b)



Fonte: França e Casqueira (2007).

Como é ilustrado na Figura 2, França e Casqueira (2007), mencionam que, no início todas as partículas começam a sedimentar e rapidamente se aproximam de suas respectivas velocidades terminais:

- **$t=0$** : todas as partículas da suspensão em análise estão dispersas no meio líquido;
- **$t=t_1$** : as partículas de maior densidade se movimentam para o fundo da proveta devido a ação da força da gravidade e as de menor densidade permanecem em equilíbrio com o meio líquido;
- **$t=t_2$** : as partículas de densidade menor permanecem em equilíbrio com o meio líquido. Entretanto, quando a força peso da partícula é maior do que a força exercida em sentido oposto, as partículas de menor densidade também começam a se movimentar no sentido do fundo da proveta;
- **$t=t_3$** : é formada a interface de partículas descendentes, com velocidades diferentes, que vão formando a região de compactação. Ao mesmo tempo em que essa interface desce, formando acima dela uma região de líquido clarificado, a interface inferior sobe, formando abaixo dela uma região de compactação de sólidos (espessado). Nessa região, as partículas sólidas já começam a interagir entre si, aparecendo o efeito de resistência ao movimento imposto pelo meio;
- **$t=t_4$** : todas as partículas sólidas sedimentam, formando a região de compactação, no fundo da proveta (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007).

Além da construção da curva de sedimentação, o ensaio em proveta permite prever os dados da velocidade de sedimentação da fase sólida, concentração final de sólidos e tempo

necessário para a sedimentação. Na Figura 2-b, pode-se verificar que a redução da velocidade de sedimentação, por fase ou transição, é representada inicialmente pelo ponto de inflexão da curva e a região de compactação, onde o compartimento do gráfico se encontra retilíneo paralelo ao eixo t, significando que não há mais sedimentação em pequenos intervalos de tempo (FRANÇA; CASQUEIRA, 2007).

2.5.2 Fatores que influenciam a sedimentação

A natureza das partículas, o pré-tratamento, a concentração de sólidos e a área do sedimentador são os fatores que mais influenciam a sedimentação. Suspensões muito concentradas em relação a uma partícula isolada apresentam característica de sedimentação bem diferente, podendo assumir um perfil decrescente devido a concentração. Com relação à forma da partícula, as que são mais esféricas tendem a ter maior facilidade de sedimentação, quando comparadas com as de formato irregular. Nota-se o mesmo para partículas de diâmetros maiores que sedimentam mais rapidamente que as mais finas. Estas, por sua vez, tendem a permanecer na suspensão líquida. Suspensões muito concentradas apresentam características de sedimentação muito distintas, com impedimento para a ocorrência do fenômeno da sedimentação, gerando uma taxa de sedimentação não constante e tendendo a ser decrescente (FRANÇA; MASSARANI, 2004).

A presença de muitas partículas em um meio fluido aumenta a probabilidade de mais de uma mesma partícula apresentar a mesma trajetória no meio em que se encontra. Ao mesmo tempo, há também partículas de tamanhos e densidades diferentes sedimentando, com velocidades diferentes. Dessa forma, quanto maior a percentagem de sólidos em uma suspensão, menor será a velocidade (FRANÇA; CASQUEIRA 2007).

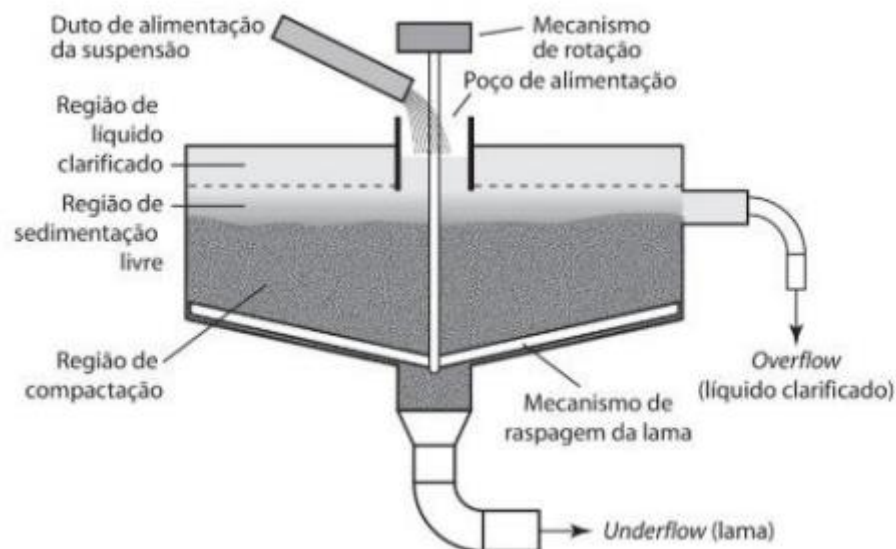
2.6 Tanques de sedimentação

Quanto à geometria, os principais modelos encontrados são os sedimentadores retangulares, circulares e quadrados. Ao se escolher determinado tanque de sedimentação, deve-se atentar para a existência de paredes ou obstáculos no trajeto da partícula, que podem reduzir a taxa de sedimentação. Tanques altos não alteram a velocidade de sedimentação nem a concentração de sólidos ao final, no entanto se a concentração de sólidos é muito alta deve-se adotar um tanque alto suficiente para que o processo de sedimentação aconteça livremente, sem que as partículas sofram desaceleração no fundo do tanque (FRANÇA; MASSARANI, 2004).

Os sedimentadores podem ser classificados como convencionais e não-convencionais. Os convencionais apresentam o diâmetro bem maior que a altura e são constituídos de um tanque com alimentação e dispositivos para descarga do *overflow* (saída do líquido límpido ou clarificado) e do *underflow* (saída do espessado ou lama). Já os não-convencionais são classificados assim quando são submetidos a qualquer tipo de modificação, se diferenciando do convencional. Por exemplo, pode-se citar as alterações mecânicas nos mecanismos de raspagem e retirada da lama ou no modo de alimentação da suspensão, a fim de se adaptar a uma situação específica (LIRA, 2010).

Na Figura 3, está esquematizado o modelo de sedimentador convencional contínuo, que possui três correntes de fluxo: a alimentação, contendo a suspensão que se deseja processar; o *overflow* e a corrente de *underflow*. Este é o mais utilizado e tem como vantagens: tempos de retenção menores para as lamas, melhor efeito de filtragem, baixos requisitos de manutenção; e como desvantagens: maior probabilidade de curto-circuito nas zonas periféricas, mais suscetíveis à ação do vento e perda de carga elevada (CREMASCO, 2012).

