

DANIELA HIGGIN AMARAL

**POTENCIAL DE USO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE  
ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA PELA INDÚSTRIA DO ESTADO DO  
RIO DE JANEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A485p  
2019

Amaral, Daniela Higgin, 1976-

Potencial de uso da biomassa florestal na geração de energia térmica e elétrica pela indústria do estado do Rio de Janeiro / Daniela Higgin Amaral. – Viçosa, MG, 2019.  
xvi, 93 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Sebastião Renato Valverde.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 78-88.

1. Biomassa florestal. 2. Energia elétrica e calor - Cogeração. 3. Biocombustíveis. 4. Eucalipto. 5. Madeira.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.  
II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.989

DANIELA HIGGIN AMARAL

**POTENCIAL DE USO DA BIOMASSA FLORESTAL NA GERAÇÃO DE  
ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA PELA INDÚSTRIA DO ESTADO DO  
RIO DE JANEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2019.

---

Amaro Olímpio Pereira Junior

---

Márcio Lopes da Silva

---

Sebastião Renato Valverde  
(Orientador)

*À minha mãe (in memoriam).*

*Dedico...*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Oxalá, ao meu pai Xangô, à minha mãe Yansã e ao Sr. Zé Pilintra, meus guias, por todo apoio espiritual de ontem, hoje e sempre.

Ao meu irmão, Robert, por cuidar do meu pai enquanto estive longe para cursar o mestrado. Não tenho palavras para expressar minha gratidão por isso!

Ao meu pai, Mauro, por me fazer esquecer, como ele, de todos os problemas enfrentados durante esse período.

À Universidade Federal de Viçosa, ao programa de pós-graduação em Ciência Florestal e os funcionários do DEF por mais essa oportunidade.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Ao professor Valverde, por mais uma vez, ter estendido sua mão e ter me acolhido.

Ao professor Amaro Pereira pela disponibilidade e ajuda.

Às empresas que gentilmente cederam informações para a realização desse trabalho, em especial à Chaco-vaco Transporte, Comércio e Beneficiamento de Madeira e à ICAVI - Indústria de Caldeiras do Vale do Itajaí S.A..

À minha grande amiga Camila Savastano, pela acolhida no meu retorno, pelas infindáveis conversas, companhia, ensinamentos e, principalmente, por termos resgatado nossa amizade. Muito, muito obrigada!

À Helena Savastano, pelos hambúrgueres, sorvetes, tortas de limão e panquecas de desenho animado compartilhados entre uma aula e outra.

À minha outra grande amiga e inspiração, Ana Dantas, por todas as informações trocadas, por todos os contatos apresentados e pela companhia e apoio de sempre.

Apesar de não ter me patrocinado agradeço à Heineken pelo “suporte” nos piores e melhores momentos desta fase.

Às “Manxs tarja preta” pelas consultorias, risadas e desabafos.

À todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

Daniela Higgin Amaral, filha de Sheila Rosemary Higgin e Mauro Lima Amaral, nasceu em 24 de maio de 1976, natural de Niterói, Rio de Janeiro.

Graduou-se em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa, em outubro de 2006. Desde então, tem atuado em projetos e consultorias em empresas privadas e governamentais com foco no licenciamento ambiental e gestão do meio ambiente.

Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa em março de 2017, vindo a obter o título de mestre em 27 de fevereiro de 2019.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xi
RESUMO .....	xiii
ABSTRACT .....	xv
1. Introdução.....	1
1.1. A importância do Estudo .....	3
2. Objetivos.....	6
2.1. Geral .....	6
2.2. Específicos.....	6
3. Revisão de Literatura .....	7
3.1. Panorama do Setor Elétrico Brasileiro .....	7
3.2. Potencial e Participação da Biomassa Florestal na Matriz Elétrica Nacional .....	17
3.3. Elementos técnicos na cogeração de energia termelétrica com base na biomassa florestal.....	22
3.3.1. Equipamentos .....	27
3.3.2. Caldeiras.....	27
3.3.3. Turbinas a vapor .....	29
3.3.4. Geradores elétricos.....	30
3.3.5. Trocador de calor e condensadores.....	30
3.4. Propriedades da biomassa florestal para produção de energia termelétrica.....	31
3.5. Cenário Fluminense .....	33
3.5.1. Matriz energética do Rio de Janeiro.....	33
3.5.2. A silvicultura no estado do Rio de Janeiro .....	37

3.6. Geração de empregos.....	41
4. Materiais e Métodos .....	43
4.1. Pesquisa bibliográfica .....	44
4.2. Definição da população base do estudo .....	44
4.3. Estimativas dos potenciais de produção de biomassa florestal e cogeração de energia termelétrica .....	46
4.3.1. Estimativa do potencial teórico de produção de biomassa nas áreas identificadas para plantio .....	47
4.3.1. Estimativa do potencial técnico de geração de energia termelétrica .....	49
4.4. Estimativa da demanda de biomassa florestal pelos empreendimentos selecionados e área de plantio .....	50
4.5. Identificação das áreas potenciais para plantios florestais no estado do Rio de Janeiro .....	51
4.6. Potencial de geração de empregos.....	52
4.7. Análise comparativa dos custos de produção de vapor a partir de diferentes combustíveis.....	53
5. Resultados e discussão.....	55
5.1. Principais indústrias consumidoras de energia térmica e elétrica	55
5.2. Identificação e estimativa das áreas degradadas aptas para plantios comerciais.....	57
5.3. Núcleos industriais .....	60
5.4. Resultados do potencial de produção de biomassa florestal para produção de vapor e de energia elétrica .....	63
5.4.1. Potencial teórico de produção de biomassa florestal e energia	63
5.4.2. Potencial técnico de cogeração de energia termelétrica.....	68
5.5. Estimativa da demanda de biomassa florestal pelos empreendimentos selecionados e área de plantio .....	69

5.6. Potencial de geração de empregos pelo projeto .....	73
5.7. Análise comparativa dos custos de produção de vapor a partir de diferentes combustíveis.....	73
5.8. Recomendações e estudos futuros .....	74
6. Conclusões.....	76
7. Bibliografia.....	78
8. Anexos .....	89
8.1. Resultados das estimativas dos potenciais de produção de biomassa florestal e cogeração de energia termelétrica .....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Participação da biomassa na matriz energética (fev/18).....	19
Tabela 2: Geração elétrica em GWh.....	20
Tabela 3: Participação percentual de cada fonte na geração termelétrica no último quinquênio .....	21
Tabela 4: Consumo de energia por setor e por fonte renovável em 2017	21
Tabela 5: Empreendimentos em operação no Rio de Janeiro em fev/18	36
Tabela 6: Comparativo de área total dos efetivos da silvicultura no Brasil e no Sudeste, em hectares. ....	38
Tabela 7: Base de definição IBGE/SEBRAE para o porte de empreendimentos. ....	45
Tabela 8: Premissas florestais. ....	49
Tabela 9: Parâmetros técnicos para o cálculo do custo de produção de vapor. ....	53
Tabela 10: Resumo quantitativo de empreendimentos industriais no estado do Rio de Janeiro. ....	56
Tabela 11: Resumo dos resultados da produção de dendroenergéticos na área total identificada no estudo (62.124,20 ha). ....	67
Tabela 12: Estimativas da disponibilidade de combustível por hectare e total e energia técnica na área total identificada no estudo (62.124,20 ha). ....	68
Tabela 13: Parâmetros do dimensionamento técnico da UTE de referência. ....	69
Tabela 14: Resultados do dimensionamento técnico da UTE de referência. ....	70
Tabela 15: Consumo de combustível e área de plantio necessária ao atendimento da demanda de vapor para o cenário B. ....	71
Tabela 16: Consumo de combustível e área de plantio necessária ao atendimento da demanda de vapor em sistema de cogeração. ....	72
Tabela 17: Resultados globais para o cenário C. ....	72
Tabela 18: Potencial de geração de empregos nos 3 cenários avaliados. ....	73
Tabela 19: Simulação comparativa dos custos de produção de vapor. ...	74

Tabela 20: Estimativas de área disponível, volume de madeira, massa e volume de cavaco e energia teórica. ....	89
--	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura atual do Setor Elétrico Brasileiro. ....	9
Figura 2: Integração do sistema elétrico nacional, horizonte 2017. ....	11
Figura 3: Evolução da produção de energia primária. ....	18
Figura 4: Matriz elétrica brasileira 2017. ....	20
Figura 5: Representação da cogeração com ciclo Rankine. ....	23
Figura 6: Ciclo vapor com condensação e extração em cogeração e na geração elétrica. ....	26
Figura 7: Representação esquemática de caldeira flamotubular. ....	28
Figura 8: Representação esquemática de caldeira aquatubular. ....	29
Figura 9: Representação esquemática de tipos de turbinas a vapor. ....	30
Figura 10: Matriz energética do estado do Rio de Janeiro. ....	34
Figura 11: Emissões de CO <sub>2</sub> por setor no estado do Rio de Janeiro. ....	35
Figura 12: Zonas de distribuição de gás natural no Rio de Janeiro. ....	37
Figura 13: Áreas prioritárias para a criação dos distritos florestais no Rio de Janeiro. ....	41
Figura 14: Diagrama de etapas da pesquisa. ....	43
Figura 15: Distribuição das indústrias, principais municípios e maiores consumidores de vapor. ....	57
Figura 16: Áreas de pastagens degradadas no estado do Rio de Janeiro e distritos florestais. ....	58
Figura 17: Percentual de pastos degradados em relação à área total de pastagem degradada do Rio de Janeiro. ....	59
Figura 18: Principais áreas de pastagens degradadas no estado do Rio de Janeiro, distritos florestais e distribuição das indústrias. ....	60
Figura 19: Massa seca de cavacos, em t/ano, nos municípios com maiores áreas de pastagens degradadas. ....	64
Figura 20: Disponibilidade hipotética mássica de cavacos, em t/ano, nos municípios do estado do Rio de Janeiro. ....	65
Figura 21: Energia teórica, em GWh/ano, nos municípios com maiores áreas de pastagens degradadas. ....	66
Figura 22: Disponibilidade do potencial energético, em GWh/ano, nos municípios do estado do Rio de Janeiro. ....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulado
AGR	Agroindustriais
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
BIG	Banco de Informações de Geração
BPF	Baixo Ponto de Fluidez
CCEAL	Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre
CCEAR	Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
COELCE	Companhia Energética do Ceará
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
Ha	Hectares
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IMA	Incremento Médio Anual
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
kcal	Quilocaloria

kg Quilograma  
kW Quilowatts  
LAPIG Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento  
MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
MCP Mercado de Curto Prazo  
MME Ministério de Minas e Energia  
MW Megawatt  
MWh Megawatt-hora  
ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico  
PCI Poder Calorífico Inferior  
PCS Poder Calorífico Superior  
PCU Poder Calorífico Útil  
PIB Produto Interno Bruto  
PIE Produtores Independentes de Energia Elétrica  
PROINFA Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica  
RA Resíduos Animais  
RAIS Relação Anual de Informações Sociais  
REN Resolução Normativa  
RU Resíduos Sólidos Urbanos  
SDE Subsecretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico  
SEB Setor Elétrico Brasileiro  
SEBRAE Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas  
SEEG Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa  
SIG Sistemas de Informações Geográficas  
SIN Sistema Interligado Nacional  
t Tonelada  
tep tonelada equivalente de petróleo  
t/h Toneladas de Vapor por Hora  
UTE Usina Termelétrica  
ZEE Zoneamento Ecológico Econômico

## RESUMO

AMARAL, Daniela Higgin, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Potencial de uso da biomassa florestal na geração de energia térmica e elétrica pela indústria do estado do Rio de Janeiro.** Orientador: Sebastião Renato Valverde.

Este trabalho teve o objetivo de analisar o potencial do uso da biomassa florestal na geração de energia térmica e elétrica pelo setor da indústria do estado do Rio de Janeiro. Realizou-se uma busca na literatura objetivando: determinar as principais características do setor elétrico brasileiro, seus agentes e os principais aspectos do mercado de energia no país; a participação da biomassa florestal nos mercados de energia brasileiro e fluminense e suas principais propriedades; pesquisar o conhecimento existente sobre os elementos técnicos da cogeração de energia termelétrica a partir da biomassa florestal, destacando as principais rotas de conversão energética e as tecnologias de conversão em energia termelétrica; traçar um panorama da silvicultura no estado do Rio de Janeiro a fim de identificar seu potencial de crescimento e analisar a matriz elétrica estadual e suas emissões de gases do efeito estufa. Realizou-se uma amostragem em 59 empreendimentos da indústria de transformação identificando um consumo de 483 toneladas de vapor por hora em 43 empresas. Posteriormente, utilizou-se base de dados geográficos, de diferentes fontes, para evidenciar a existência de cerca 62.000 hectares de áreas de pastagens degradadas nos municípios fluminenses determinando quais regiões no estado apresentam aptidão ou vocação para a implantação de florestas energéticas. Em seguida, estimou-se o potencial teórico de produção de biomassa em, aproximadamente, 3,3 milhões de m<sup>3</sup>/ano e um potencial técnico de geração de energia termelétrica na ordem de 65.000 MWh/ano. Para a estimativa da demanda de madeira para a geração de energia térmica e elétrica foram traçados 3 cenários com diferentes combinações de processos de geração. Para o cenário A há uma demanda estimada de 835.000 t/ano de cavacos o que corresponde a uma área de 6.823 ha. O cenário B demanda em torno de 1,2 milhões de toneladas de cavacos por

ano, sendo necessária uma área de 10.214 ha. E para o cenário C estimou-se uma demanda de 1 milhão de t/ano de cavacos em 8.678 ha. Posteriormente, foi feita uma análise comparativa dos custos de produção de vapor e determinou-se a diminuição dos custos quando se compara os diferentes principais combustíveis fósseis usados pelo setor industrial fluminense. Por fim, este trabalho preconiza que há significativo potencial do uso da biomassa florestal como fonte de energia térmica e elétrica pela indústria do estado do Rio de Janeiro e tem o intuito de servir como instrumento de apoio para elaboração de políticas públicas de incentivo ao uso da biomassa florestal como insumo energético em substituição aos combustíveis fósseis.

## ABSTRACT

AMARAL, Daniela Higgin, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Potencial Use of Forest Biomass in the Generation of Thermal and Electric Energy by the Industry in the State of Rio de Janeiro.** Adviser: Sebastião Renato Valverde.

The objective of this study was to analyse the potential use of forest biomass in the generation of thermal and electric energy by the industry in the state of Rio de Janeiro. A literature search was carried out aiming to determining the main characteristics of the Brazilian electric sector, its agents and the main aspects of the energy market in the country; the participation of forest biomass in the Brazilian and Rio de Janeiro energy markets and their main properties; to research existing knowledge about the technical elements of thermoelectric power cogeneration from forest biomass, highlighting the main energy conversion routes and the technologies of conversion in thermoelectric energy; to draw a panorama of forestry in the state of Rio de Janeiro in order to identify its growth potential and to analyse the state electric matrix and its emissions of Greenhouse Gases. A sampling was carried out in 59 enterprises of the industry, identifying a consumption of 483 tons of steam per hour for the 43 companies researched. Subsequently, a geographic database was used, from different sources, to demonstrate the existence of about 62,000 hectares of degraded pasturelands in the municipalities of Rio de Janeiro state, determining which regions of the state present aptitude or vocation for the implantation of energetic forests. Then, the theoretical biomass production potential was estimated at approximately 3.3 million m<sup>3</sup>/year and a technical potential for thermoelectric power generation in the order of 65,000 MWh/year. For the estimation of wood demand for the generation of thermal and electric energy 3 scenarios were drawn up with different combinations of generation processes. For the scenario A there is an estimated demand of 835,000 t/year of woodchips which corresponds to an area of 6,823 hectares. The scenario B demands around 1.2 million tons of woodchips a year, requiring an area of 10.214 hectares and for the scenario C it was estimated a demand of 1 million tons per year of

woodchips in 8,678 hectares. Subsequently, a comparative analysis of the costs of steam production and the cost reduction was determined when comparing the different main fossil fuels used by the industrial sector of Rio de Janeiro. Finally, this work suggests that there is a significant potential the use of forest biomass as a source of thermal and electric energy by the industry in the state of Rio de Janeiro and intends to serve as a support tool for the elaboration of public policies to encourage the use of biomass as an energy input to fossil fuels.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica, além de ser um serviço indispensável à população, é estratégico para o desenvolvimento econômico dos países. O consumo de energia está diretamente relacionado ao aumento na demanda por produtos e serviços, o que necessariamente acompanha o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). Contudo, este desenvolvimento também depende de planejamento e estudo da utilização e diversificação das fontes de energia.

Para atender essas necessidades o Brasil conta com uma matriz energética formada predominantemente por fontes renováveis, as quais representam cerca de 80% da oferta interna de eletricidade. Desse montante, a principal fonte de geração de energia elétrica é a hidráulica que responde por 68% da oferta nacional (EPE, 2017a)

Dentre as fontes renováveis, a biomassa florestal para fins energéticos é caracterizada como uma fonte primária de energia sendo utilizada como combustível na forma de carvão vegetal ou consumida diretamente na forma de lenha, cavacos, resíduos florestais e resíduos industriais (licor negro) nos processos de geração de energia térmica, mecânica e elétrica.

No entanto, a sua participação na matriz energética nacional ainda é pouco explorada. De acordo com dados disponibilizados no Banco de Informações de Geração – BIG, da ANEEL (2018), apenas 8,74% da capacidade instalada no país são provenientes das usinas termelétricas movidas a biomassa agroflorestal (principalmente bagaço de cana e, em menor proporção, a biomassa florestal), demonstrando o grande potencial de uso desta fonte para a produção de energia elétrica.

Embora ela apresente uma eficiência reduzida na obtenção de energia, uma das suas características de destaque é a versatilidade. De acordo com (COUTO; DIAS MÜLLER; TSUKAMOTO FILHO, 2002), a biomassa pode ser usada pela queima direta da lenha na combustão, na carbonização da madeira para produção de carvão vegetal, no

aproveitamento de resíduos da exploração madeireira e também no aproveitamento de óleos essenciais, alcatrão e ácido pirolenhoso.