Figura 3 – Traçado esquemático, em corte, de um sedimentador convencional contínuo



Fonte: Cremasco (2012).

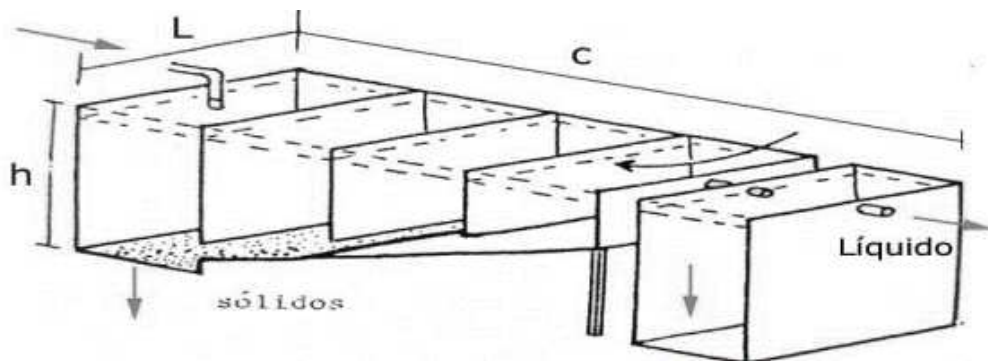
2.6.1 Decantador convencional

O decantador é uma das estruturas mais simples, usadas no tratamento primário, onde é feita a separação física dos dejetos animais, mas também é o que apresenta a menor eficiência

de separação (sólido/líquido). O seu dimensionamento é realizado de acordo com a característica dos dejetos e da vazão diária gerada diariamente (DIAS et al., 2011).

O decantador de fluxo ascendente, Figura 4, tem como objetivo agregar eficiência ao tratamento primário, por meio da recuperação de sólidos sedimentáveis (lodo) facilitando assim tratamento da fase líquida. Tem como vantagens, a simplicidade operacional, baixo custo de implantação e manutenção, redução do poder poluente, produção de lodo com alto poder fertilizante, maior concentração de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) por unidade de volume transportado. No entanto, tem como desvantagens, a demanda de mão-de-obra operacional para drenagem de lodo e maior controle sobre a vazão/hora de alimentação, visto a dimensão do mesmo as vezes não dá o suporte adequado ao tratamento (OLIVEIRA, 2007).

Figura 4 – Traçado esquemático, em vista tridimensional, de um decantador de fluxo ascendente



Fonte: Oliveira (2007).

2.6.2 Projeto de Sedimentadores Contínuos

O projeto de sedimentadores contínuos é baseado nos dados de diâmetro e altura do sedimentador, de acordo com a finalidade de espessar ou clarificar determinada solução (DAMASCENO; MASSARANI, 1993). O dimensionamento pode ser realizado de maneira simples com dados experimentais obtidos facilmente em ensaios de provetas realizados em laboratório. A área do sedimentador contínuo, utilizando a equação de Kynch (1952), pode ser determinada pela equação 1.

$$A = \frac{Q_A C_A \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_e} \right)}{v_s} \quad (1)$$

Em que:

A = área do sedimentador contínuo (m^2);

Q_A = vazão volumétrica da suspensão alimentada ao decantador (m^3/h);

C_A = concentração de sólidos na suspensão alimentada (g/L); e

C_e = concentração de sólidos ao final do período de espessamento (g/L).

Os valores de concentração de sólidos e velocidade de sedimentação, utilizados da equação são determinados nos gráficos pelo traçado das tangentes às curvas geradas, método de Kynch (1952).

2.6.3 Projeto de Decantadores de fluxo ascendente

Em projetos de decantadores de fluxo ascendente, a área é calculada em função da velocidade de sedimentação dos sólidos presentes e da vazão diária do efluente. De acordo com Oliveira (2007), a velocidade deve ser determinada por meio de ensaios em laboratórios. No entanto, caso não seja possível proceder os ensaios, é possível adotar a velocidade dentro de um intervalo de $0,08 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ a $0,33 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ para os resíduos de suínos.

Já segundo Campos (1997), considerando as características de sedimentação de fezes frescas de esterco de bovinos de leite, cita que em projetos de decantadores deve-se usar uma velocidade máxima de sedimentação de $18 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$, devendo o decantador ter as devidas modificações estruturais para atender a produção de resíduos. A área pode ser calculada por meio da equação 2.

$$A = Q \times vs \quad (2)$$

Em que:

A = área do decantador de fluxo ascendente (m^2);

Q = vazão horária do efluente (m^3/h); e

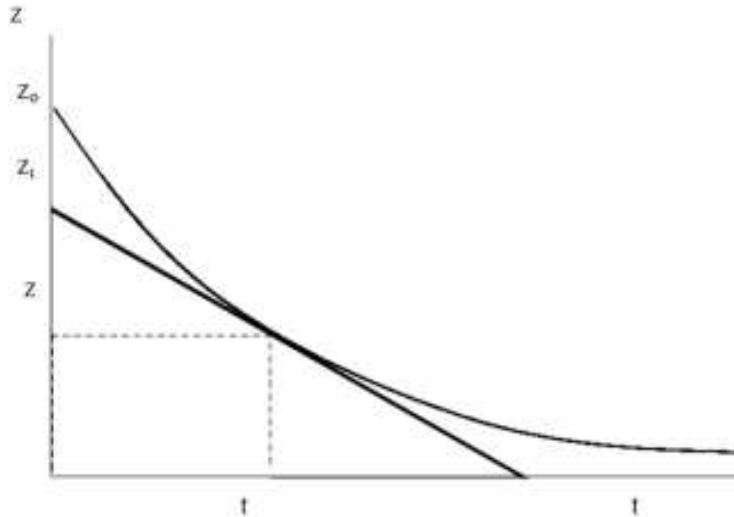
vs = velocidade de sedimentação das partículas (m/h).

2.7 Modelagem matemática da sedimentação - Método de Kynch (1952)

O método de Kynch, que é um dos precursores na modelagem matemática para sedimentação, foi desenvolvido em 1952. Tal método parte do pressuposto de que para realizar o dimensionamento de decantadores, é necessário apenas um ensaio que forneça a curva de

sedimentação da altura (Z) registrada na proveta em relação ao tempo (t), conforme representado na Figura 5. De posse desses dados, é possível determinar a concentração (C) e a velocidade de sedimentação (v_s), necessários para os cálculos de fluxos de sólidos.