Outra possibilidade de uso que tem sido amplamente difundida é o cavaco e, segundo Miranda (2015), com a sua utilização é possível reduzir o custo da energia térmica gerada em comparação com o uso da lenha no processo, uma vez que o cavaco permite maior mecanização do processo e menor custo com mão de obra, o que impacta diretamente no custo final da energia. Nos últimos anos, diversos empreendimentos industriais vêm usando os resíduos de madeira para a geração de energia térmica, deixando de ser um passivo ambiental para ser uma fonte de energia renovável de baixo custo.

O “Atlas de Energia Elétrica no Brasil” (ANEEL, 2008) considera que para obtenção da energia elétrica a partir da biomassa é necessário converter a matéria-prima em um produto intermediário que será utilizado em uma máquina motriz. Essa máquina produzirá a energia mecânica que acionará o gerador de energia elétrica. Para tal, existem variadas rotas tecnológicas que são aplicadas tanto nos processos de geração quanto nos de cogeração - produção de dois ou mais energéticos a partir de um único processo para geração de energia - tradicionalmente utilizada por setores industriais.

A cogeração de energia viabiliza uma maior eficiência energética, pois além da geração de energia elétrica possibilita a utilização do vapor em processos industriais. Esta rota tecnológica apresenta benefícios econômicos, ambientais e sociais. Ainda assim, a cogeração com biomassa florestal contribui pouco para a produção de eletricidade no Brasil, ocorrendo principalmente em centrais autoprodutoras e o seu uso enfrenta barreiras e falta de uma política compatível.

Nesse contexto, o estado do Rio de Janeiro figura com grande importância no setor de energia elétrica nacional. O “Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017” (EPE, 2017b) apresenta os dados de geração e consumo das unidades da federação e mostra o estado como o 3º maior gerador e consumidor de energia no país no ano de 2016. De acordo com o documento, foram gerados 50.728 Gigawatt-hora (GWh), que

representa 8,76% do total produzido no país e consumidos 39.886 GWh, 8,70% do total em 2016.

Já no cenário da silvicultura, o estado apresenta pouca significância nesse setor. Segundo os resultados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (IBGE, 2017), o Rio de Janeiro possui área silvicultural total de 37.373 hectares, o que corresponde a menos de 0,5% de toda área plantada no país, sendo a maior concentração de florestas comerciais na mesorregião Centro Fluminense. Por outra perspectiva, existem no estado cerca de 630.000 ha de áreas com “Pastagens plantadas, degradadas por manejo inadequado ou por falta de conservação, e em boas condições, incluindo aquelas em processo de recuperação” (IBGE, 2007). Essas áreas normalmente apresentam baixíssima produtividade, indicando que uma parcela expressiva das mesmas poderia ser usada para o plantio de florestas sem algum impacto expressivo sobre a produção pecuária (FIRJAN, 2009).

Diante desses dados, é possível afirmar que a biomassa florestal apresenta grande potencial para sua expansão na matriz energética primária fluminense. Os fatores que possibilitam esse incremento são a disponibilidade de áreas para plantio, além de um mercado de energia próspero e estabelecido. Consoante a Ribeiro e Valverde (2016), o uso da biomassa florestal traz consigo a possibilidade de maximizar o aproveitamento energético perseguindo um ciclo de produção cada vez mais limpo, podendo-se ampliar os benefícios sociais através do desenvolvimento do setor florestal, envolvendo pequenos e grandes produtores e gerando oportunidades de emprego e renda.

### **1.1. A importância do Estudo**

Este trabalho é relevante no âmbito da Ciência Florestal, pois foi desenvolvido com o objetivo de abordar o emprego da biomassa florestal como uma fonte de energia renovável, fomentando o conhecimento acerca desse combustível a fim de promover o aumento da oferta de energia sustentável no estado do Rio de Janeiro. Salientando a relevância da utilização da biomassa florestal na matriz energética nacional e

estadual, busca demonstrar a competitividade econômica da biomassa florestal em relação aos principais combustíveis fósseis usados pelo setor industrial fluminense, discutir as vantagens do uso do cavaco de eucalipto na geração de energia térmica e elétrica e apresentar a possibilidade de desenvolvimento econômico e ambiental da região a partir da geração de emprego e renda e do aproveitamento racional de áreas antropizadas através do incentivo aos plantios florestais em áreas de pastos degradados.

O incremento da utilização da biomassa florestal como fonte de energia térmica e elétrica pode promover uma maior sustentabilidade e segurança da matriz elétrica fluminense atendendo, assim, as metas para redução das emissões de carbono do Brasil no Acordo de Paris e também para o cumprimento das metas inscritas na lei da Política Nacional sobre Mudança do Clima, além de incentivar a implantação de projetos de reflorestamento no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Do ponto de vista econômico, o desenvolvimento do setor florestal no Rio de Janeiro pode favorecer a arrecadação de impostos, a adição no PIB dos municípios, servir de atrativo para novos investimentos no estado e diminuir o custo das tarifas de energia elétrica.

Os projetos de reflorestamento, de pequeno e médio porte, presumidos neste trabalho e incentivados pelo uso da biomassa florestal para fins energéticos, têm elevado potencial de geração de emprego contribuindo para a manutenção de trabalhadores no campo e em áreas antes ociosas ou subutilizadas. Além disso, beneficia a estrutura fundiária local que é marcada pela forte concentração de terras.

O reduzido número de pesquisas sobre os aspectos tecnológicos e silviculturais dos plantios comerciais no estado do Rio de Janeiro também pode ser apontado como justificativa para a elaboração deste trabalho, bem como a necessidade de pesquisas relacionadas à produção de energia a partir da biomassa florestal visando disseminar conhecimentos acerca da viabilidade de substituição dos combustíveis fósseis pela madeira.

Portanto, diante do potencial energético da biomassa florestal e da disponibilidade de áreas ociosas e subutilizadas do estado do Rio de Janeiro, se faz jus o desenvolvimento de uma análise técnica e econômica sobre o uso da biomassa florestal para a produção de vapor e na cogeração de energia termelétrica pelo setor industrial deste estado.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

O objetivo geral deste trabalho foi analisar o potencial de uso da biomassa florestal na geração de energia térmica e elétrica pela indústria do estado do Rio de Janeiro.

### **2.2. Específicos**

Os objetivos específicos foram:

- Identificar e analisar os principais fatores de influência no uso da biomassa florestal na geração de energia térmica e elétrica;
- Identificar os potenciais setores industriais no estado do Rio de Janeiro para conversão de sua matriz energética;
- Quantificar a oferta de energia térmica e a demanda de biomassa necessária para a conversão;
- Realizar o levantamento de áreas potenciais para plantio no estado do Rio de Janeiro através do uso do SIG;
- Estimar o potencial teórico de produção de energia a partir da biomassa florestal na área de estudo;
- Estimar o potencial técnico de geração de energia elétrica e vapor para o estado do Rio de Janeiro;
- Avaliar os impactos econômicos, sociais e ambientais do uso da biomassa como fonte de energia.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Panorama do Setor Elétrico Brasileiro**

O setor elétrico brasileiro (SEB) apresenta um modelo complexo de grande porte que envolve uma multiplicidade de atores. Historicamente foi gerido por empresas estatais, porém a partir da década de 1990, passou por reformulações estruturais onde foram adotadas diversas medidas visando aumentar o investimento privado e eliminar as restrições aos investimentos internacionais elevando, assim, a concorrência no setor (COELCE, [s.d.]).

A reestruturação se deu por meio de duas grandes reformas e o início do processo foi embasado pela Lei Federal nº 9.074/1995, que estabeleceu normas para outorga e prorrogação das concessões de serviços públicos existentes e desverticalização dos serviços de energia elétrica. Em termos gerais, tal dispositivo: i) permitiu que os consumidores livres adquirissem energia elétrica diretamente de concessionárias, permissionárias ou autorizadas tendo, desta forma, a opção de escolher seu fornecedor; ii) criou a figura dos chamados Produtores Independentes de Energia Elétrica (PIE) que podem gerar e vender sua energia a consumidores livres, distribuidoras, comercializadoras, dentre outros e iii) concedeu aos consumidores livres e fornecedores de energia elétrica livre acesso aos sistemas de distribuição e transmissão (COELCE, [s.d.]).

No ano de 1996 a Lei Federal nº 9.427 instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e disciplinou o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica. Este conjunto de dispositivos legais contribuiu de forma significativa para o aprimoramento do modelo institucional do setor elétrico (GOMES, 2013).

Em 2001, o país viveu a maior crise energética de sua história tornando a questão do suprimento de energia um fator de preocupação para toda a sociedade e setores produtivos o que acarretou em um forte incentivo governamental em investimentos em geração e fontes alternativas de energia (LUIZ, 2012). Nesse período foi instituído pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, o Programa de Incentivos às Fontes

Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) que tem por objetivo aumentar a participação de fontes alternativas renováveis na produção de energia elétrica, privilegiando os produtores independentes autônomos (PIE) e tendo como intuito promover a diversificação da matriz energética brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica.

A implantação do chamado Novo Modelo do Setor Elétrico se deu no ano de 2004, com a publicação das Leis Federais nº 10.847 e 10.848 e do Decreto nº 5.163 os quais trouxeram novas diretrizes e regras aos processos de comercialização de energia elétrica, tendo como meta principal proporcionar aos consumidores fornecimento seguro de energia elétrica com modicidade tarifária visando o desenvolvimento do país (GOMES, 2013).

Atualmente, o mercado brasileiro de energia elétrica opera de forma regulada, contando com um conjunto de empresas concessionárias com maior ou menor nível de integração nos segmentos de geração, transmissão, distribuição e comercialização (BIN *et al.*, 2015).

A geração é o segmento responsável por produzir a energia, que no caso do Brasil, está baseado na produção hidrelétrica com eventual suporte das térmicas e atua tanto no Ambiente de Contratação Regulado (ACR) quanto no Ambiente de Contratação Livre (ACL) (CHAGAS, 2008).

O papel da transmissão é levar a energia elétrica da fonte geradora até os distribuidores. Por sua vez, os agentes distribuidores são responsáveis pelo repasse de energia de forma pulverizada para consumidores médios e pequenos. Esses dois grupos são regulados pela ANEEL, atuando dentro das normas de regulação impostas pelo governo.

Por fim, Chagas (2008) caracteriza o segmento de comercialização como as empresas as quais não detêm necessariamente as estruturas físicas (geradores e redes de distribuição), porém, respeitam as regras específicas de comercialização, compram e vendem energia elétrica.

No âmbito institucional, a estrutura do modelo elétrico do Brasil está voltada para as funções de planejamento setorial, segurança de suprimento, regulação e fiscalização e é baseada na atuação das seguintes instituições (Figura 1) (CCEE, 2018a).

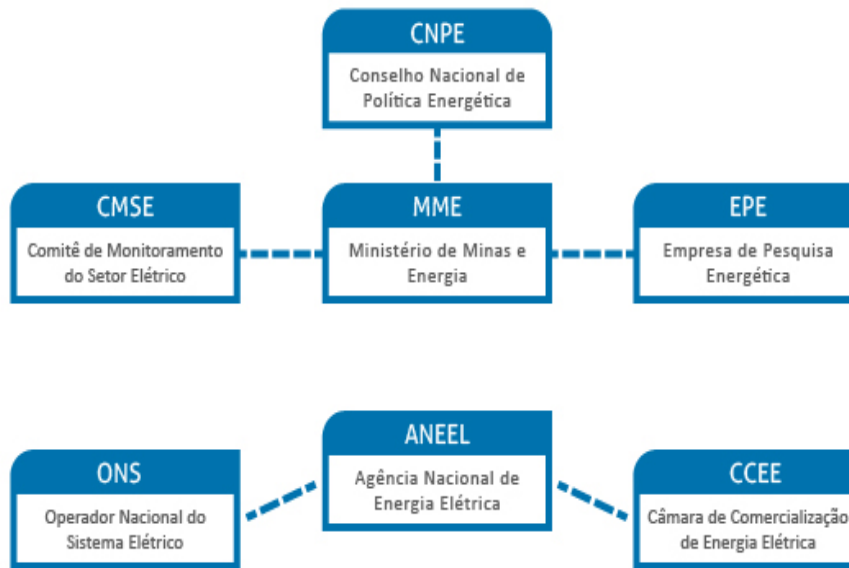


Figura 1: Estrutura atual do Setor Elétrico Brasileiro.

Fonte: CCEE (2018a).

- **CNPE – Conselho Nacional de Política Energética:** órgão interministerial que tem como principais atribuições a formulação de políticas e diretrizes de energia que assegurem o suprimento de insumos energéticos a todas as áreas do país.
- **MME – Ministério de Minas e Energia:** suas principais atribuições são formular e implementar políticas com base nas diretrizes do CNPE e regulamentar o setor energético.
- **CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico:** é um órgão sob coordenação direta do MME, criado com a função de acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território nacional.
- **EPE – Empresa de Pesquisa Energética:** responsável pelos estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético.
- **ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica:** tem as atribuições de fiscalizar e regular economicamente todos os segmentos do setor.

É responsável por promover os leilões para a contratação de energia elétrica pelos agentes de distribuição.

- **ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico:** gerencia o Sistema Interligado Nacional – SIN com foco no atendimento dos requisitos de carga, otimização de custos e a garantia de confiabilidade do sistema.
- **CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica:** atua como operadora do mercado brasileiro de energia elétrica contabilizando as operações de compra e venda do setor.

Desta forma, os principais objetivos dos componentes do setor elétrico são: garantir o suprimento de energia elétrica, promover a modicidade de tarifas por meio da contratação eficiente de energia para os consumidores regulados e promover a inserção social no Setor Elétrico, em particular pelos programas de universalização de atendimento (MME, 2003).

A integração de praticamente todo o conjunto se dá pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) que agrega todos os segmentos de negócios do setor elétrico no território brasileiro, excetuando a região Amazônica que é atendida por Sistemas Isolados de pequeno porte (Figura 2).

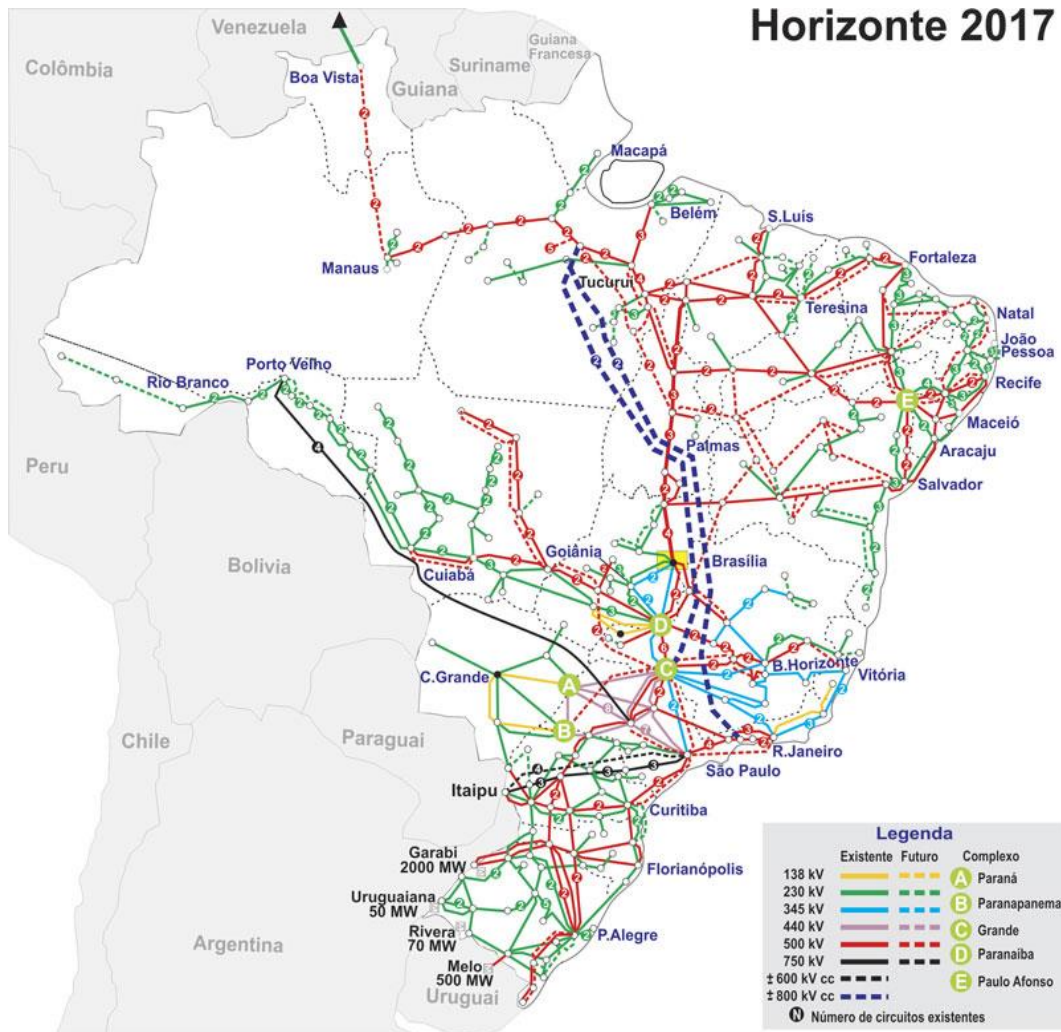


Figura 2: Integração do sistema elétrico nacional, horizonte 2017.

Fonte: ONS (2017).

As reformas determinaram a desverticalização setorial onde empresas distintas passaram a atuar nos quatro segmentos do mercado - geração, transmissão, distribuição e comercialização. Os serviços de geração e comercialização foram caracterizados como competitivos, sendo assim, suscetíveis as oscilações do mercado. Por sua vez, os setores responsáveis pelo transporte de energia têm seus preços regulados pelo Estado, caracterizando o monopólio natural (CCEE, 2018c)

Nesta conjuntura, as relações comerciais passaram a se estabelecer em dois ambientes de mercado para a contratação e comercialização de energia, sendo que as diferenças contabilizadas entre oferta e demanda, advindas desses ambientes, podem ser negociadas no

chamado Mercado de Curto Prazo (MCP). A seguir a descrição de cada ambiente:

- **Ambiente de Contratação Regulada (ACR):** a contratação para expansão da geração é feita através de leilões, onde se adota como critério a modalidade de menor preço, sendo assim, estabelecidos contratos bilaterais regulados pela ANEEL. De acordo com a CCEE, os Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado – CCEARs são especificados por meio dos editais publicados para cada leilão, contendo cláusulas e condições fixas que não são passíveis de alteração pelos agentes. Os consumidores que se enquadram neste ambiente de negociação são considerados cativos, tendo o fornecimento da energia sob a responsabilidade da concessionária de distribuição.
- **Ambiente de Contratação Livre (ACL):** os contratos são celebrados através da livre negociação das tarifas pelos agentes geradores, comercializadores, consumidores livres e especiais. Todo contrato negociado neste ambiente é denominado Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre – CCEAL.

Vale destacar que dentro do CCEAR existem duas modalidades que variam de acordo com as condições de cada empreendimento: i) CCEAR por Quantidade: no qual os riscos hidrológicos da operação energética são assumidos integralmente pelos geradores; ii) CCEAR por Disponibilidade: no qual os custos decorrentes dos riscos hidrológicos serão assumidos pelos agentes compradores (distribuidoras).

De acordo com a ABRADÉE (2018), os contratos por quantidade preveem o fornecimento de um montante fixo de energia a um determinado preço, geralmente utilizados para a contratação de energia hidráulica, enquanto que os contratos por disponibilidade são destinados à contratação de usinas termelétricas, e preveem uma remuneração destinada à cobertura dos custos fixos e variáveis das usinas, independente do que for efetivamente gerado.

A comercialização de energia dos empreendimentos geradores pode se dar em ambos os ambientes, desde que apresentem lastro físico para a garantia de sua capacidade de suprimento. Caso as condições de

comercialização ofertadas nos leilões não sejam integralmente observadas pelo vendedor ao longo do período de suprimento do contrato são instituídos uma série de mecanismos de ressarcimento com o objetivo de proteger na forma de compensações o agente comprador (CCEE, 2015).

No ACR a principal forma de comercialização é dada via processos licitatórios com base no modelo de leilão onde o vencedor do certame será definido pelo critério da menor tarifa para os consumidores finais, mantendo, assim, o princípio da modicidade tarifária e sem prejuízos econômicos aos agentes envolvidos no fornecimento. O Quadro 1 apresenta os principais tipos de leilões realizados pela CCEE após a reestruturação do SEB.

Quadro 1: Categorias de Leilões de Geração Regulados no ACR

Categoria		Objeto	Vigência
Energia Existente	A-1	Recontratação de energia proveniente de empreendimentos em operação.	Contratos de 3 a 15 anos para entrega de energia no ano seguinte ao leilão.
	Ajuste	Complementar os montantes de energia contratados com maior antecedência.	Podem variar de 3 a 24 meses.
Energia Nova	A-3 e A-5	Promover a expansão do parque gerador a partir de novos empreendimentos.	Realizados com 3 e 5 anos antes da data de início da entrega de energia elétrica. Contratos de 15 a 30 anos.
	Estruturantes	Empreendimentos classificados como estratégicos e de interesse público.	Preços livremente negociados na geração e comercialização
Energia Reserva		Mitigar o risco hidrológico e incorporar a bioeletricidade na matriz elétrica.	Contratos contabilizados e liquidados exclusivamente no curto prazo.
Fontes Alternativas		Incentivar a diversificação da matriz de energia elétrica com fontes renováveis (eólica, solar e biomassa).	De 10 a 30 anos, contados do início do suprimento.

Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2008), CCEE (2018b) e INSTITUTO ACENDE BRASIL (2012).

Ainda na esfera do ACR há a possibilidade de aquisição de energia por meio de Geração Distribuída (GD) através de contratos de compra e

venda de energia elétrica precedidos de chamada pública promovida pelo agente distribuidor (CCEE, 2018c).

A energia elétrica desse tipo de contratação advém de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador – com exceção da energia proveniente de empreendimentos hidrelétricos com capacidade instalada superior a 30 megawatt e termelétricos, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75%. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estão limitados ao percentual de eficiência energética (BRASIL, 2004).

Conforme disposto na Resolução Normativa - REN nº 482, de 17 de abril de 2012, alterada em 2015 pela REN nº 687 e, posteriormente, pela REN nº 786 de 17/10/2017, a micro e a minigeração distribuídas consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A diferenciação entre as categorias se dá pela potência instalada<sup>1</sup> de cada uma delas. Na microgeração a potência instalada deverá ser menor ou igual a 75 quilowatts (kW) enquanto que na minigeração distribuída a potência instalada deverá ser superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW, para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes (ANEEL, 2016).

Além do advento da micro e da minigeração distribuídas, a REN 482/12 instituiu o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, o qual possibilitou ao consumidor, que gera sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, disponibilizar na rede da distribuidora o excedente produzido e posteriormente compensá-la com o consumo de energia elétrica ativa, sendo esse sistema também conhecido como *net metering*. A energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da

---

<sup>1</sup> Capacidade bruta (kW) que determina o porte da central geradora para fins de outorga, regulação e fiscalização, definida pelo somatório das potências elétricas ativas nominais das unidades geradoras principais da central, conforme definição contida na REN 583/13.

unidade e quando a geração for maior que o consumo, o saldo positivo de energia poderá ser utilizado para abater o consumo em meses subsequentes, num prazo máximo de 60 meses (ANEEL, 2017).

Há ainda a possibilidade de utilizar os créditos em outras unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas modalidades definidas pela REN 482/12, descritas a seguir.

- Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial, ou pessoa física que possua unidade com GD em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento.

A GD oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico, visto que geralmente as unidades de geração estão localizadas próximas aos centros de consumo propiciando uma redução nas perdas durante o transporte de energia elétrica, além de promover o aumento da estabilidade do sistema como um todo. Além disso, é economicamente atraente devido ao baixo custo de investimento para construção de unidades de geração em relação aos grandes empreendimentos

centralizados e também favorece o atendimento mais rápido ao crescimento da demanda (FILHO; AZEVEDO, 2013).

Outra vantagem é a sua contribuição no aumento da distribuição geográfica da geração de energia elétrica, favorecendo as regiões mais remotas e que não são atendidas pelo SIN.

Sob o ponto de vista ambiental a GD é uma ferramenta de estratégia importante na contribuição de uma maior diversificação das fontes de energia usadas no processo, incentivando o uso de recursos renováveis contribuindo, assim, na redução das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE).

Ademais, as unidades geradoras descentralizadas auxiliam na redução da necessidade de novos grandes projetos de geração e de extensas linhas de transmissão o que tende a minimizar os impactos ambientais decorrentes destas obras.

Pela perspectiva social a GD contribui no desenvolvimento local por meio da geração de empregos, do uso de recursos regionais, redução parcial dos custos de energia elétrica e melhora na confiabilidade do suprimento aos consumidores (FILHO; AZEVEDO, 2013).

O estabelecimento dos sistemas de geração distribuída oferece como benefício indireto o desenvolvimento do conceito de redes inteligentes (*smart-grids*), as quais possuem elevado grau de automação e que permitem a conexão de pequenos sistemas de geração, a partir de fontes renováveis, à rede elétrica, sendo capazes de monitorar e controlar remotamente com maior eficiência o fluxo de energia aumentando, assim, as vantagens e reduzindo as desvantagens da GD sobre o sistema elétrico convencional.

Como desvantagem da inserção da GD no SIN ressalta-se que o fluxo de potência, originalmente unidirecional, poderá se dar de forma bidirecional denotando uma maior complexidade no planejamento e na operação do sistema elétrico, bem como no controle por parte das distribuidoras (PINHEIRO, 2017). Desta forma, quanto maior e mais complexo for o sistema elétrico, maiores serão os custos necessários para o planejamento operacional do mesmo.

Algumas fontes renováveis de geração, como a eólica e a solar fotovoltaica, apresentam alto nível de intermitência e influenciam diretamente na quantidade de energia gerada. Esse comportamento leva a necessidade da utilização de sistemas de armazenamento para minimizar os impactos na rede, porém esses equipamentos ainda tem custos elevados e baixa autonomia.

Tal característica das fontes intermitentes se mostra como uma oportunidade para o uso da biomassa florestal como fonte complementar, uma vez que a geração de energia a partir deste combustível, desde que bem manejado, se dá de forma regular durante todo o processo e não sofre efeitos de safra como outras biomassas.

### **3.2. Potencial e Participação da Biomassa Florestal na Matriz Elétrica Nacional**

A utilização da biomassa florestal como fonte energética é, historicamente, bastante antiga. A sua relevância na matriz energética nacional esteve sempre relacionada ao uso do carvão vegetal – especialmente em decorrência da demanda do setor siderúrgico, e da lenha, largamente usada na cocção de alimentos no segmento residencial, sendo a forma predominante de energia no Brasil até praticamente os anos 1970 (Figura 3).

A partir desta década, com o maior incentivo ao uso de petróleo e seus derivados, principalmente nos setores industriais e de transporte, a madeira deixou de ser a principal fonte de energia primária do Brasil, sendo substituída gradativamente pelos combustíveis fósseis e hidroeletricidade (BRITO, 2007).

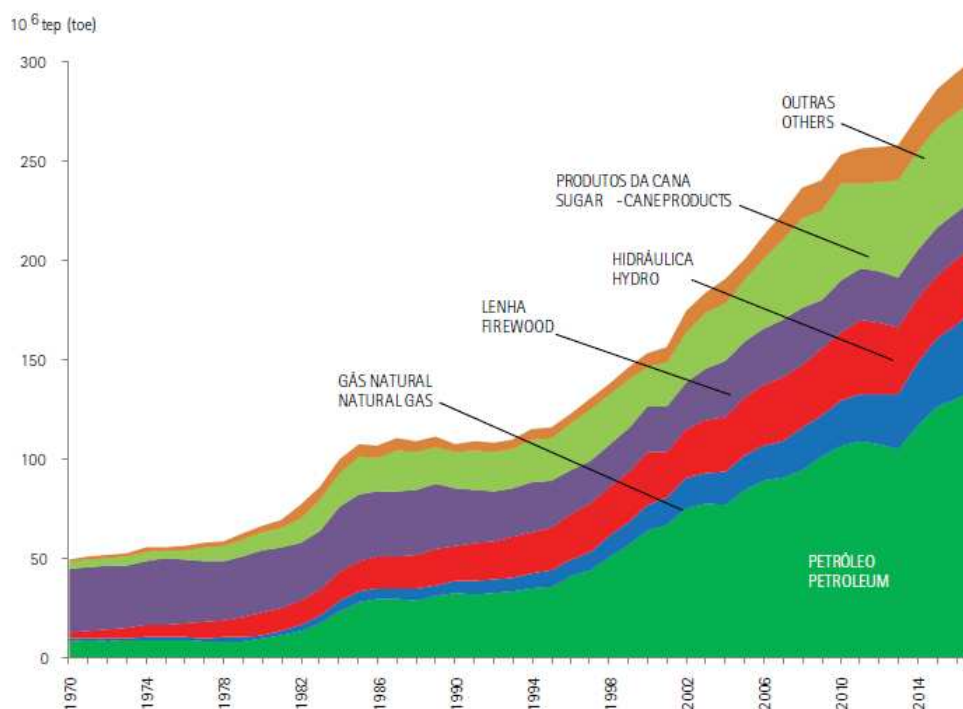


Figura 3: Evolução da produção de energia primária.  
 Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN, 2018 (EPE, 2018a).

Cabe ressaltar que a substituição da lenha usada na cocção por um combustível moderno, neste caso o GLP (gás liquefeito de petróleo), apresenta vantagens aos seus usuários, uma vez que esta fonte de energia oferece maior segurança no manuseio e não gera gases poluentes nos ambientes fechados como as dependências de uma residência, além de ter maior poder calorífico.

Atualmente há uma busca pela diversificação da matriz energética brasileira dando espaço para as fontes alternativas de energia. De acordo com dados do Banco de Informações de Geração – BIG, em janeiro de 2019 o Brasil possui, no total, 7.289 empreendimentos em operação, totalizando 162,93 gigawatt de potência instalada. Está prevista para os próximos anos uma adição de 19,02 GW na capacidade de geração do País, proveniente dos 175 empreendimentos atualmente em construção e mais 385 em empreendimentos com construção não iniciada.

O uso da biomassa agroflorestral para produção de energia é responsável por 8,62% no universo total de geração outorgada no país (Tabela 1). Os principais materiais usados nesse processo são o bagaço de cana de açúcar (76,86%) e o licor negro (17,23%).

Tabela 1: Participação da biomassa na matriz energética (fev/18)

Origem	Fonte		Capacidade Instalada				
	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2	Usinas	(kW)	%	Participação	
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	407	11.157.935	6,7145	76,86	
		Biogás-AGR	3	948	0,0005	0,05	
		Capim Elefante	2	31.700	0,019	0,21	
		Casca de Arroz	12	45.333	0,0272	0,31	
	Biocombustíveis líquidos	Etanol	1	320	0,0001	0,00	
		Óleos vegetais	2	4.350	0,0026	0,03	
		Carvão Vegetal	8	43.197	0,0259	0,29	
	Floresta	Gás de Alto Forno - Biomassa	12	114.265	0,0687	0,87	
		Lenha	5	23.900	0,0143	0,25	
	Resíduos animais	Licor Negro	18	2.542.616	1,5300	17,23	
		Resíduos Florestais		57	425.197	0,2558	2,92
			Biogás - RA	14	4.481	0,0026	0,03
		Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	20	128.851	0,0775	0,91
			Carvão - RU	2	2.700	0,0016	0,04
	<b>TOTAL</b>			<b>563</b>	<b>14.756.837</b>	<b>8,6244</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Adaptado de Banco de Informações de Geração – BIG (ANEEL, 2018). kW= quilowatt; AGR=agroindustriais; RU=resíduos sólidos urbanos; RA=resíduos animais.

A matriz elétrica brasileira é predominantemente composta por fontes renováveis que representam 80,3% da oferta interna de eletricidade, desse montante destaca-se a geração hidráulica que responde por 65,2% (Figura 4). É importante ressaltar a tendência de recuperação da participação das fontes renováveis após um período de retração destas devido à crise hídrica, nos anos de 2013 e 2014, que culminou no aumento na geração térmica a base de combustíveis fósseis (EPE, 2018a).

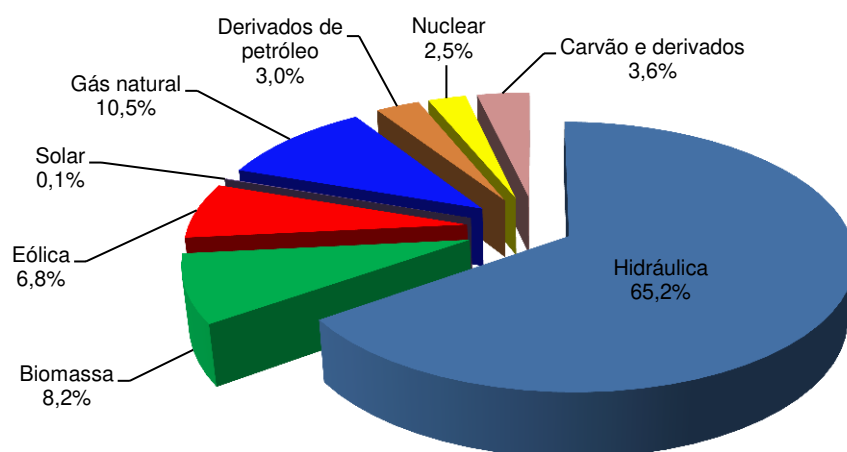


Figura 4: Matriz elétrica brasileira 2017.

Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional – BEN, 2018 (EPE, 2018a).

Ainda de acordo com os resultados apresentados pelo BEN 2018, houve um aumento na ordem de 1,6% na geração total de energia elétrica no país, incluindo a geração distribuída, porém as fontes renováveis contaram com avanço considerável nesse período em comparação aos combustíveis fósseis, especialmente a solar fotovoltaica (Tabela 2).

Tabela 2: Geração elétrica em GWh

Fonte	2016	2017	$\Delta$ 17/16 (%)
<b>Hidrelétrica</b>	380.911	370.906	-2,6
<b>Gás Natural</b>	56.485	65.593	16,1
<b>Biomassa<sup>1</sup></b>	49.236	49.385	0,3
<b>Derivados de Petróleo<sup>2</sup></b>	12.103	12.733	5,2
<b>Nuclear</b>	15.864	15.739	-0,8
<b>Carvão vapor</b>	17.001	16.257	-4,4
<b>Eólica</b>	33.489	42.373	26,5
<b>Solar Fotovoltaica</b>	85	832	875,6
<b>Outras<sup>3</sup></b>	13.723	14.144	3,1
<b>Geração Total</b>	<b>578.898</b>	<b>587.962</b>	<b>1,6</b>

Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional – BEN, 2018 (EPE, 2018b). GWh= Gigawatt- hora

1 Inclui lenha, bagaço de cana e lixívia

2 Inclui óleo diesel e óleo combustível

3 Inclui outras fontes primárias, gás de coqueria e outras secundárias

No que tange a geração termelétrica, em 2017 houve um aumento de 6,0% de sua participação no total de produção de energia elétrica. Em contrapartida, a presença da biomassa - incluindo nesta categoria o bagaço de cana-de-açúcar, a lixívia, a lenha, e outras fontes primárias -

teve um decréscimo na ordem de 1,5%, entretanto este resultado não descaracteriza o potencial de uso desse material na matriz elétrica nacional (Tabela 3).

Tabela 3: Participação percentual de cada fonte na geração termelétrica no último quinquênio

Fonte	2013	2014	2015	2016	2017	Δ 17/16
<b>Biomassa<sup>1</sup></b>	26,9	22,6	24,5	31,0	29,5	<b>-1,5</b>
<b>Gás Natural</b>	40,0	39,6	39,7	34,4	37,7	<b>3,3</b>
<b>Nuclear</b>	8,5	7,5	7,4	9,6	9,1	<b>-0,5</b>
<b>Derivados Petróleo</b>	15,4	20,7	18,3	14,0	10,8	<b>-3,2</b>
<b>Carvão e Derivados</b>	9,2	9,6	10,1	11,0	12,9	<b>1,9</b>

Fonte: Elaboração própria a partir de Balanço Energético Nacional 2014 – 2018 (EPE, 2014, 2015, 2016, 2017c e 2018b).