Figura 5 – Representação gráfica da curva gerada para determinação de parâmetros da sedimentação, pelo método de Kynch



Fonte: Lira (2010).

A equação 3, apresentada abaixo, é utilizada para o cálculo da velocidade de sedimentação (v_s) e a equação 4 para o cálculo da concentração de sólidos (C), usadas no modelo de Kynch (1952).

$$v_s = \frac{Z_i - Z_0}{t} \quad (3)$$

$$C = \frac{C_0 \cdot Z_0}{Z_i} \quad (4)$$

Em que:

C = concentração de sólidos da suspensão (g/L);

C_0 = concentração inicial de sólidos da suspensão (g/L);

Z_i = ponto no qual a tangente toca o eixo y (cm);

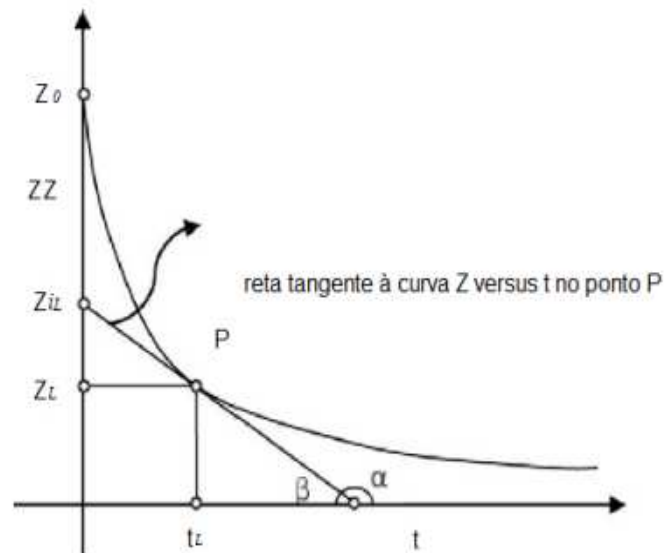
Z_0 = altura inicial da suspensão (cm);

Z = altura da interface (cm); e

t = tempo até atingir a altura da interface em análise (minutos).

Assumem-se como hipóteses que: a velocidade de sedimentação de todas as partículas na dispersão depende apenas da concentração local de sólidos; a concentração aumenta com o tempo no fundo do recipiente; e a velocidade tende a zero quando a concentração tende a seu valor máximo e os efeitos da parede podem ser desconsiderados. Kynch descreveu a suspensão como um meio a partir do qual a concentração varia com o tempo da mesma forma que a velocidade superficial dos sólidos varia com a posição ao longo da coluna (AROUCA, 2007). Esta metodologia é conhecida como método das tangentes, no qual a partir do ponto de inflexão em P, de coordenadas (t_L, Z_L) , pode-se obter a velocidade de sedimentação, através da reta tangente à curva no referido ponto, Figura 6 (DA SILVA, 2018).

Figura 6 – Traçado da tangente pelo método de Kynch (1952)



Fonte: Da Silva (2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostragem

Para a realização das análises de sedimentação, as amostras utilizadas foram obtidas das Unidades de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) em Gado de Leite e em Suinocultura, localizadas no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa, Minas Gerais. A amostragem foi feita de acordo com os protocolos recomendados para águas residuárias. Na UEPE em Gado de Leite são gerados resíduos de um total de 120 animais confinados, sendo vacas em produção, novilhas e bezerras. As amostras analisadas foram coletadas na caixa receptora após o sistema de gradeamento, Figura 7.

Figura 7 – Caixa receptora de águas residuárias geradas na UEPE em Gado de Leite/UFV, onde foram coletadas as amostras para os ensaios de sedimentação



Fonte: Autora (2022).

Na UEPE em Suinocultura, os resíduos usados nos ensaios de sedimentação são gerados por um total de 320 animais, em ciclo completo, distribuídos nas unidades de cobertura e gestação, maternidade, creche, crescimento e terminação. Os efluentes gerados nas baias dos

suínos são canalizados até a caixa receptora, Figura 8, onde foram realizadas as coletas das amostras.

Figura 8 – Caixa receptora de águas residuárias geradas na UEPE em Suinocultura/UFV, onde foram coletadas as amostras para os ensaios de sedimentação

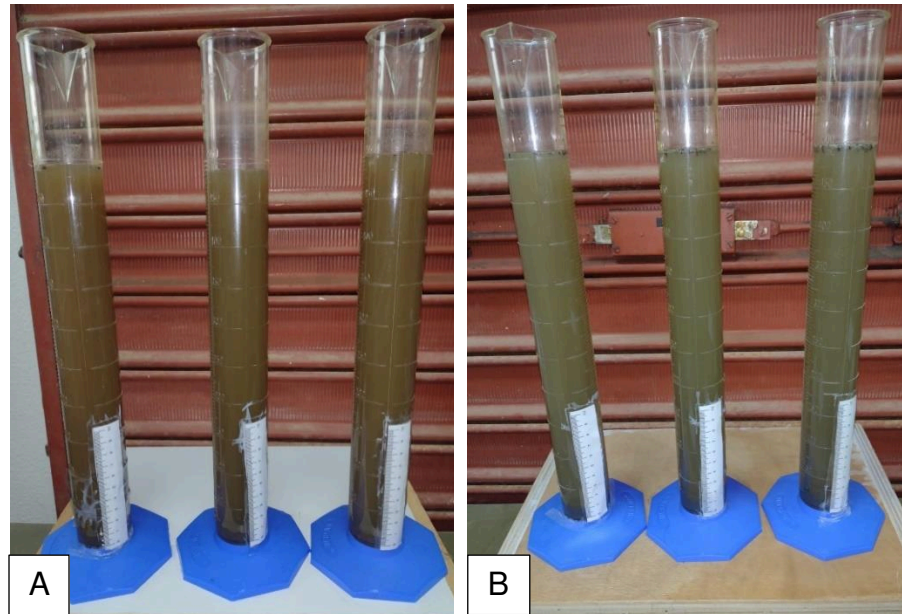


Fonte: Autora (2022).

3.2 Análises das amostras

A análise laboratorial das amostras coletadas nas UEPE's em Gado de Leite e Suinocultura, foi realizada no Laboratório de Digestão Anaeróbia (LDA), pertencente ao Núcleo de Pesquisa em Ambiente e Engenharia de Sistemas Agroindustriais – AMBIAGRO, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Para a realização dos ensaios, foram utilizadas provetas de 500 ml, contendo régua graduada aderidas à parede externa das mesmas, para fins de leitura das alturas das interfaces sólidas, como pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 – Visualização do processo de sedimentação em momentos específicos dos dois meios em estudo, (a) – ensaio com resíduos da bovinocultura de leite e (b) – ensaio com resíduos da suinocultura



Fonte: Autora (2022).