1 Inclui bagaço de cana-de-açúcar, lixo, lenha e outras fontes primárias.

No que diz respeito à biomassa, o setor industrial é o principal consumidor, sendo seguido pelo setor energético e, em seguida, pelo setor de transportes (correspondente ao consumo de álcool combustível) (Tabela 4).

Tabela 4: Consumo de energia por setor e por fonte renovável em 2017

Setor	Lenha*	Bagaço*	Lixívia*	Outras**	Carvão vegetal*	Álcool anid***	Álcool Hidrat***
<b>Energético</b>	-	55.997	-	-	-	-	-
<b>Comercial</b>	290	-	-	-	131	-	-
<b>Agropecuário</b>	10.116	-	-	-	14	-	17
<b>Industrial</b>	23.696	80.761	22.594	916	4.466	-	-
<b>Residencial</b>	19.726	-	-	-	546	-	-
<b>Transportes</b>	-	-	-	-	-	12.072	14.514
<b>TOTAL</b>	<b>53.828</b>	<b>136.758</b>	<b>22.594</b>	<b>916</b>	<b>5.157</b>	<b>12.072</b>	<b>14.531</b>

Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional – BEN, 2018 (EPE, 2018a).

\* em mil t

\*\* em mil tep

\*\*\* em mil m<sup>3</sup>

A partir dessas informações é importante ressaltar a versatilidade da madeira como combustível nos diversos segmentos da economia. Dentre as principais vias de sua conversão em biocombustíveis, destacam-se o uso, com pouco ou quase nenhum processamento, na forma de lenha e até mesmo como produtos mais elaborados como o carvão vegetal e o extrato pirolenhoso. Outra alternativa que vem sendo

empregada na indústria é o aproveitamento dos resíduos da exploração florestal e industrial para a autoprodução de energia termelétrica. Isso configura o fácil acesso e a sustentabilidade econômica, ambiental e social da biomassa.

Nota-se também que as empresas que integram o 3º setor (shoppings, hotéis, hospitais, etc) são supridas por fontes não renováveis, sendo que apresentam grande demanda de energia térmica e/ou elétrica a qual poderia ser suprida por combustíveis mais sustentáveis, configurando, assim, o grande potencial de uso da biomassa florestal para essa finalidade no estado (BRASIL, 2005).

### **3.3. Elementos técnicos na cogeração de energia termelétrica com base na biomassa florestal**

São diversas as rotas para obtenção de energia elétrica, tanto renovável quanto não renovável, e muitas delas são produzidas a partir do trabalho gerado por energia mecânica - turbinas hidráulicas e cataventos - energia química, energia solar, fissão nuclear, dentre outras (REIS, 2011).

Energia termelétrica é toda e qualquer energia produzida por uma central cujo funcionamento ocorre a partir da geração de calor resultante da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. Os principais combustíveis utilizados nas usinas termelétricas são o carvão mineral, os derivados de petróleo, o gás natural e a biomassa (TOLMASQUIM, 2016).

A geração termelétrica é baseada na conversão de energia térmica em energia mecânica e, desta, em elétrica. Em termos gerais, na geração termelétrica convencional a eletricidade é produzida a partir da queima de combustíveis que propicia o aquecimento da água armazenada em um reservatório. Com o calor gerado na caldeira, essa água é transformada em vapor a alta pressão que aciona as turbinas produzindo energia mecânica de rotação que, por sua vez, é responsável pelo acionamento do gerador e da consequente produção de eletricidade.

A conversão da energia química contida na biomassa para obtenção de eletricidade ocorre, principalmente, por meio de tecnologias

que utilizam ciclos termodinâmicos. As rotas de conversão energética da biomassa podem ser: i) termoquímicas, representadas pela combustão, gaseificação ou pirólise; ii) bioquímicas, sendo conhecidas a biodigestão anaeróbia e a fermentação; e iii) físico-química, através da extração (TOLMASQUIM, 2016).

O ciclo a vapor mais utilizado nos processos de conversão da biomassa em termoeletricidade é o ciclo termodinâmico Rankine que converte calor em trabalho, pois permite o uso de diversas fontes de combustíveis, dentre elas as biomassas.

Neste ciclo (Figura 5) o combustível é queimado em uma **caldeira**, transferindo a energia térmica resultante para a água (DELGADO, 2016). O vapor superaquecido gerado, em alta pressão, é transferido para uma **turbina a vapor**, de **contrapressão** ou de **condensação com extração**, que aciona o **gerador** elétrico. O vapor extraído da turbina é utilizado para atender à demanda de energia térmica dos processos produtivos que utilizam esse calor útil para alimentar a linha de produção. Geralmente a água é devolvida à caldeira na forma de condensado, fechando, assim, o ciclo de transferência de energia (ODDONE, 2001; BRASIL, 2005).

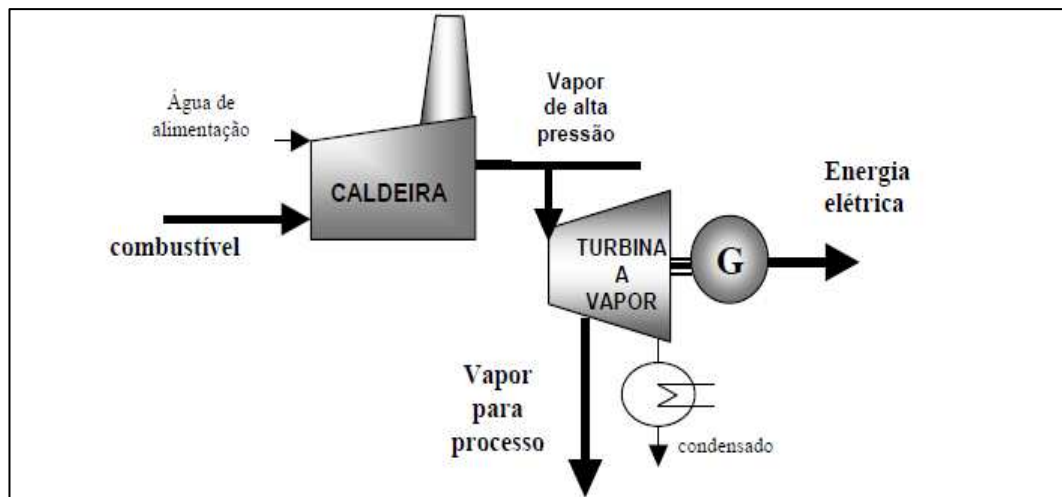


Figura 5: Representação da cogeração com ciclo Rankine.  
Fonte: Brasil (2005).

Segundo Barja (2006), a aplicação da cogeração pode ser estabelecida em função da sequência de aproveitamento da energia disponibilizada pelo combustível.

- *Topping*: a geração de energia eletromecânica (altas temperaturas) é anterior à geração de calor útil ao processo produtivo. Esta é a tecnologia mais empregada na maioria das indústrias, uma vez que grande parte dos processos industriais demanda calor a baixas temperaturas.
- *Bottoming*: o aproveitamento de calor útil se dá em elevadas temperaturas e, em seguida, tem-se a geração eletromecânica. Esse tipo de cogeração tem utilização mais restrita, pois o vapor residual do processo se encontra em temperaturas abaixo do necessário para a geração elétrica.

O ciclo Rankine pode sofrer modificações com o intuito de aumentar sua eficiência térmica, sendo as do tipo com reaquecimento e regenerativo as mais adequadas à geração termelétrica com biomassa.

Guerra (2014) define que no ciclo com reaquecimento “o vapor da caldeira é submetido a uma expansão nos estágios de alta pressão da turbina e, em seguida, é desviado do seu fluxo normal, retornando para o reaquecedor”. Após essa etapa, o vapor é novamente aquecido e retorna ao seu nível inicial, podendo assim, continuar o trabalho. A vantagem desta modificação é o aumento da eficiência do ciclo e o aumento da vida útil do equipamento por evitar a condensação do vapor na exaustão da turbina (TOLMASQUIM, 2016).

O ciclo Rankine regenerativo permite que o condensado seja aquecido durante seu retorno a caldeira utilizando vapor extraído da turbina. Este processo aumenta a temperatura média da água de alimentação em circulação, o que aumenta a eficiência termodinâmica do ciclo, demandando, assim, menos combustível para produzir uma mesma quantidade de vapor.

Tolmasquim (2016) salienta que o uso do ciclo vapor pode ser tanto em cogeração como para geração elétrica, a depender da natureza da biomassa aplicada, seja residual ou produto principal. Porém, o presente trabalho aborda o emprego desta rota na cogeração de vapor e energia elétrica a partir do aproveitamento da biomassa florestal como combustível.

A cogeração é definida como a geração simultânea e combinada de energia térmica, em geral na forma de vapor a baixa pressão, e energia elétrica ou mecânica, a partir de uma mesma fonte. O calor pode ser usado diretamente no processo produtivo, ou indiretamente na produção de vapor ou frio. A principal vantagem destacada por Brasil (2005) é o maior aproveitamento da energia da fonte, reduzindo os custos de produção de ambas as formas citadas e viabilizando economicamente a autoprodução de energia elétrica.

O vapor produzido nos sistemas de cogeração pode ser aplicado para os mais diversos fins e em inúmeros segmentos industriais e de serviços. Reis (2011) destaca as indústrias química; petroquímica; de papel e celulose; sucroalcooleira; de alimentação e bebidas; hospitais; centros comerciais; edifícios; entre outros.

As principais rotas tecnológicas aplicadas nos processos de cogeração no setor industrial são:

- Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão: a geração de energia elétrica é integrada aos processos industriais para o atendimento das necessidades térmicas da produção. Nele, a biomassa é queimada diretamente em caldeiras visando à produção do vapor que irá acionar as turbinas usadas no trabalho mecânico requerido nas unidades de produção e as turbinas para geração de energia elétrica (ANEEL, 2008).

- Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração: consiste na condensação total ou parcial do vapor permitindo que parte deste seja extraído, em um ponto intermediário da expansão, e direcionado para o próprio arranjo produtivo e o restante seja condensado, otimizando seu aproveitamento energético e permitindo a geração de energia independente do consumo de vapor durante o processo produtivo (ANEEL, 2008).

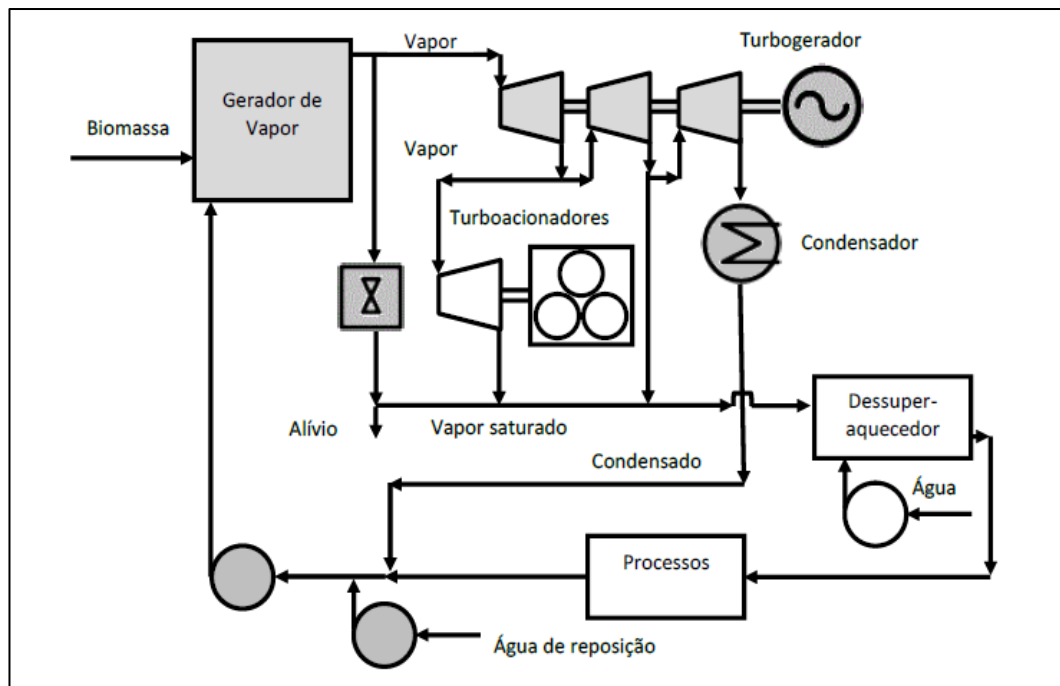


Figura 6: Ciclo vapor com condensação e extração em cogeração e na geração elétrica.  
Fonte: Tolmasquim (2016).

- Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa: é configurado pela utilização de turbinas a gás e a vapor, sendo possível integrar o gaseificador ao ciclo combinado com turbina a gás. Neste ciclo há o aproveitamento dos gases de exaustão da turbina para gerar vapor e utilizá-lo para geração de eletricidade (ALVIM FILHO, 2009). Este conjunto é o mais eficiente na conversão da energia do combustível em potência elétrica.

A aplicação prática de cada um dos ciclos, em princípio, é possível em qualquer instalação que necessita de energia termelétrica, porém a escolha de um sistema de cogeração é dependente tanto da demanda da energia térmica, quanto da energia elétrica do consumidor. Desta forma, para que a implantação do sistema seja técnica e economicamente viável se faz necessário que a redução nos custos de aquisição da energia seja suficiente para garantir um retorno adequado para o investimento a ser realizado (BRASIL, 2005).

Foelkel (2016) afirma que a principal característica dos sistemas de ciclo a vapor é o baixo rendimento na conversão da biomassa florestal apenas em energia elétrica. A taxa de conversão da energia primária útil

gerada pela biomassa em energia elétrica costuma ser de 15 a 35%. A escala de produção e pressão/temperatura do vapor superaquecido são os principais fatores que afetam a eficiência dos sistemas baseados no ciclo Rankine. Sendo assim, a cogeração é a melhor forma de incrementar os rendimentos globais deste. Ainda de acordo com o autor, atualmente os avanços tecnológicos tem se dado em busca de um maior rendimento das caldeiras e nas turbinas.

No que diz respeito às vantagens da cogeração, Foelkel (2016) e Reis (2011) citam como principais as seguintes características:

- Aumento da eficiência energética do combustível;
- Redução dos custos de produção dos produtos energéticos;
- Autossuficiência na produção de energia e consequente segurança no abastecimento;
- Possibilidade do uso de fontes renováveis minimizando os impactos ambientais;
- Benefícios socioeconômicos para a região.

Para que um sistema de cogeração seja viável em uma indústria é necessário atentar para os seguintes fatores:

- O empreendimento deve ser consumidor de ambas as formas de energia cogerada;
- O suprimento de combustível deve ser garantido;
- O custo da energia cogerada deve ser inferior ao custo com energia elétrica e combustível para a produção do vapor.

### **3.3.1. Equipamentos**

Dentre os principais equipamentos usados nas plantas de cogeração tem-se as caldeiras, as turbinas, os geradores, os condensadores, as válvulas, as bombas e os recuperadores de calor. A seguir, será feita uma breve apresentação das principais máquinas e equipamentos de um sistema de cogeração com ciclo a vapor.

### **3.3.2. Caldeiras**

Caldeiras ou geradores de vapor são usados para mudar o estado físico da água a fim de ser usado em processos industriais, para aquecimento ou no acionamento de máquinas motrizes, podendo ser

movidas a eletricidade ou utilizar outros combustíveis, tais como biomassa, gás natural ou outro agente que transfira calor (MACINTYRE, 2011). De acordo com Oddone (2001) o vapor pode ser produzido em condições de saturação ou superaquecimento, conforme as necessidades do seu consumo.

As caldeiras disponíveis no mercado apresentam variadas especificações técnicas apresentando capacidade de geração de até 450 toneladas de vapor por hora (t/h), pressões de trabalho que variam de 42 a 90 bar e temperatura do vapor de até 500°C. Nos sistemas de cogeração mais modernos a eficiência energética pode chegar a 85%.

As caldeiras a combustíveis podem ser classificadas em dois tipos a depender do modo de transferência de calor, como descritos a seguir.

- **Caldeiras flamotubulares:** os gases quentes advindos da combustão ocorrida na fornalha circulam pelo interior de tubos dispostos no reservatório de água que será evaporada. Segundo Oddone (2001), essas caldeiras são de menor porte e pouco utilizadas na produção de energia elétrica.

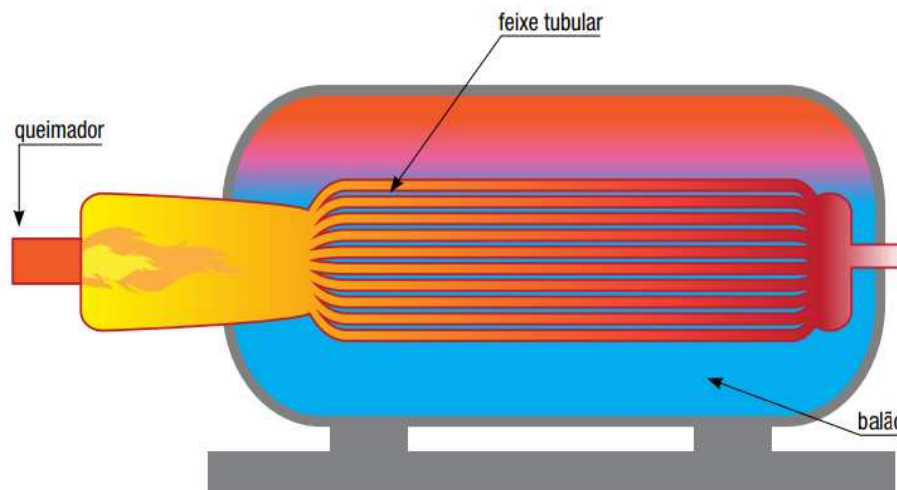


Figura 7: Representação esquemática de caldeira flamotubular.

Fonte: ELEKTRO, ([s.d.]).

- **Caldeiras aquatubulares:** a água a ser aquecida passa pelo interior de tubos circundados pelos gases quentes. Os tubos podem estar organizados em feixes ou na forma de paredes d'água, as quais são as mais utilizadas na geração de

eletricidade, pois são capazes de produzir grandes vazões de vapor a altas pressões e temperaturas (ODDONE, 2001). As caldeiras deste tipo têm como vantagens principais grandes vazões de vapor a altas pressões e temperaturas e fácil adaptação a diferentes tipos de combustível.



Figura 8: Representação esquemática de caldeira aquatubular.

Fonte: ELEKTRO, ([s.d.]).

Nos sistemas de cogeração também é comum a utilização das caldeiras de recuperação para aproveitar o calor residual dos gases de exaustão da turbina ou do motor a gás, ou de algum processo produtivo que gere calor (ODDONE, 2001).

### 3.3.3. Turbinas a vapor

O princípio básico do funcionamento da turbina a vapor é a injeção de vapor de água, sob alta pressão e alta temperatura, por um injetor que faz com que o equipamento converta a entalpia em energia cinética e depois em energia de rotação mecânica para acionar os equipamentos geradores de energia elétrica (ELEKTRO, [s.d.]).

As turbinas a vapor podem ainda dividir-se em dois grandes grupos, de acordo com a pressão de saída do vapor, sendo as turbinas de condensação aquelas onde a pressão de saída do vapor é menor que a atmosférica - sendo neste caso necessário o acréscimo de um condensador. E as turbinas de contrapressão, basicamente, onde a pressão do vapor de saída é superior à pressão atmosférica e são

empregadas quando o vapor de escape é utilizado em algum processo industrial (BRANDÃO, 2004).

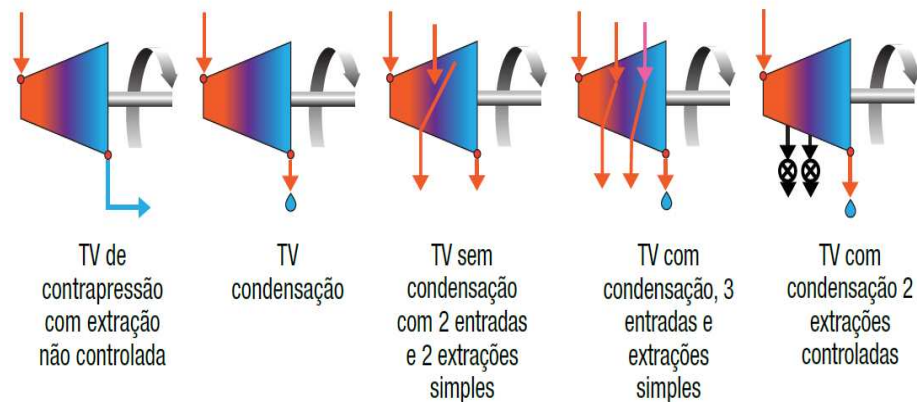


Figura 9: Representação esquemática de tipos de turbinas a vapor.

Fonte: ELEKTRO, ([s.d.]).

Ainda segundo Brandão (2004), a cogeração com turbinas a vapor tem-se difundido em indústrias onde são indispensáveis elevadas quantidades de vapor para o processo, com destaque para os setores de papel e celulose, refino de petróleo, fabricação de produtos químicos, dentre outras.

### 3.3.4. Geradores elétricos

São equipamentos que convertem a energia mecânica produzida na turbina em energia elétrica. A eletricidade é gerada pelo movimento de um condutor em um campo magnético, que é acionado pelo eixo da turbina.

O campo magnético e a rotação do conjunto provocam intenso movimento nos elétrons, que forma uma corrente elétrica. A corrente elétrica pode ser simples ou alternada, conforme se dá o movimento dos elétrons que produzem a corrente. A produção de correntes elétricas alternadas é a mais comum nos processos de geração em termelétricas (FOELKEL, 2016).

### 3.3.5. Trocador de calor e condensadores

Trocador de calor é um equipamento térmico que transfere calor de um fluido (líquido ou gás) para outro ou para o ambiente, mantendo-os,

contudo, separados. Já os condensadores são trocadores de calor que constituem a fonte fria de um ciclo de vapor fechado e que condensa o vapor expelido pelo estágio de baixa pressão de uma turbina a vapor (ELETROBRAS, [s.d.]).

### **3.4. Propriedades da biomassa florestal para produção de energia termelétrica**

A biomassa é de extrema importância para o fornecimento de energia sendo utilizada como combustível na forma de carvão vegetal ou consumida diretamente na forma de lenha, cavacos, resíduos florestais e resíduos industriais (licor negro) e no desenvolvimento de novas alternativas energéticas, como a gaseificação, sendo uma opção para a diversificação da matriz energética e consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis.

A biomassa florestal é utilizada como fonte de energia, sob a forma de lenha, desde os mais remotos tempos sem que houvesse preocupação com a sua sustentabilidade. Por este motivo, durante muito tempo o termo biomassa foi associado à ideia de desmatamento (GUARDABASSI, 2006).

Algumas vertentes de pesquisa mais recentes têm classificado a biomassa de acordo com a tecnologia empregada na sua utilização energética (KAREKEZI *et al.*, 2005 apud GUARDABASSI, 2006).

- Biomassa tradicional: é obtida por meio de combustão direta de madeira, lenha, resíduos agrícolas, resíduos de animais e urbanos, para cocção, secagem e produção de carvão. São usadas de maneira não sustentável, muitas vezes proveniente de desmatamentos.
- Biomassa “aperfeiçoada”: tecnologias aperfeiçoadas e mais eficientes de combustão direta de biomassa, tais como fogões e fornos.
- Biomassa moderna: tecnologias avançadas de conversão de biomassa em eletricidade e o uso de biocombustíveis, desde que

utilizadas de maneira sustentável e em processos tecnológicos avançados e eficientes.

Nesse contexto, a utilização da biomassa moderna para a geração de energia térmica vem sendo aplicada em diversas indústrias e segmentos agropecuários em detrimento dos combustíveis fósseis, principalmente dos óleos combustíveis e diesel (RIBEIRO; VALVERDE, 2016).

Uma das formas de utilização da madeira que vem sendo adotada em diversos segmentos industriais é o cavaco, que nada mais é do que a biomassa em pequenos fragmentos de tamanhos homogêneos. Esse processamento permite a mecanização do manuseio, tanto no armazenamento quanto no processo de carregamento das caldeiras, implicando em menor custo de mão de obra e conseqüentemente menor custo final da energia (NASCIMENTO; BIAGGIONI, 2010).

A eficiência energética da biomassa sólida depende da tecnologia de conversão aplicada na geração e também de algumas propriedades físicas da madeira. Para Vital *et al.* (2013), as principais propriedades da biomassa para energia são: densidade da madeira, poder calorífico, umidade, análise química elementar, imediata e estrutural, teor de inorgânicos e o comportamento térmico da biomassa.

Para Brand (2010) o poder calorífico é a propriedade de maior influência na análise da viabilidade de uso de uma fonte de energia. Porém, outras características físicas e químicas podem assumir grande importância, pelo fato de que, dependendo da amplitude, estas podem afetar demasiadamente a eficiência energética do material.

A baixa densidade energética da biomassa sólida, em comparação as fontes fósseis, tem influência direta nos altos custos de transporte e armazenamento, assim como o teor de umidade influencia significativamente a qualidade da combustão e o poder calorífico da biomassa (VIDAL; DA HORA, 2011).

Diante o exposto, faz-se necessário conhecer as principais vantagens e limitações do uso da biomassa florestal como combustível na geração de energia. De acordo com Brand (2010), considerando aspectos

ambientais, econômicos e sociais, as principais vantagens do uso da biomassa são:

- Versatilidade, pois pode ser usada nas formas sólida, líquida ou gasosa, além de poder ser convertida em energia térmica, mecânica e elétrica;
- Pode ser obtida através de plantios exclusivos ou a partir de resíduos silviculturais, industriais e urbanos;
- Tem baixos teores de enxofre e cinzas, contribuindo na baixa emissão de poluentes;
- Contribui na geração de empregos regionais, uma vez que tem uso intensivo da mão de obra para produção;
- Desenvolvimento de novos mercados para os resíduos gerados tanto nas atividades do manejo florestal quanto nos industriais e urbanos.

Como principais limitações a mesma autora menciona o baixo poder calorífico, alto teor de umidade nos pontos de geração, maior custo de transporte e alto investimento inicial das instalações para a geração de energia.

### **3.5. Cenário Fluminense**

#### **3.5.1. Matriz energética do Rio de Janeiro**

O mercado de energia no estado do Rio de Janeiro denota grande importância, uma vez que a economia estadual é responsável por 11% do PIB do país. Quanto a sua relevância, para Novo *et al.* (2016) devido a sua natureza, os investimentos energéticos possuem importantes efeitos sobre o produto, a renda e o emprego, sendo tais fatores advindos de elevados volumes e suas características próprias.

De acordo com os dados apresentados no relatório da Subsecretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (PEREIRA JÚNIOR, 2018), a matriz energética do estado do Rio de Janeiro (Figura 10) difere altamente da nacional por ser fortemente dependente de combustíveis fósseis, fato este devido ao estado ser o principal produtor

de petróleo e gás natural do Brasil. Essa característica faz com que as emissões de GEE sejam superiores à média nacional.

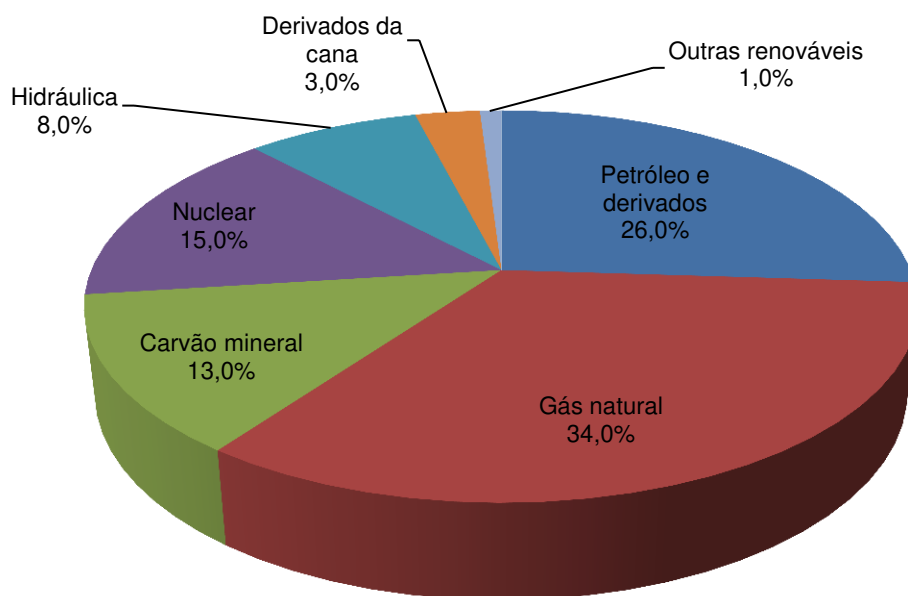


Figura 10: Matriz energética do estado do Rio de Janeiro.

Fonte: Adaptado de Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro 2017 – 2031 (PEREIRA JÚNIOR, 2018).

De acordo com o último relatório do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa - SEEG (FERREIRA *et al.*, 2018) no estado do Rio de Janeiro o setor de energia é responsável pelas maiores emissões de GEE. No ano de 2017 o comportamento de queda gerado pela crise econômica foi interrompido devido ao consumo de combustíveis fósseis pelos setores de transporte, indústria e geração de eletricidade. O estado é o 5º colocado no *ranking* das emissões (Figura 11), tem a maior concentração de termelétricas do país, tem o maior custo médio de energia elétrica e é responsável por 37% de toda geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis.

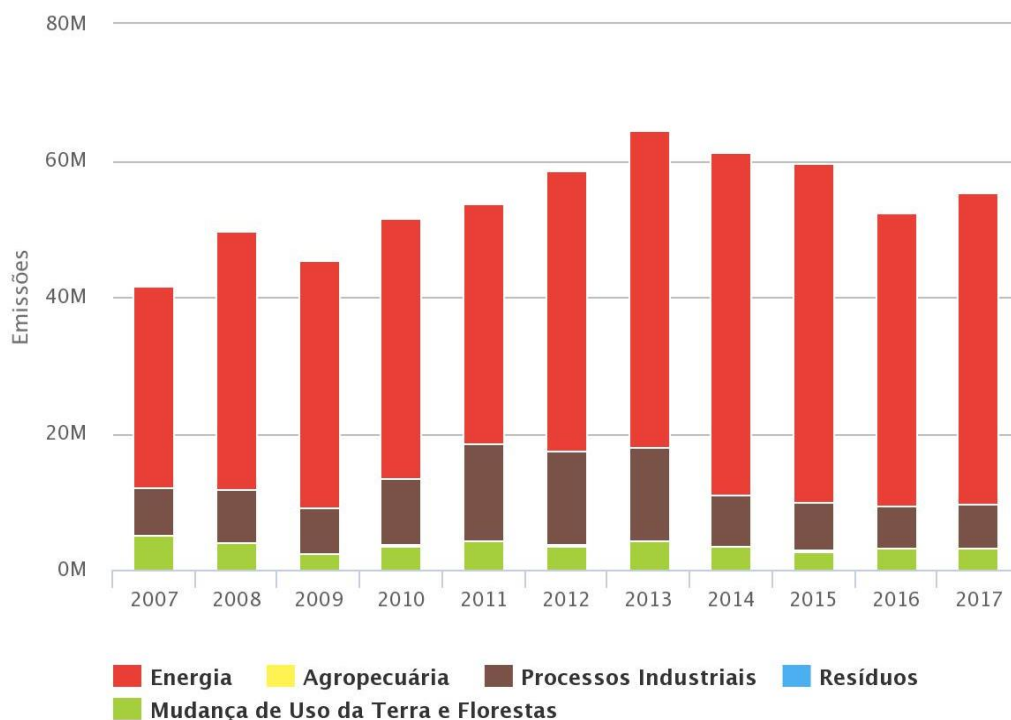


Figura 11: Emissões de CO<sub>2</sub> por setor no estado do Rio de Janeiro.

Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (FERREIRA *et al.*, 2018).

Pelos indicadores apresentados, verifica-se que a quase totalidade da população fluminense tem acesso a fontes modernas de energia, tais como, eletricidade, gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), entre outras. Apesar disso, o referido estudo afirma que muito ainda pode ser feito para aumentar o grau de renovabilidade, diversidade e segurança da matriz energética do estado do Rio de Janeiro.

Na última década o setor energético fluminense foi impulsionado por diversas ações e novos projetos, almejando a ampliação do parque gerador estadual, porém a maioria dos novos empreendimentos tem os combustíveis fósseis como base do fornecimento, conforme dados dos empreendimentos em operação disponibilizados pelo BIG em fevereiro de 2018 (Tabela 5).

Tabela 5: Empreendimentos em operação no Rio de Janeiro em fev/18

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>%</b>
<b>Central Geradora Hidrelétrica</b>	15	8.795	0,10
<b>Central Geradora Eólica</b>	1	28.050	0,33
<b>Pequena Central Hidrelétrica</b>	19	241.100	2,84
<b>Central Geradora Solar Fotovoltaica</b>	1	470	0,01
<b>Usina Hidrelétrica</b>	5	1.010.999	11,92
<b>Usina Termelétrica</b>	150	5.202.791	61,34
<b>Usina Termonuclear</b>	2	1.990.000	23,46
<b>TOTAL</b>	<b>193</b>	<b>8.482.205</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Banco de Informações de Geração – BIG (ANEEL, 2018). kW= kilowatt.

Analisando o referido banco de dados, nota-se que são diversos os empreendimentos que geram energia termelétrica, porém dentre as 150 Usinas Termelétricas (UTE) em operação no estado, apenas duas usam biomassa como fonte de energia, uma abastecida com bagaço de cana de açúcar e outra com carvão vegetal.

Isso se deve ao fato de que existe uma tradição no estado fluminense em utilizar combustíveis fósseis na sua matriz, em razão da facilidade de acesso ao gás natural e aos demais combustíveis das refinarias presentes no estado.

Uma particularidade da disponibilidade do gás natural no Rio de Janeiro é a existência de uma ampla rede de distribuição em todo estado favorecendo, assim, sua logística e gerando facilidade de acesso (Figura 12). Outra vantagem deste insumo em relação à biomassa florestal é que este não requer local de estocagem, eliminando os riscos do armazenamento.



Figura 12: Zonas de distribuição de gás natural no Rio de Janeiro.

Fonte: Naturgy (2019)<sup>2</sup>.

Em resumo, este item retratou a relevância da biomassa na matriz energética estadual e salientou a oportunidade de aproveitamento econômico no cenário fluminense, uma vez que este é praticamente inexistente no estado.

### 3.5.2. A silvicultura no estado do Rio de Janeiro

Segundo os resultados da Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (IBGE, 2017), o Rio de Janeiro possui área silvicultural total de 37.303 ha destes, 36.404 ha são destinados a produção de eucalipto. Comparando esses valores a outras unidades da federação este é um número inexpressivo, sendo que os outros estados da região sudeste detêm os maiores maciços de florestas econômicas do país (Tabela 6).

<sup>2</sup> <https://www.naturgy.com.br>, acesso em 19 de janeiro de 2019.

Tabela 6: Comparativo de área total dos efetivos da silvicultura no Brasil e no Sudeste, em hectares.

<b>Espécie</b>	<b>Rio de Janeiro</b>	<b>Espírito Santo</b>	<b>São Paulo</b>	<b>Minas Gerais</b>	<b>Brasil</b>
<b>Eucalipto</b>	36.404	269.526	884.607	1.914.029	7.411.276
<b>Pinus</b>	8	2.491	194.639	36.405	2.030.419
<b>Outras espécies</b>	891	375	3.806	5.144	410.025
<b>TOTAL</b>	<b>37.303</b>	<b>272.392</b>	<b>1.083.052</b>	<b>1.955.578</b>	<b>9.851.720</b>

Fonte: Adaptado de Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (IBGE, 2017).

O desenvolvimento das atividades silviculturais contribui no fortalecimento da economia no interior gerando oportunidades de emprego e renda para a população rural, em especial aos pequenos e médios produtores através da diversificação da produção agrícola (FIRJAN, 2009).