Como conduta de caracterização inicial dos resíduos, houve a necessidade da determinação da concentração de sólidos nos meios de estudos. Os valores de concentração de sólidos totais dos resíduos foram obtidos com base em adaptações que constam na metodologia proposta por LOUGON, et al., (2009). Para isso uma cápsula de porcelana foi bem lavada e aquecida em estufa a 105°C por, no máximo, uma hora. Após esta etapa, a cápsula foi transferida para um dessecador, com o auxílio de uma pinça de metal, ficando em resfriamento por uma hora. A cápsula resfriada, foi pesada em uma balança analítica obtendo-se o peso P1. Com o auxílio de um Erlenmeyer, 20 ml de amostra foram transferidos para as cápsulas anteriormente preparadas. As alíquotas das amostras foram transferidas para a estufa a 105°C por 24 horas. Com o auxílio de uma pinça, a amostra retornou ao dessecador para resfriar por uma hora. Após este período, a massa P2 da cápsula mais os sólidos retidos foram determinados. O cálculo da massa de sólidos foi feito por meio da equação 5.

$$Mst = \frac{(P_2 - P_1) \times 1000}{\text{Volume da amostra}} \quad (5)$$

Em que:

Mst = massa de sólidos totais (mg/L);

$P2$ = peso da cápsula mais os sólidos totais da amostra (mg);

$P1$ = o peso da cápsula vazia (mg); e

Volume da amostra é o volume da amostra inicial (mL).

As coletas das amostras dos resíduos da UEPE em Gado de Leite e em Suinocultura foram realizadas durante quadro dias selecionados no período de um mês, constituindo as repetições, sendo conduzidos ensaios de proveta para as amostras coletadas. Para cada dia de coleta, um volume da amostra de cada resíduos era utilizado para compor um meio de observação da sedimentação em provetas distintas. Ao fim do período experimental foram conduzidos ensaios de sedimentação num total de 12 (doze) provetas, para cada tipo de água residuária analisada.

3.3 Monitoramento das curvas de sedimentação

As suspensões dos resíduos coletados, foram preparadas em balão volumétrico e manuseadas em peneira de análise granulométrica, malha 28, a fim de se garantir uma granulometria uniforme. Cada balão volumétrico, referente a cada volume coletado, com os resíduos de bovinos de leite e suínos, foi agitado, visando a homogeneização da suspensão e, em seguida, o conteúdo foi transferido para as provetas com as réguas graduadas adaptadas para leituras em milímetros.

Durante os ensaios de sedimentação, conduzidos com o que foi proposto por Kynch (1952), monitorou-se a altura (Z) da interface sólido-líquido nas respectivas provetas graduadas. O início dos deslocamentos bem como os subsequentes, foram computados, por meio da altura registrada nas provetas em intervalos de tempo preestabelecidos de 30 segundos. O tempo total de cada ensaio conduzido foi de 60 minutos.

3.4 Obtenção das curvas de sedimentação

A partir dos dados obtidos nos ensaios de sedimentação dos resíduos de bovinos de leite e suínos, foram construídas as curvas de sedimentação (altura versus tempo) para cada ensaio conduzido, após o que, procedeu-se à determinação da velocidade de sedimentação.

3.5 Determinação da velocidade de sedimentação

De posse das curvas de sedimentação dos resíduos de bovinos de leite e suínos. Foi definido o ponto de inflexão nas curvas de sedimentação analisadas, a partir desse ponto foi traçada uma reta paralela ao eixo x, a qual determinou as alturas Z. O valor de Z_i , foi obtido no ponto no qual a reta tangente interceptava o eixo y. Com esses dados e aplicação da equação 3, foram determinadas as velocidades de sedimentação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Concentração de Sólidos Totais nos Resíduos analisados

Os resultados médios relativos à concentração dos sólidos totais iniciais de cada tipo de resíduo, obtidos antes de cada ensaio de proveta, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios da concentração de sólidos totais em g/L e sólidos em gramas, nos resíduos de bovinos de leite e de suínos, determinados antes de cada ensaio de proveta.

Ensaio	Concentração inicial de sólidos totais (g/L)	Sólidos (g)
Resíduos coletados na UEPE em Gado de Leite		
1	5,871	2,935
2	5,060	2,530
3	3,438	1,719
4	2,142	1,071
Resíduos coletados na UEPE em Suinocultura		
1	4,005	2,002
2	3,835	1,917
3	4,706	2,353
4	8,200	4,100

*Os números de 1 a 4 apresentados na primeira coluna, indicam os dias distintos de coleta das amostras, ao longo do período experimental.

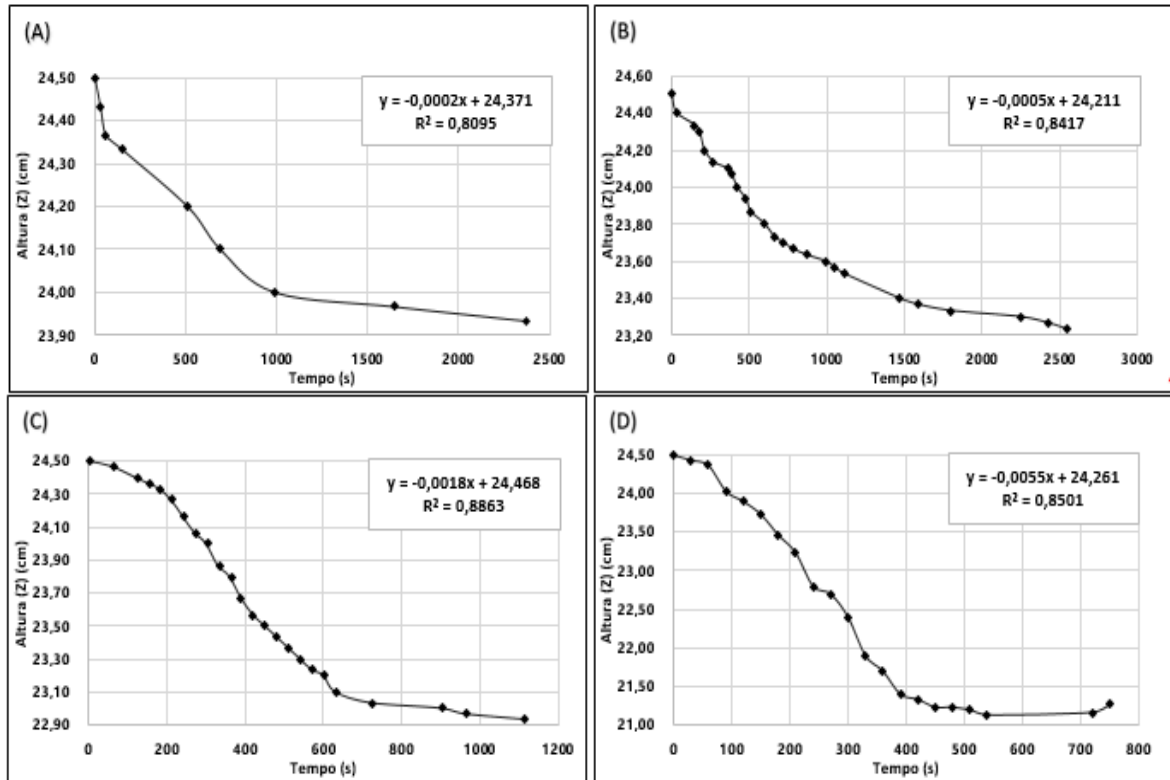
Fonte: Autora (2022).