Dentre os ganhos ambientais a expansão dos plantios em áreas degradadas e de menor aptidão agropecuária favorecem a recuperação destas, contribuindo para a manutenção dos recursos hídricos através do controle da erosão e do aumento da infiltração da água no solo. Além disso, o aumento da produção de madeira diminui a pressão sobre as florestas nativas em uma área extremamente delicada por se tratar de remanescentes do Bioma Mata Atlântica, contribuindo assim para a preservação e recuperação deste no estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2009; IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2017).

Segundo Ferreira *et al.* (2018), as pastagens degradadas contribuem significativamente no aumento das emissões dos GEE. Os inventários oficiais não consideram essas emissões, caso essas entrassem nesse cômputo as emissões seriam 36% maiores. Porém, as florestas plantadas, os pastos bem manejados e sistemas integrados de lavoura, pecuária e floresta contribuem na fixação do carbono no solo. Se esse sequestro fosse considerado, mesmo com as emissões altas dos pastos degradados, o Brasil teria emissões líquidas 10% menores no setor agropecuário.

A conversão de áreas degradadas em sistemas produtivos é uma estratégia importante para o atendimento das metas da Contribuição Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contribution* - NDC)

do Brasil no Acordo de Paris e também para o cumprimento das metas inscritas na lei da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187/2009) (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2017).

Dentre as diversas medidas pretendidas pelo Brasil para alcançar as metas de redução, podemos citar o aumento da participação da bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18%. No setor florestal e de mudança do uso da terra, a previsão é restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, para múltiplos usos. No setor de energia, alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética expandindo a parcela de fontes não fósseis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar. A principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura se dará por meio da restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 (FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2017).

Utilizar plantios florestais comerciais na recuperação de pastagens degradadas pode contribuir de forma significativa na conservação dos solos, dos recursos hídricos e da biodiversidade, incluindo a retenção de nutrientes promovendo a recuperação nos estoques de carbono orgânico total (LIMA *et al.*, 2008), melhoria na qualidade da água (BRUIJNZEEL, 2004; WOHL *et al.*, 2012 apud OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2017), além de que permitem a regeneração natural e o crescimento de espécies florestais nativas formando sub-bosque, possibilitando vários serviços ambientais, como conservação e restauração da diversidade biológica e captura de GEE (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2017).

Oliveira e Oliveira (2017) ainda destacam que o aumento da área de florestas plantadas pode resultar em desenvolvimento social e econômico, com geração de emprego divisas e diversificação da renda dos produtores rurais, notadamente em regiões com pouco desenvolvimento e que possuem extensas áreas de pastagens degradadas, que poderiam ser convertidas em plantios florestais.

Ainda de acordo com os dados do IBGE (2017), os reflorestamentos no estado estão concentrados na mesorregião Centro Fluminense, com quase metade dos plantios. Em seguida vem a mesorregião Sul que concentra, aproximadamente, 30% das áreas de silvicultura.

Esses plantios ainda são em pequena escala, no entanto tem grande potencial de expansão devido à disponibilidade de terras em áreas degradadas e pastagens nativas, tecnicamente mais adequadas para o plantio de florestas sem nenhum impacto expressivo sobre a produção pecuária (FIRJAN, 2009).

Uma das causas apontadas pela FIRJAN (2009) para o fraco desempenho da silvicultura fluminense pode ser creditada a falta de políticas públicas de incentivo e segurança aos investidores e de garantias de mitigação de possíveis danos ambientais.

Contudo, o marco legal instituído pela Lei Estadual 5.067 de 09 de julho de 2007 (RIO DE JANEIRO, 2007), que dispõe sobre o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) e define critérios para a implantação da atividade de silvicultura econômica, trouxe certo avanço em direção à minimização desses riscos, estabelecendo procedimentos simplificados para o licenciamento de plantios de pequeno e médio porte e o reconhecimento do baixo impacto ambiental de plantios em pequena escala, colocando o Rio de Janeiro em melhor posição para atrair investimentos do setor (FIRJAN, 2009).

O levantamento detalhado do estado feito pelo ZEE resultou na identificação das áreas estratégicas para a implantação de áreas destinadas à silvicultura, denominadas “Distritos Florestais” (Figura 13), e o Decreto nº 45.597 de 10 de março de 2016 (RIO DE JANEIRO, 2016) estabeleceu os procedimentos técnico-administrativos para suas implantações.

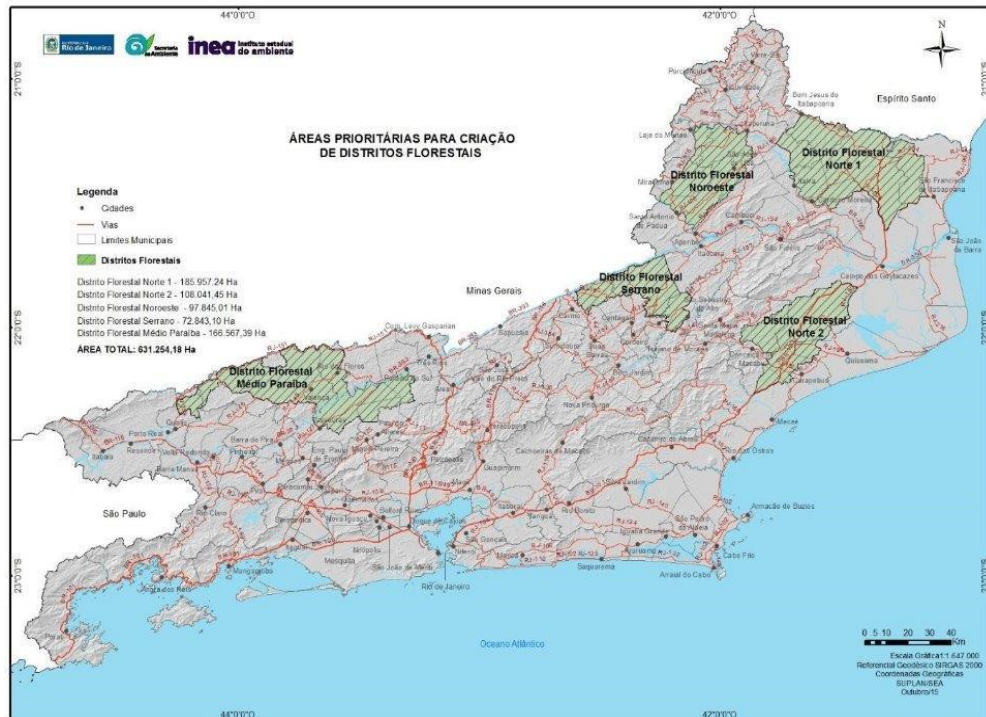


Figura 13: Áreas prioritárias para a criação dos distritos florestais no Rio de Janeiro.

Fonte: INEA (2016).

O Decreto também prevê que o licenciamento ambiental do Distrito Florestal será precedido de Avaliação Ambiental Estratégica, levando em conta o conjunto das áreas demarcadas. A implementação dessa norma favorece a expansão da atividade no estado, pode levar a uma redução da pressão por exploração irregular nos remanescentes de Mata Atlântica e também atrair novos empreendimentos gerando renda para os municípios.

A crescente demanda por fontes de energias renováveis mantém o consumo de madeira e a intensificação dos plantios em regiões propícias respeitando técnicas conservacionistas podem garantir a sustentabilidade econômica, social e ambiental da silvicultura no estado do Rio de Janeiro.

### 3.6. Geração de empregos

A geração de empregos é um dos impactos positivos mais importantes de uma atividade econômica.

De acordo com dados apresentados pela IBÁ (2017), em 2016 o setor florestal brasileiro empregou diretamente 510 mil pessoas e são estimados que, no total, o número de postos de trabalhos da atividade de base florestal – diretos, indiretos e resultantes do efeito renda –, tenha sido da ordem de 3,7 milhões. Assumindo-se o número de empregos gerados diretamente e o salário médio líquido dos trabalhadores, a renda gerada pelo setor foi de aproximadamente R\$ 10 bilhões.

Apesar dos cenários macroeconômicos desfavoráveis, em 2016 o PIB do setor florestal foi de R\$ 71,1 bilhões apresentando uma queda de 3,3% em relação ao ano anterior, mesmo assim foi menor do que o recuo observado na economia brasileira como um todo que foi da ordem de 3,6% (IBÁ, 2017).

Além destes fatores, Ribeiro (2018) ressalta em seu trabalho a contribuição do setor de florestas plantadas no Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), observando que os municípios que possuem plantios comerciais de árvores obtiveram melhorias nos fatores educação, longevidade e renda da IDHM médio. Este fato pode ser explicado devido à dinamização da economia trazida pelo setor de árvores plantadas o qual contribui significativamente para o desenvolvimento socioeconômico das regiões produtoras de madeira (IBÁ, 2017).

A produção de agroenergia, em larga escala, além da redução de custos em relação aos derivados de petróleo, também possibilita gerar de 10 a 20 vezes mais empregos na agricultura de energia do que na alternativa fóssil e apresenta vantagens ambientais - como a redução nas emissões de GEE, promovendo o desenvolvimento sustentável do setor industrial (MAPA, 2006).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, adotou-se uma abordagem em 5 etapas principais, conforme indicado no diagrama da Figura 14.

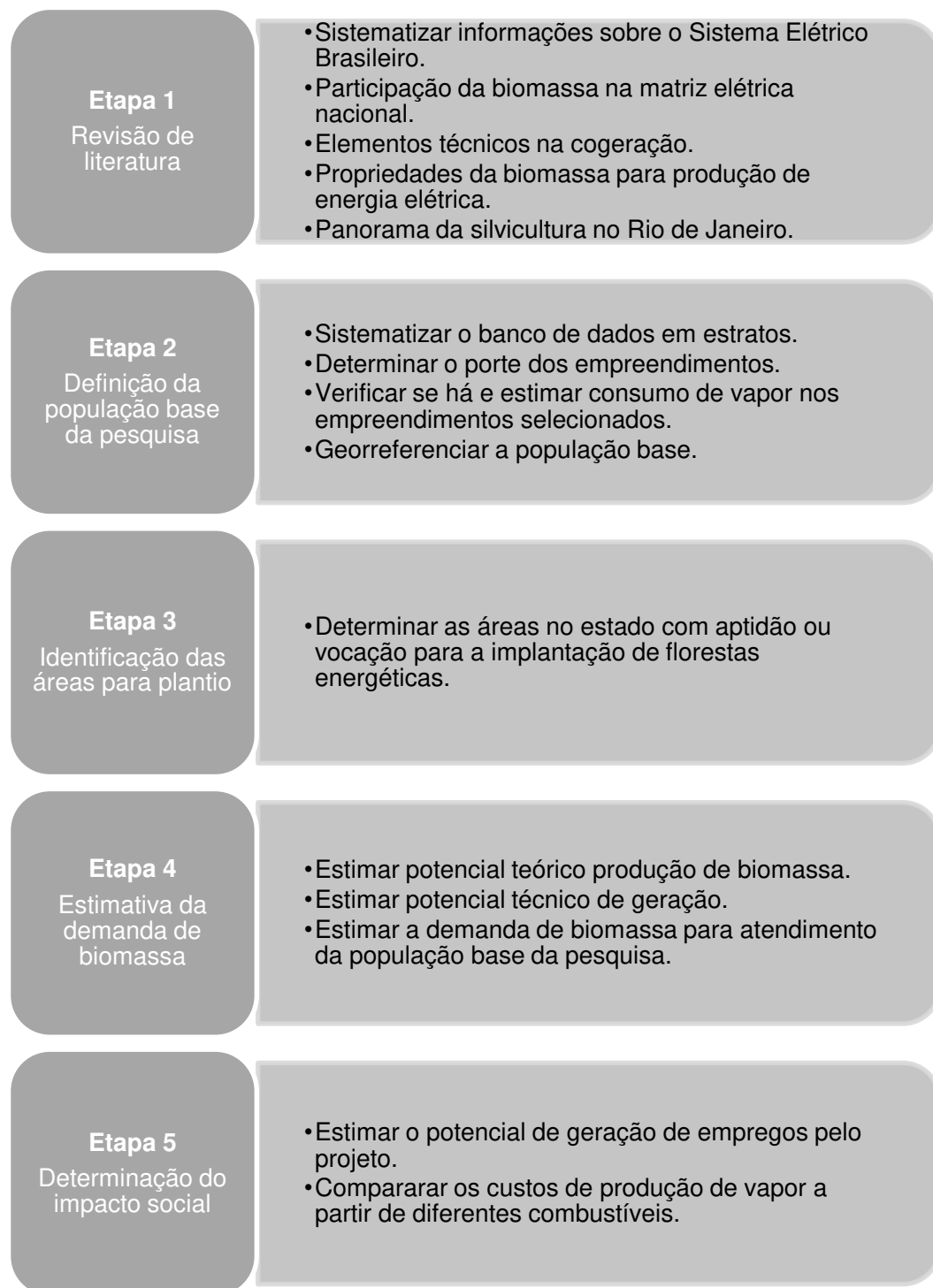


Figura 14: Diagrama de etapas da pesquisa.

Fonte: Elaboração própria.

#### **4.1. Pesquisa bibliográfica**

Esta etapa da pesquisa consiste em reunir e sistematizar as informações e dados que servem de base para melhor compreender a organização do SEB e o potencial de uso da biomassa florestal na produção de vapor e na cogeração de energia termelétrica para consumo no setor industrial do estado do Rio de Janeiro.

A primeira fase da revisão apresenta o histórico de criação do SEB e seu embasamento legal, a sua estrutura organizacional detalhando os entes que o formam, traz informações acerca dos ambientes de mercado para a contratação e comercialização de energia e as principais formas de contratação dentro do ACR - com destaque para a modalidade da Geração Distribuída.

Em relação ao potencial de uso da biomassa florestal, o estudo traz um panorama atual sobre a sua participação nas matrizes energética e elétrica brasileira, apontando dados de geração e consumo dessa fonte.

Nessa etapa são apresentadas as principais tecnologias para conversão da biomassa florestal em energia termelétrica, em especial a cogeração de vapor e eletricidade e também as aplicações e noções de funcionamento dos equipamentos essenciais nos conjuntos de cogeração.

A revisão ainda aponta as principais propriedades físico-químicas da biomassa florestal para a produção de energia e as principais vantagens e limitações do uso desta como combustível.

Finalizando a primeira etapa, este trabalho faz um levantamento do desenvolvimento das atividades silviculturais no estado do Rio de Janeiro e aponta o seu potencial de crescimento devido à disponibilidade de terras em áreas degradadas na região.

#### **4.2. Definição da população base do estudo**

Este trabalho reuniu informações e dados oriundos de fontes secundárias que foram sistematizadas e analisadas a fim de estabelecer uma população base do estudo.

Pela importância e representatividade na economia estadual, estabeleceu-se o setor da indústria de transformação como a população base, pois além destas características este também apresenta consumo significativo de vapor no seu processo industrial justificando a implantação dos sistemas de cogeração.

Nesta etapa foram utilizados os dados contidos no cadastro industrial do Estado Rio de Janeiro, disponibilizado pela FIRJAN (2016), para determinar, quantitativamente, os empreendimentos do setor da indústria de transformação fluminense. O banco de dados do cadastro é estruturado em 21 setores de atividade, dentre estes o da indústria de transformação o qual é subdividido em outros 24 subsetores.

No presente estudo adotou-se a base de definição do IBGE/SEBRAE ([s.d.]) para a determinação do porte dos empreendimentos, classificando-os pelo critério do número de empregados, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Base de definição IBGE/SEBRAE para o porte de empreendimentos.

Porte	Nº empregados	
	Indústria	Comércio e Serviços
Micro	Até 19	Até 9
Pequena	20 a 99	10 a 49
Média	100 a 499	50 a 99
Grande	> 500	> 100

Fonte: Elaboração própria a partir de SEBRAE ([s.d.]).

A justificativa para a escolha desse critério se dá pelo fato de que este é utilizado para estudos estatísticos em âmbito nacional e por ser uma informação de mais fácil acesso (disponível na base RAIS do Ministério do Trabalho e Emprego) do que o montante de faturamento de empresas.

A partir desse parâmetro os indivíduos foram classificados de acordo com o seu porte e também foram consultados especialistas do setor industrial a fim de realizar o refinamento destes dados.

Para finalizar a etapa de definição da população base do estudo os empreendimentos selecionados foram georreferenciados usando os

programas Google Earth Pro® e ArcGIS®. A partir dessa informação, as empresas localizadas em áreas altamente urbanizadas foram excluídas da pesquisa devido à impossibilidade da instalação de uma planta de cogeração decorrente da falta de espaço físico para as áreas de suporte, bem como pela dificuldade de logística do grande volume de material necessário ao atendimento do sistema.

O levantamento das informações acerca do uso e demanda de vapor nos processos produtivos, foi realizado por meio de entrevistas semiestruturadas via contato presencial, telefônico ou correio eletrônico junto aos entes representantes das empresas.

Esta metodologia é caracterizada como uma amostragem intencional e não probabilística onde o amostrador deliberadamente escolhe certos elementos para pertencer à amostra, por julgar tais elementos bem representativos da população (MANZATO; SANTOS, 2012).

Devido à dificuldade de acesso de informações completas relacionadas ao consumo de energia térmica e elétrica de todos os segmentos do setor da indústria de transformação, este trabalho utilizou somente a amostra representativa para realizar o levantamento qualitativo.

### **4.3. Estimativas dos potenciais de produção de biomassa florestal e cogeração de energia termelétrica**

Santos (2017) destaca em seu trabalho que a possibilidade de uso de uma fonte de energia renovável pode ser determinada através dos potenciais teórico, técnico, econômico e/ou realizável. Resch *et al.* (2008) e Santos (2017) definem as categorias conforme a seguir:

- Potencial teórico: representa o limite máximo a ser produzido por um determinado recurso energético, do ponto de vista teórico e baseado no conhecimento científico atual.
- Potencial técnico: geração considerando os limites das tecnologias empregadas, tais como área disponível para a produção do recurso energético, eficiência dos equipamentos, possibilidades de melhorias nas tecnologias de conversão, etc.

- Potencial realizável: representa o potencial máximo assumindo todas as barreiras existentes (taxa de crescimento do mercado e restrições do planejamento).
- Potencial econômico: leva em consideração a relação do PIB per capita, as oscilações do mercado interno e externo, incentivos fiscais, dentre outros.

Para o presente trabalho foi assumida a abordagem pelo potencial teórico de produção de biomassa florestal nas áreas identificadas previamente e pelo potencial técnico de cogeração de energia termelétrica, metodologia descrita em Santos (2017). Assim como em Santos (2017), aqui os potenciais econômico e realizável foram excluídos da pesquisa devido às incertezas políticas e mercadológicas nacionais, uma vez que estes sofrem grandes interferências governamentais, influências de preço de mercado dos insumos, o desenvolvimento incipiente do mercado de biomassa para a geração de energia, o que leva a imprecisões sobre o cálculo desses potenciais.

#### **4.3.1. Estimativa do potencial teórico de produção de biomassa nas áreas identificadas para plantio**

Para o cálculo das estimativas do potencial teórico de produção madeireira adotou-se os parâmetros relacionados às propriedades físicas da madeira: densidade básica, incremento médio anual (IMA), idade de corte e também o poder calorífico útil (PCU).

Devido à escassez de trabalhos científicos previamente realizados para plantios comerciais de eucaliptos no estado do Rio de Janeiro no presente trabalho foram adotados valores médios não regionais encontrados na literatura.

Para a densidade básica foram utilizados os dados disponibilizados pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas ([s.d.]) em seu sítio eletrônico o qual apresenta informações técnicas sobre madeiras brasileiras e plantadas.

Adotou-se uma produtividade média de 35 m<sup>3</sup>/ha para um ciclo de 7 anos, seguindo informações reportadas pelo setor florestal no anuário da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017). Este valor também vai de

acordo com trabalho realizado pela FIRJAN (2009), o qual reflete a produtividade média verificada por empresas com plantios comerciais na região do Vale do Paraíba.

O Poder Calorífico Superior (PCS) usado foi de 4.700 kcal/kg, obtido no banco de dados de amostras do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa e então calculado o Poder Calorífico Inferior (PCI), considerando um teor de umidade de 30%, usando a equação (1).

$$PCU = PCI \left\{ \frac{100 - U}{100} \right\} - 6 * U \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

PCU = Poder Calorífico Útil (kcal/kg);

PCI = Poder Calorífico Inferior a 0% de umidade (PCI = PCS - 324);

U = Teor de Umidade em base úmida (%).

A estimativa de massa seca de cavaco por hectare/ano foi obtida multiplicando-se o incremento médio anual da madeira pela densidade básica da madeira, conforme a equação (2):

$$MSCav = IMA * Dbm \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

MSCav = massa seca de cavaco ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );

IMA = incremento médio anual ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ); e

Dbm = densidade básica da madeira ( $kg \cdot m^{-3}$ ).

Para o cálculo da quantidade de energia teórica, ou seja a quantidade de energia disponível por hectare/ano, expressa em GWh, multiplicou-se a massa de matéria seca da madeira pelo poder calorífico útil, fazendo-se a equivalência de  $10^{-6}$  GWh a 859,85 kcal, calculado pela equação (3).

$$\text{Potencial Teórico} = MSCav * PCU \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Potencial Teórico = energia disponível ( $GWh \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );

MSCav = massa seca de cavaco ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ); e

PCU = poder calorífico útil da madeira ( $kcal \cdot kg^{-1}$ ).

A Tabela 8 sintetiza as premissas florestais adotadas na pesquisa.

Tabela 8: Premissas florestais.

Dados Florestais	Unidade	Valor
IMA	$m^3/ha \cdot ano$	35
Idade de Corte (IC)	anos	7
Densidade básica	$Kg/m^3$	500
Densidade a granel do cavaco	$Kg/m^3$	325
PCS eucalipto	Kcal/kg	4.700

Fonte: Elaboração própria baseado em dados da IBÁ (2017), IPT ([s.d.]) e VALE *et al.* (2011).

#### 4.3.1. Estimativa do potencial técnico de geração de energia termelétrica

Após a tabulação dos dados referentes ao potencial teórico de produção de biomassa nas áreas de interesse do estudo foi, então, calculado o potencial técnico de geração de energia termelétrica.

Para efetuar a estimativa do potencial técnico de geração a partir da biomassa, foi adotada uma adaptação da metodologia de cálculo para conversão energética proposta por Coelho *et al.* (2008) no Atlas de Bioenergia do Brasil. Essa adaptação se fez necessária, uma vez que, o Atlas leva em conta apenas os resíduos gerados na fase de processamento, que, nesse caso representam 50% no peso total da madeira em tora.

Além disso, o cálculo leva em conta um sistema convencional de turbina a vapor (ciclo Rankine) com rendimento de 15%, típico de um sistema de pequeno porte e a conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela divisão por 860.

Essa metodologia é representada pela equação 4, dada a seguir.

$$\text{Potencial técnico} = \frac{\text{MSCav} * \text{PCU} * 0,15}{860 * \text{ROp}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

Potencial Técnico = geração de energia por ano (MWh.ano<sup>-1</sup>);

MSCav = massa seca de cavaco (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>);

PCU = poder calorífico útil da madeira (kcal.kg<sup>-1</sup>); e

ROp = regime de operação (h.ano<sup>-1</sup>).

Considera-se ainda que o sistema de conversão energética opere durante o ano todo usando cavacos de madeira e a operação ocorra em 95% do tempo disponível (0,95 x 365 x 24 = 8.322 horas) (COELHO *et al.*, 2008).

#### **4.4. Estimativa da demanda de biomassa florestal pelos empreendimentos selecionados e área de plantio**

Para estimar a quantidade de biomassa necessária a atender a demanda de vapor dos empreendimentos selecionados na pesquisa, estabeleceram-se três cenários de geração de energia:

- Cenário A: 100% dos empreendimentos usando o combustível apenas para a geração de energia térmica (vapor);
- Cenário B: 100% dos empreendimentos usando o combustível para a cogeração de energia térmica e elétrica;
- Cenário C: cogeração apenas em empreendimentos com vazão de vapor acima de 16 toneladas por hora e pressão mínima de 12 kgf/cm<sup>2</sup> e nos demais somente geração de energia térmica (vapor).

Destaca-se que os parâmetros definidos para o cenário C foram determinados a fim de garantir a mínima viabilidade do projeto mesmo este apresentando baixa eficiência.

Utilizando a equação 5, calculou-se a quantidade de combustível necessária para o atendimento da demanda de vapor em cada um dos cenários traçados.

$$Q_c = \frac{Q_v(h_v - h_a)}{\eta(\text{PCU})} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

$Q_c$  = quantidade de combustível (kg);

$Q_v$  = quantidade de vapor (kg);

$h_v$  = entalpia do vapor em função da pressão temperatura ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ );

$h_a$  = entalpia da água em função da temperatura ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ );

$\eta$  = rendimento (%); e

PCU = Poder calorífico útil ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ )

Em seguida e a partir dos valores demandados de energia obtidos nas simulações, calculou-se a área de floresta necessária para suprimento de madeira. Para a conversão da massa de madeira para metro cúbico utilizou-se uma densidade básica da madeira de  $0,5\text{t./m}^3$ . Finalmente, para estimar a área florestal necessária considerou-se um IMA de  $35\text{m}^3/\text{ha.ano}$ . As equações são apresentadas abaixo.

$$Dm = \frac{Dt}{Dbm} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

$Dm$  = Demanda de madeira em  $\text{m}^3$ ;

$Dt$  = Demanda de madeira em toneladas;

$Dbm$  = Densidade básica da madeira.

$$AF = \frac{Dm}{IMA} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

$AF$  = Área demandada de floresta em hectares;

$Dm$  = Demanda de madeira em  $\text{m}^3$ ;

IMA = incremento médio anual ( $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

#### **4.5. Identificação das áreas potenciais para plantios florestais no estado do Rio de Janeiro**

A identificação de áreas potenciais para plantios florestais foi realizada pelo uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), uma vez que estes “permitem recuperar, armazenar e visualizar dados espacializados, facilitando o cruzamento de informações e a análise de dados, de forma a integrar vários níveis de informação e gerar novos dados e informações” (NOON; DALY, 1996).

Nesta pesquisa optou-se por utilizar áreas cobertas por pastagens degradadas para a produção de biomassa florestal uma vez que estas representam um passivo ambiental para o estado, porém apresentam grande potencial de recuperação através da implantação de florestas comerciais nas suas mais diversas finalidades.

Para o levantamento das áreas de pastagens degradadas nos municípios fluminenses utilizou-se as seguintes bases de dados geográficos:

- Dados do IBGE compilados pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (LAPIG, [s.d.]).
- Mapa que define as áreas prioritárias para criação dos Distritos Florestais (Decreto nº 45.597).

A partir disso foi possível determinar quais regiões no estado apresentam aptidão ou vocação para a implantação de florestas energéticas com fins de atender a demanda de madeira suscitada pelos estabelecimentos industriais dos sistemas de geração térmica e elétrica, além da estimativa da volumetria de madeira e cavacos e a quantidade de energia teórica nas áreas adequadas a silvicultura.

#### **4.6. Potencial de geração de empregos**

O impacto social causado pelo aumento das áreas florestais no estado foi estimado através do número de empregos mantidos pelo setor florestal, obtidos a partir de dados secundários de fontes relacionadas ao setor.

De acordo com a área de pastagem degradada disponível para plantio no estado estimou-se a proporção de empregos que podem ser gerados, seja no campo ou nas áreas diretamente relacionadas, seguindo metodologia descrita por Miranda (2015) e utilizada por Ribeiro (2018) que teve por base o anuário da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) de 2017.

Segundo os dados apresentados no referido anuário existem 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas, para os mais diversos fins,

gerando um total de 3,7 milhões de empregos diretos, indiretos e os resultantes do efeito renda, totalizando 47 postos de trabalho para cada 100 hectares de plantios.

Ainda de acordo com os dados fornecidos pela IBÁ o setor florestal emprega diretamente cerca de 510 mil pessoas, o que dá uma proporção de 6,51 empregos diretos para cada 100 hectares de plantios florestais.

Assim, de forma proporcional, este trabalho estimou o número de empregos que podem ser gerados (diretos e postos totais) a partir das áreas florestais demandadas pelo projeto.

#### **4.7. Análise comparativa dos custos de produção de vapor a partir de diferentes combustíveis**

A análise comparativa dos custos de produção de vapor teve por objetivo demonstrar a competitividade econômica da biomassa florestal em relação aos principais combustíveis fósseis usados pelo setor industrial fluminense. Foi realizada usando o balanço de massa (Equação 5) e os parâmetros técnicos descritos por Miranda (2015), que utilizou dados de produção da indústria de laticínios, os quais são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Parâmetros técnicos para o cálculo do custo de produção de vapor.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Cavacos</b>	<b>Óleo BPF</b>	<b>Gás natural</b>
<b>Entalpia do vapor em função da pressão e temperatura</b>	kcal/kg	663,9	663,9	663,9
<b>Entalpia da água em função da temperatura</b>	kcal/kg	185,6	185,6	185,6
<b>Rendimento da caldeira</b>	%	85	86	91
<b>Poder Calorífico Inferior</b>	kcal/kg	2.880	9.550	9.000
<b>Densidade do combustível</b>	kg/m <sup>3</sup>	325	980	0,74
<b>Regime de operação</b>	horas	8.322	8.322	8.322

Fonte: Adaptado de Miranda (2015).

Os preços por tonelada de combustível foram de R\$ 180,00, R\$ 2.300,00 e R\$ 2.100,00, para o cavaco de eucalipto posto no pátio, óleo combustível tipo BPF 1-A e para o gás natural, respectivamente. Os preços foram levantados junto a fornecedores locais, mês de referência janeiro de 2019.

Os valores das entalpias do vapor e da água podem variar conforme a pressão e temperatura de trabalho da caldeira.

Utilizando a equação 5, descrita na seção 4.4, calculou-se a quantidade de combustível necessária para produzir 1 kg de vapor e, então, estimou-se o custo de produção deste a partir de 3 diferentes combustíveis, quais sejam cavaco de eucalipto, gás natural e óleo combustível tipo BPF 1-A.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Principais indústrias consumidoras de energia térmica e elétrica

Segundo dados da Confederação Nacional das Indústrias, o setor industrial no estado do Rio de Janeiro possui PIB de R\$ 98,8 bilhões, equivalente a 8,6% da indústria nacional. Em 2017 foram registrados 23.612 estabelecimentos industriais, o que representa uma participação de 5% no número de empresas desta natureza no Brasil, empregando 573.630 trabalhadores (CNI, 2018).

As atividades industriais representam o segundo maior consumo de combustíveis fósseis em todo o país, atrás apenas dos transportes. No que diz respeito ao consumo de energia elétrica a indústria é responsável pela maior parcela, cerca de 38%, sendo que o estado do Rio de Janeiro paga a tarifa mais elevada entre as unidades da Federação, 36,5% a mais do que a média nacional (CNI, 2018; FERREIRA *et al.*, 2018).

Pela sua importância econômica e social foi realizado levantamento mediante o cadastro industrial da FIRJAN o qual retornou um total de 2.530 empreendimentos nos subsetores da indústria de transformação, sendo selecionados 250 devido ao porte - médio e grande.

Após a triagem dos dados junto a especialistas do setor industrial, etapa esta descrita na seção Materiais e Métodos, destas 250 indústrias de transformação foram relacionadas 84 potenciais consumidoras de vapor. Em seguida, através do uso de ferramentas de geolocalização foram excluídos da amostra os empreendimentos localizados em áreas altamente urbanizadas, totalizando, assim, 59 empreendimentos componentes da amostra.

As entrevistas foram realizadas com todos os componentes da amostra (59), sendo que 47 empresas retornaram o contato. Diante disso, foi possível evidenciar que 43 empresas empregam vapor em seus processos produtivos e que 4 indústrias não utilizam este insumo.

O índice de retorno dos questionários foi calculado em 79,66% e resultou em uma demanda estimada de 483,8 t/hora (Tabela 10).

Tabela 10: Resumo quantitativo de empreendimentos industriais no estado do Rio de Janeiro.

Subsetor	Total	Selecionados porte	Potenciais consumidores	Amostra final	Consumidores	Consumo de vapor (t/h)
Fabricação de produtos alimentícios	989	63	26	20	12	76,8
Fabricação de bebidas	105	15	4	3	2	115,0
Fabricação de produtos têxteis	253	17	10	6	2	10,0
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	132	20	8	6	6	97,0
Fabricação de produtos químicos	326	47	22	14	12	138,0
Fabricação de produtos farmacêuticos	65	25	11	8	7	34,0
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	429	40	1	1	1	8,0
Fabricação de produtos diversos	231	23	2	1	1	5,0
<b>TOTAL</b>	<b>2.530</b>	<b>250</b>	<b>84</b>	<b>59</b>	<b>43</b>	<b>483,8</b>

Fonte: A autora (2018).

Em relação à localização geográfica, os estabelecimentos não são distribuídos de forma homogênea estando concentrados, principalmente, em parte das regiões metropolitana, serrana e norte fluminense. Os cinco municípios com maior concentração de indústrias consumidoras de vapor são: Rio de Janeiro (14), Três Rios (3), Duque de Caxias (3), Itaperuna (2) e Guapimirim (2). Em relação à quantidade de vapor os cinco maiores consumidores estão localizados nos municípios de: Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Guapimirim, Teresópolis e Piraí (Figura 15).

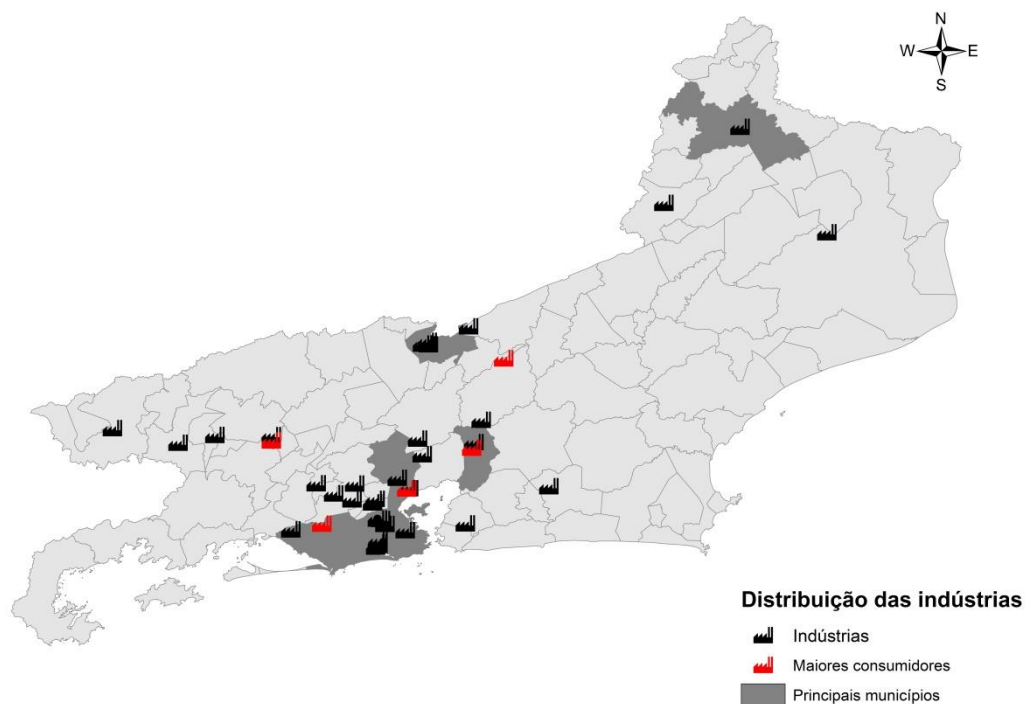


Figura 15: Distribuição das indústrias, principais municípios e maiores consumidores de vapor.

Fonte: A autora (2018).

A concentração das indústrias em zonas altamente urbanizadas dificulta a instalação das plantas de cogeração, uma vez que nelas não há disponibilidade de área tanto para a implantação florestal propriamente dita, quanto para as estruturas de suporte, além do problema de logística, haja vista os constantes engarrafamentos no trânsito das grandes cidades.