Segundo o Manual da ASAE (2003), os sólidos totais dos resíduos (fezes, urinas) gerados da produção animal, considerando 1000 kg de massa de animal vivo por dia é de 12 kg para gado de leite e 8,5 kg para suínos. Nas análises realizadas para os dois resíduos coletados, considerando resíduos gerados para bovinos de leite com média de 450 kg de massa animal e suínos com 100 kg. Os sólidos determinados, informados na Tabela 1, possuem valores menores ao informados pelo referido manual, isso pode ser devido a diluição de ambos os resíduos visto a higienização das unidades de produção animal.

4.2 Curvas de Sedimentação dos Resíduos de Bovinos de Leite e de Suínos

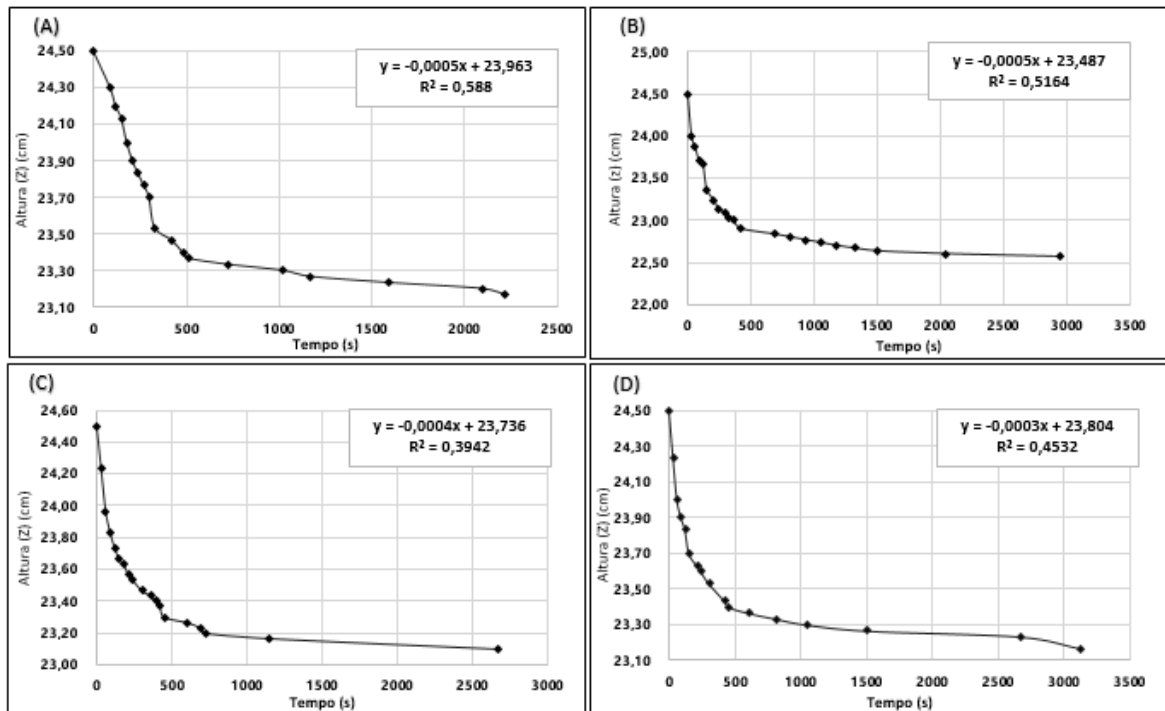
As curvas de sedimentação construídas, a partir dos ensaios de proveta para os resíduos coletados na UEPE em Suinocultura e em Gado de Leite, estão ilustradas nas Figuras 10 e 11, nas quais estão apresentadas as respectivas equações de ajustes, os coeficientes de determinação e as concentrações iniciais de sólidos totais.

Figura 10 – Curvas de sedimentação referentes aos resíduos de suínos, para as diferentes concentrações iniciais de sólidos totais, (a) concentração de 4,00 g/L; (b) concentração de 3,83 g/L; (c) concentração de 4,70 g/L e (d) concentração de 8,20 g/L



Fonte: Autora (2022).

Figura 11– Curvas de sedimentação referentes aos resíduos de bovinos de leite, para as diferentes concentrações iniciais de sólidos totais, (a) concentração de 5,87 g/L; (b) concentração de 5,06 g/L; (c) concentração de 3,44 g/L e (d) concentração de 2,14 g/L



Fonte: Autora (2022).

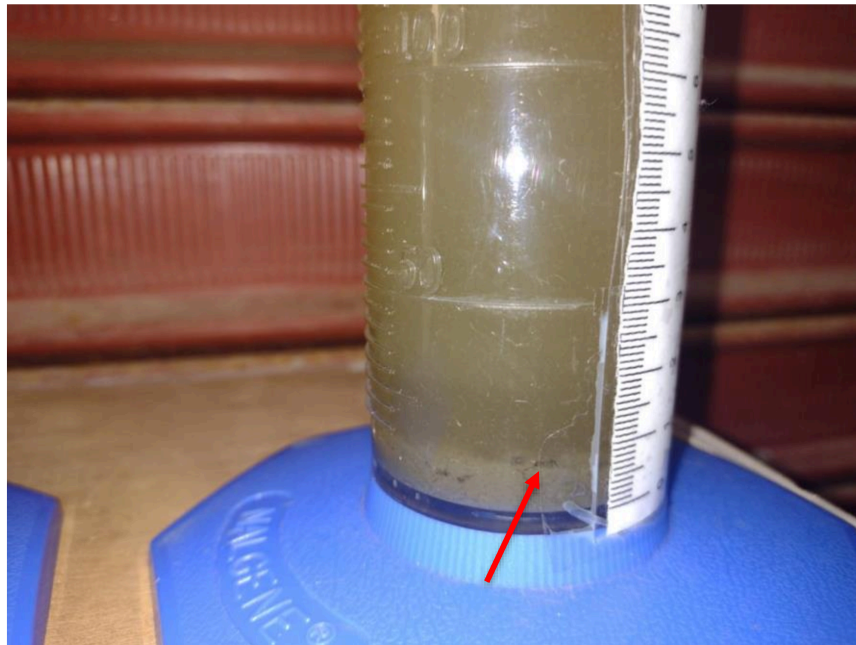
No início da contagem do tempo, como era esperado, as curvas de sedimentação para os dois resíduos indicaram que a velocidade foi constante. Segundo Foust et al., (1982), este comportamento ocorre, pois no início as partículas maiores sedimentam a uma taxa muito elevada, porém constante.

Para as curvas de sedimentação dos resíduos coletados na UEPE em Gado de Leite, após o ajuste linear, não foram encontrados bons coeficientes de determinação, com valores abaixo de 0,50. Inicialmente pode se inferir que há baixa confiabilidade para uso desse teste de sedimentação para predição da velocidade de sedimentação. Já as curvas de sedimentação dos resíduos coletados na UEPE em Suinocultura apresentaram bons coeficientes de determinação, variando de 0,80 a 0,88, apontando que os resultados obtidos apresentam boa confiabilidade e podem ser utilizados para os testes de sedimentação e uso do método de Kynch para determinar a área do sedimentador contínuo.

Constatou-se que a zona de sedimentação livre e as zonas de formação de sedimentos para ambos os resíduos apresentaram-se definidas, no entanto a zona de transição na maioria dos gráficos não se encontrou definida. Nas figuras 11-c e 11-d, é possível observar a existência de pontos nas curvas, nos quais a variação da altura, não indicou que o resíduo sólido está na

eminência de chegar ao fundo da proveta. Essa ocorrência pode ter sido causada pela presença de microrganismos vivos, Figura 12, que estavam em suspensão no meio líquido, resultantes da ação biológica, em alguns casos, formando até flocos de mais de um indivíduo e em outros, como uma unidade. Ao se processar os dados obtidos do deslocamento no sentido do fundo da proveta, houve essa interferência na sedimentação constante dos resíduos.

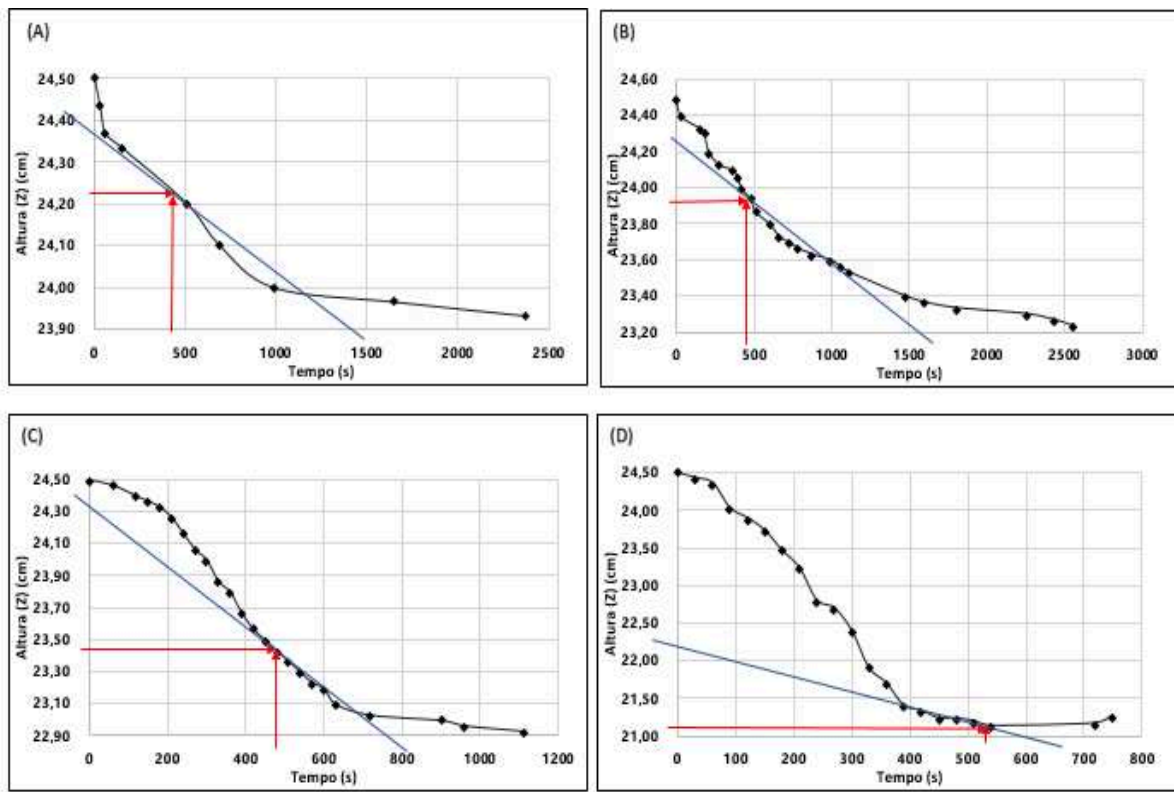
Figura 12 – Visualização do tipo de microrganismo presente na suspensão de resíduos de suínos, durante o ensaio de sedimentação



Fonte: Autora (2022).

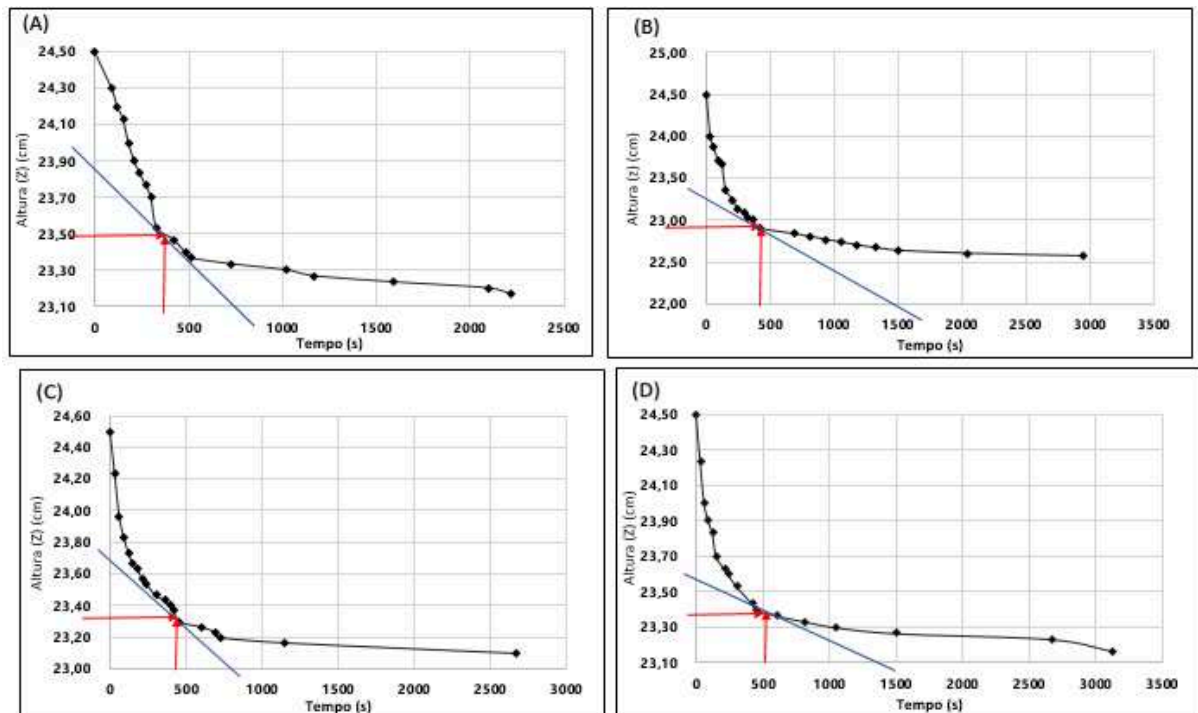
Nas figuras 13 e 14, são apresentados os traçados das tangentes, feitos com base no método de Kynch (1952).

Figura 13 – Representação dos traçados das tangentes e determinação da velocidade de sedimentação dos resíduos coletados na UEPE em Suinocultura



Fonte: Autora (2022).

Figura 14 – Representação dos traçados das tangentes e determinação da velocidade de sedimentação dos resíduos coletados na UEPE em Gado de Leite



Fonte: Autora (2022).

Na Tabela 2, são apresentados os valores da velocidade de sedimentação, em função da altura da interface (Z) do ponto no qual a tangente toca o eixo (Z_i) e o eixo do tempo mínimo (t_{min}), obtidos à partir dos traçados das tangentes das curvas, cujos gráficos estão apresentados nas Figuras 13 e 14. Em complemento, são apresentados os dados de desvio padrão e variância.

Tabela 2 – Valores médios obtidos de velocidade de sedimentação vs ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$), e da variância e desvio padrão em função de (Z), para os resíduos coletados nas UEPE's em Gado de Leite e Suinocultura

Amostras	Z (cm)	Zi (cm)	t (min)	Z média (cm)	Variância de Z (cm)	Desvio Padrão de Z (cm)	vs ($\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$)
Resíduos UEPE em Gado de Leite							
A	23,45	23,89	8,05	23,663	0,162	0,414	3,541
B	22,95	23,4	8,17	23,133	0,270	0,532	3,675
C	23,3	23,72	8,18	23,558	0,130	0,370	3,435
D	23,36	23,57	8,44	23,614	0,132	0,375	1,772
Resíduos UEPE em Suinocultura							
A	24,22	24,33	8,11	24,20	0,040	0,200	0,892
B	23,99	24,24	8,17	23,80	0,140	0,380	2,043
C	23,47	24,3	8,18	23,69	0,280	0,530	6,787
D	21,05	22,15	9,01	22,53	1,540	1,240	9,910

*As letras de A a D apresentadas na primeira coluna, indicam as amostras geradas nos dias distintos de coleta, ao longo do período experimental.

Fonte: Autora (2022).

Como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, a variação da velocidade de sedimentação foi diretamente proporcional à variação da concentração de sólidos, ou seja, aumentou à medida em que a concentração aumentou e diminuiu à medida em que a concentração diminuiu. Isso ocorre devido às interações entre as partículas serem maiores nas suspensões de maior concentração o que favorece a sedimentação.

Para os resíduos coletados na UEPE em Gado de Leite, a velocidade média esteve em torno de $3,10 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$, com desvio padrão em torno de 0,42, indicando um maior grau de homogeneidade das amostras. Os resíduos coletados na UEPE em Suinocultura apresentaram velocidade média em torno de $4,90 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$, com desvio padrão foi 0,58, indicando uma menor homogeneidade das amostras.

Segundo Oliveira (2007), a velocidade média de sedimentação para fins de dimensionamento de decantadores de fluxo ascendente deve ser em torno de $0,08 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ a $0,33 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ para os resíduos de suínos. Verificando as amostras analisadas, a velocidade de sedimentação foi maior em comparação a informada pelo autor, indicando que para esses resíduos, nessas condições o decantador de fluxo ascendente não seria eficiente.

O autor Campos (1997), cita que a velocidade de sedimentação de fezes frescas de esterco bovinos, usadas em projetos de decantadores deve ser de no máximo $18 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$. Ao

comparar com os resíduos analisados encontrou-se valores menores, indicando que o decantador proposto pelo autor pode ser viável para o tratamento primário desses resíduos, sendo necessário a realização de adaptações.

5 CONCLUSÃO

Com base nas condições estabelecidas no presente estudo foi possível concluir que:

- As curvas de sedimentação construídas para os resíduos dos suínos tiveram bons coeficientes de determinação, com valores entre 0,80 e 0,88, significando que os resultados obtidos nos experimentos são confiáveis para o dimensionamento de um sedimentador contínuo e que o método de Kynch (1952) pode ser utilizado. O mesmo não pode ser afirmado para os resíduos de bovinos de leite, para os quais foram encontrados coeficientes de determinação em média de 0,50.
- A presença de microrganismos gerados no meio por ação biológica interferiu na movimentação das partículas gerando alteração no perfil das curvas e consequentemente, nos registros de altura das interfaces de sedimentação dos meios.
- Para os resíduos coletados nas UEPE's em Suinocultura, não seria recomendado o uso de decantadores de fluxo ascendente para conduzir processos de sedimentação, pois as velocidades médias encontradas estiveram bem acima das recomendadas para projetos de tais estruturas. Já para os resíduos de gado de leite os decantadores de outras configurações, podem ser utilizados, visto a exigência de resíduos com maiores velocidades de sedimentação. As velocidades de sedimentação médias encontradas para os resíduos de suínos e bovinos de leite, foram respectivamente, $3,1 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ e $4,9 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$.
- Os resíduos apresentaram menor quantidade de sólidos por amostra analisada, como era de se esperar, devido ao fato de estarem diluídos em água.
- A maior velocidade foi encontrada na maioria das suspensões em que a concentração de sólidos era maior.
- Sugere-se como trabalhos futuros a realização do monitoramento das curvas de sedimentação por períodos mais longos, mantendo-se a constância das características dos resíduos, o que irá conduzir à obtenção de menores valores de desvio padrão. Posteriormente, devido a sua facilidade construtiva, sugere-se a montagem de um protótipo de sedimentador contínuo em laboratório, para se realizar testes em pequena escala e assim, acompanhar os valores de concentração de sólidos em resíduos nos pontos de saída/descarga. Essas condutas poderão agregar maior grau de refino nos resultados obtidos para os parâmetros utilizados nos dimensionamentos de tanques de sedimentação.

REFERÊNCIAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Perfil da pecuária no Brasil**. São Paulo: ABIEC, 2021.

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual de 2021**. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-AnualABPA-2022-vf.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ANDRADE, R. R. **Ambiência e bem-estar animal na produção intensiva de leite em sistemas Compost Barn fechados para a tipologia construtiva e clima do Brasil**. 2021. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

AROUCA, F. O. **Uma contribuição ao estudo da sedimentação gravitacional em batelada**. 2007. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

ASAE – Agricultural Engineering Yearbook Standards. ASAE. **Manure production and characteristics**. St. Joseph, 2003. p. 683-685 (ASAE D384.1 FEB03).

BARROS, J. P.; PAULA, L. C.; OLIVEIRA N. C.; OLIVEIRA, E. M. B.; RIBEIRO, J. C.; CEZARIO, A. S. Produção animal e os impactos ao meio ambiente. **Colloquium Agrariae**, v. 13, p. 381-390, 2017.

CAMPOS, A.T. **Análise da Viabilidade da Reciclagem de dejetos de Bovinos com tratamento biológico em sistema intensivo de produção de leite**.1997. 141 f. Tese (Doutorado em agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu – UNESP, 1997.

CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G. C.; DA SILVA, C. M. Produção, tratamento e uso dos dejetos suínos no Brasil. **Desenvolvimento em Questão**, v. 13, n. 32, p. 127- 145, 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Leite e derivados: análise mensal**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-leite>. Acesso em: 24 jun. 2022.

CLAAS, I. C.; MAIA, R. A. **Manual básico de resíduos industriais de curtume**. Porto Alegre, SENAI -RN, 1994.

CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluido mecânicos**. São Paulo. 2012.

DA SILVA, V. Q.; CARVALHO, R. S.; DIAS, L. L.; VELOSO, S. F. Dimensionamento de sedimentadores contínuos com base na modelagem matemática da sedimentação em proveta. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782)**, v. 3, n. 2, 2018.

DAMASCENO, J. J. R.; MASSARANI, G. **Cálculo da capacidade de sedimentadores através da determinação da permeabilidade do sedimento**. Anais do XXI Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, p. 233- 242, Ouro Preto, 1993.

DIAS, A. C.; CARRARO, B. Z.; DALLANORA, D.; COSER, F. J.; MACHADO, G. S.; MACHADO, I. P.; PINHEIRO, R.; ROHR, S. A. **Manual brasileiro de boas práticas agropecuárias na produção de suínos**. Brasília: ABCS: MAPA; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 140p. 2011.

EMBRAPA - Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Estatísticas**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Acesso em: 18 jun. 2022.

EMBRAPA - Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão 2030 - o futuro da agricultura brasileira**. Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Visão+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829>. Acesso em: 17 jun. 2022.

FAEP - Federação da Agricultura do Estado do Paraná. **Descomplica rural para bovinocultura de leite**. 2021. p. 4-66. Disponível em: <https://atual.sistemafaep.org.br/boletim/cartilha-descomplica-rural/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FRANÇA, S. C. A.; MASSARANI, G. Separação sólido-líquido. In: **Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 573-609, 2004.

FRANÇA, S. C. A.; CASQUEIRA, R. G. Ensaio de sedimentação. In: **Tratamento de Minérios: Práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 393-408, 2007.

FOUST, A. S.; WENSEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípio das Operações Unitárias**. 2.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982.

GUIMARÃES, F. A. V. **Revisão nos métodos de dimensionamento de espessadores e comparação dos modelos industriais**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

HSI – Humane Society International. **O impacto da criação de animais para consumo no meio ambiente e nas mudanças climáticas no Brasil**. 2011. Disponível em: https://www.hsi.org/wp-content/uploads/assets/pdfs/hsi-fa-white-papers/relatorio_hsi_impactos_pecuaria.pdf . Acesso em: 18 jun. 2022.

KUNZ, A.; ENCARNAÇÃO, R. Tratamento de dejetos de animais. **Gestão ambiental na agropecuária**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 167-191, 2007.

KYNCH, G. J. A theory of sedimentation. **Transactions of the Faraday Society**, v. 48, p. 166-176, 1952.

LIRA, J. R. **Estudo dos parâmetros que influenciam a floculação na sedimentação contínua**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

LOUGON, M.; ROCHA, S.; GUIMARÃES, H.; LOUZADA, F.; GARCIA, G. **Caracterização dos sólidos totais, fixos e voláteis nas águas residuárias geradas pela lavagem dos frutos do cafeeiro**. 2009. Departamento de engenharia florestal. Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em:

http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0142_1112_01.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

OLIVEIRA, R. M. **Biosistemas integrados na suinocultura**: Dossiê técnico. Instituto de Tecnologia do Paraná, (Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT), 62 p. 2007.

OLIVEIRA, P. D.; SAVIOTTI, B., PAZINATO, C., COSER, F., LEITÃO, F. **Suinocultura: de baixa emissão de carbono**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016.

SEVERO, A. C. J. **Metodologia para análise de projetos de sistemas intensivos de produção suinícola**, 2005. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SOUZA, C.F.; TINÔCO, I. DE. F.; BAÊTA, F. C.; SARTOR, V.; PAULA, M. O. DE. **Unidades para Produção Animal – UPA’s: planejamento e projeto**. Viçosa: UFV, 2021. 125 p. (Série Didática).

SCHNEIDER, V. E. P.; TRENTIN, D. **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012.