Por outro lado, as empresas com maiores consumos estão localizadas em áreas essencialmente industriais ou que apresentam espaço físico suficiente para a instalação das usinas de produção de vapor e cogeração caracterizando, assim, um benefício para sua viabilidade técnica.

## 5.2. Identificação e estimativa das áreas degradadas aptas para plantios comerciais

Os plantios de eucalipto ocupam 7,84 milhões de hectares da área de árvores plantadas do País, o que corresponde a menos de 1% do

território, e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). Dentre os estados do sudeste o Rio de Janeiro é o que possui a menor participação no setor silvicultural, contribuindo com menos de 0,5% da área total plantada no país (IBÁ, 2017; IBGE, 2007).

Em relação às áreas de pastagens degradadas nos municípios fluminenses, os resultados do cômputo realizado pela pesquisa mostram que no estado, atualmente, existem cerca 62.124,20 ha de terras nestas condições, apresentando, assim, significativo potencial para a implantação de florestas comerciais (Figura 16). Havendo, portanto, disponibilidade de áreas para expansão do setor florestal e, conseqüente, produção de biomassa florestal sem comprometer a produção agrícola de alimentos.

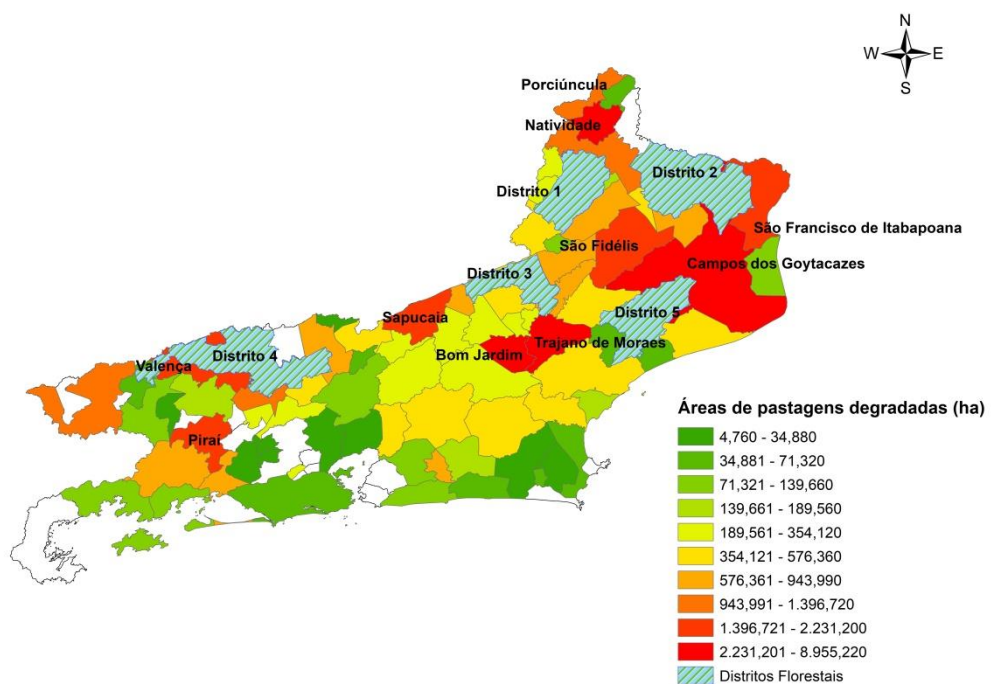


Figura 16: Áreas de pastagens degradadas no estado do Rio de Janeiro e distritos florestais.

Fonte: A autora (2018).

Esses resultados vão ao encontro com os estudos elaborados no âmbito do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Rio de

Janeiro, que resultaram na identificação das áreas estratégicas para implantação dos chamados Distritos Florestais (Figura 16) previstos como instrumento de fomento à silvicultura econômica.

O Decreto define as áreas prioritárias para implantação do Programa Estadual de Fomento Florestal a partir de medidas de incentivo à produção florestal sustentável, sem prejuízo das demais atividades rurais, onde serão implementadas políticas públicas integradas de cunho econômico, social e ambiental, conjugadas com ações efetivas de recuperação de áreas degradadas, com prioridade nas áreas de preservação permanente e reservas legais (RIO DE JANEIRO, 2016).

Os municípios com maiores áreas de pastagens degradadas são: Natividade, Bom Jardim, Trajano de Moraes, Campos dos Goytacazes, Valença, Pirai, São Fidélis, São Francisco de Itabapoana, Sapucaia e Porciúncula. Estes municípios representam 64,76% de toda a área de pastagens degradadas do estado (Figura 17).

A relação de todos os municípios e suas respectivas áreas de pastos degradados é apresentada na seção 8.1 do Anexo.

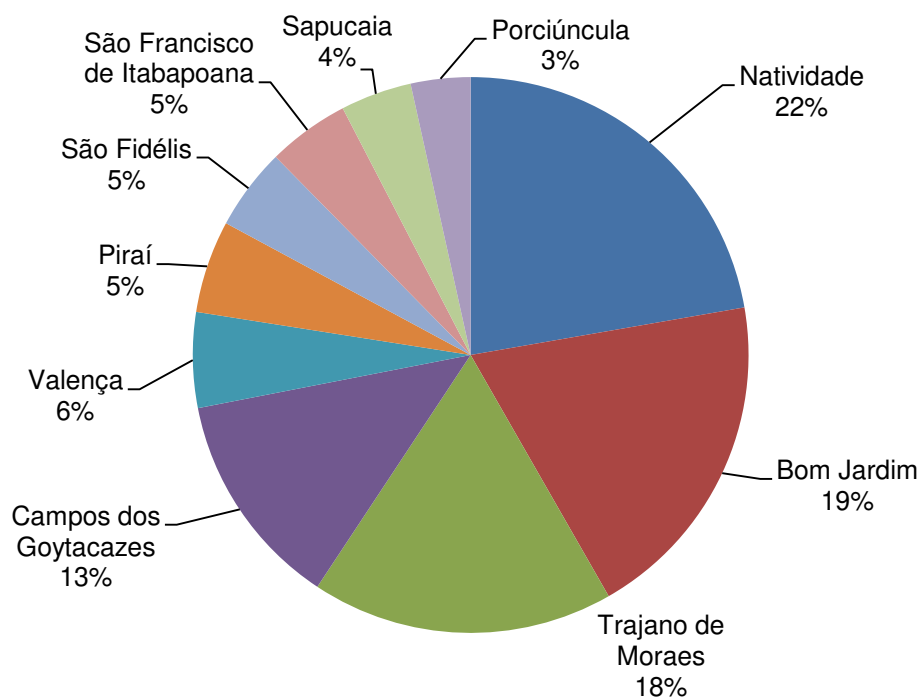


Figura 17: Percentual de pastos degradados em relação à área total de pastagem degradada do Rio de Janeiro.

Fonte: A autora (2018).

Sendo assim, o estabelecimento de plantios comerciais destinados à produção de energia e também outros produtos madeireiros, pode ser um importante instrumento de desenvolvimento regional e do setor florestal fluminense, podendo gerar receita, renda e tributos para o estado, caso esse potencial seja devidamente explorado.

### 5.3. Núcleos industriais

A partir do cruzamento dos dados referentes às áreas de pastos degradados, distribuição das indústrias consumidoras de vapor e dos distritos florestais, levantados nesta pesquisa, identificou-se possíveis áreas para a implantação de empreendimentos formando núcleos industriais conforme destacado na Figura 18.

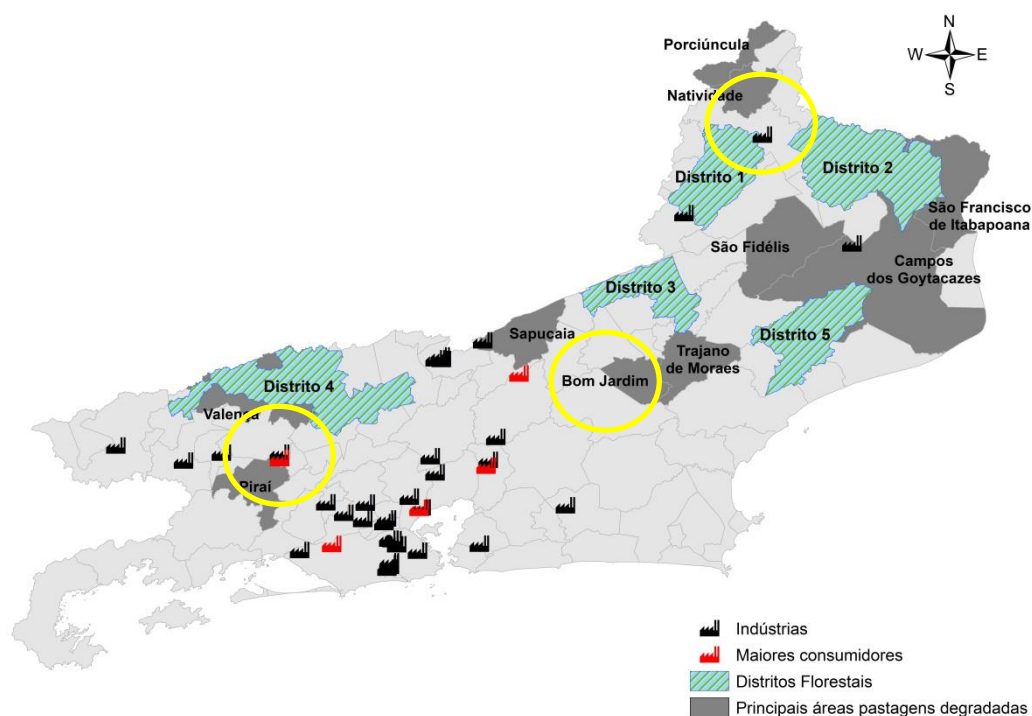


Figura 18: Principais áreas de pastagens degradadas no estado do Rio de Janeiro, distritos florestais e distribuição das indústrias.

Fonte: A autora (2018).

- Núcleo industrial noroeste fluminense

O noroeste fluminense está localizado na porção leste da Serra da Mantiqueira, limítrofe ao estado de Minas Gerais e seu maior centro é o

município de Itaperuna. Em termos econômicos, a região noroeste contribui com 1% do PIB estadual, sendo a agropecuária uma de suas principais atividades econômicas, concentrando na região o terceiro polo do estado (FIRJAN, 2018).

Entretanto, os solos da região são subutilizados e apresentam, aproximadamente, 24% de todas as áreas de pastagens degradadas do Rio de Janeiro e o município com o maior percentual (Natividade – 14,42%) está localizado nesta região. Além disso, os distritos florestais 1 e 2 estão localizados em um raio menor do que 100 km viabilizando o aproveitamento de produtos florestais originados nessas áreas.

O noroeste fluminense é uma área carente em investimentos e indústrias e a implantação de uma unidade de cogeração pode contribuir para o desenvolvimento econômico regional. As extensas áreas de pastos degradados representam uma oportunidade para o desenvolvimento de atividades florestais e a proximidade com o estado de Minas Gerais pode ser uma alternativa para escoar a produção de diversos produtos de origem florestal.

- Núcleo industrial centro sul fluminense

Os municípios que compõem a região geraram um PIB que representou 1% da economia estadual e o setor da indústria de transformação é formado, majoritariamente, por micro e pequenas empresas. Três Rios é o principal município que conta com uma localização estratégica entre Minas Gerais e Rio de Janeiro. Além disso, a região possui malha ferroviária com conexões para o porto do Rio de Janeiro e para o complexo portuário da Baía de Sepetiba (FIRJAN, 2018).

A região concentra indústrias de diversos segmentos, sobretudo empresas de grande porte do setor de alimentos e bebidas, e dentre estas uma das maiores usuárias de vapor em seus processos produtivos, o que representa um potencial consumidor de biomassa florestal como fonte de energia.

Em relação às áreas de pastos degradados, a região concentra cerca de 30% destas e, além disso, os municípios encontram-se próximos aos distritos florestais 3 e 5 favorecendo a implantação da atividade

silvicultural na região, tanto para uso energético quanto para as demais formas de aproveitamento da madeira.

- Núcleo industrial sul fluminense

Os municípios que compõem a região geraram um PIB que correspondente a 7,4% da economia estadual e é a região que mais cresce no interior do estado, devido às facilidades logísticas da região que são potencializadas pela sua proximidade com os estados de São Paulo e Minas Gerais e também com a região metropolitana do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2018).

Ainda de acordo com FIRJAN (2018), a atividade industrial é bastante intensa, sendo a segunda região com a maior representatividade na indústria da transformação, com a presença de empresas de grande porte dos segmentos de metalurgia, veículos automotores e papel, dentre outros.

Dentre as regiões sugeridas para a implantação de núcleos industriais é a que apresenta menor percentual de áreas com pastagens degradadas (13%). O setor agropecuário possui pequena participação na economia regional, entretanto é o terceiro maior polo estadual nessa atividade, com 14% da produção fluminense apresentando, assim, potencial para a expansão da silvicultura (FIRJAN, 2018).

FIRJAN (2018) destaca em seu estudo que a qualidade da energia elétrica na região apresentou resultados piores que a média estadual e que o tempo e frequência sem energia elétrica em seus municípios seguiu como entrave ao desenvolvimento local configurando mais uma oportunidade para a implantação de um polo consumidor de biomassa florestal para fins energéticos.

Além do exposto, o estado do Rio de Janeiro apresenta dificuldades em atrair investimentos, dentre outros fatores, devido ao alto custo das tarifas de energia elétrica, desta forma a biomassa florestal aparece como uma alternativa de menor custo para o atendimento da demanda de energia pelas atividades econômicas desenvolvidas nos municípios fluminenses.

Nesse contexto é importante destacar que a combinação de diferentes atividades econômicas e o fortalecimento do setor florestal

nessas regiões possibilita o aproveitamento da biomassa não apenas para a geração de energia térmica e elétrica. O manejo de uso múltiplo das florestas proporciona uma grande variedade de produtos de origem florestal com diferentes características tecnológicas apresentando-se, assim, como uma alternativa de oferta madeireira, favorecendo a integração de diferentes mercados e contribuindo para o crescimento do setor e das mesorregiões no estado.

#### **5.4. Resultados do potencial de produção de biomassa florestal para produção de vapor e de energia elétrica**

Esta seção mostra os resultados obtidos para o potencial teórico de produção de dendroenergéticos e também o potencial técnico de cogeração de energia termelétrica, ambos na área de interesse do estudo.

##### **5.4.1. Potencial teórico de produção de biomassa florestal e energia**

A partir dos parâmetros florestais, explicitados na seção de Materiais e Métodos, foram obtidos os dados de massa seca de cavaco, volume de cavaco e energia teórica disponível por hectare por ano. Os resultados foram de 17,50 t/ha.ano, 53,85 m<sup>3</sup>/ha.ano e 0,0586 GWh/ha.ano, respectivamente, e os dados completos obtidos encontram-se na seção 8.1 do Anexo.

Considerando a área total de 62.124,20 ha, determinada nesse estudo, é possível produzir um montante de 1.087.173,50 t/ano de massa seca ou um volume de cavacos de madeira na ordem de 3.345.149,23 m<sup>3</sup>/ano e gerou um total de energia teórica de 3.641,40 GWh/ano. Os resultados completos são apresentados na seção 8.1 do Anexo.

A Figura 19 mostra a massa seca de cavacos que pode ser produzida, por ano, nas áreas de pastagens degradadas nos municípios com maiores extensões destas no estado.

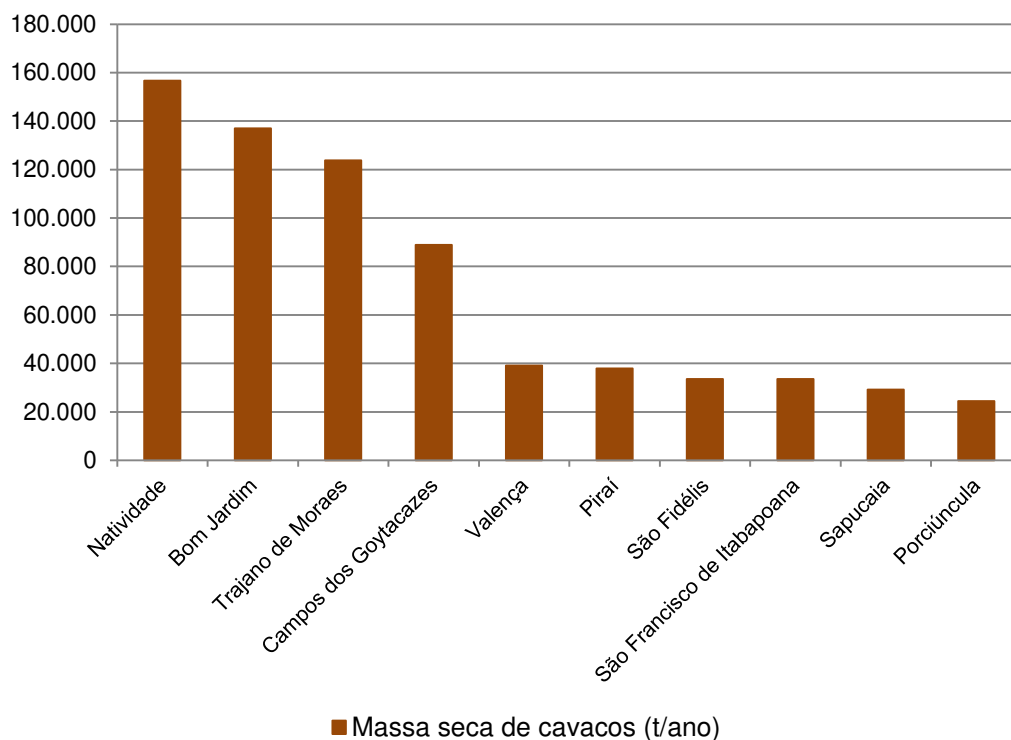


Figura 19: Massa seca de cavacos, em t/ano, nos municípios com maiores áreas de pastagens degradadas.

Fonte: A autora (2018).

A Figura 20 apresenta o mapa com a disponibilidade de massa de cavacos, em t/ano, provenientes dos plantios hipotéticos na área de interesse do estudo e distribuídos por município do estado do Rio de Janeiro.

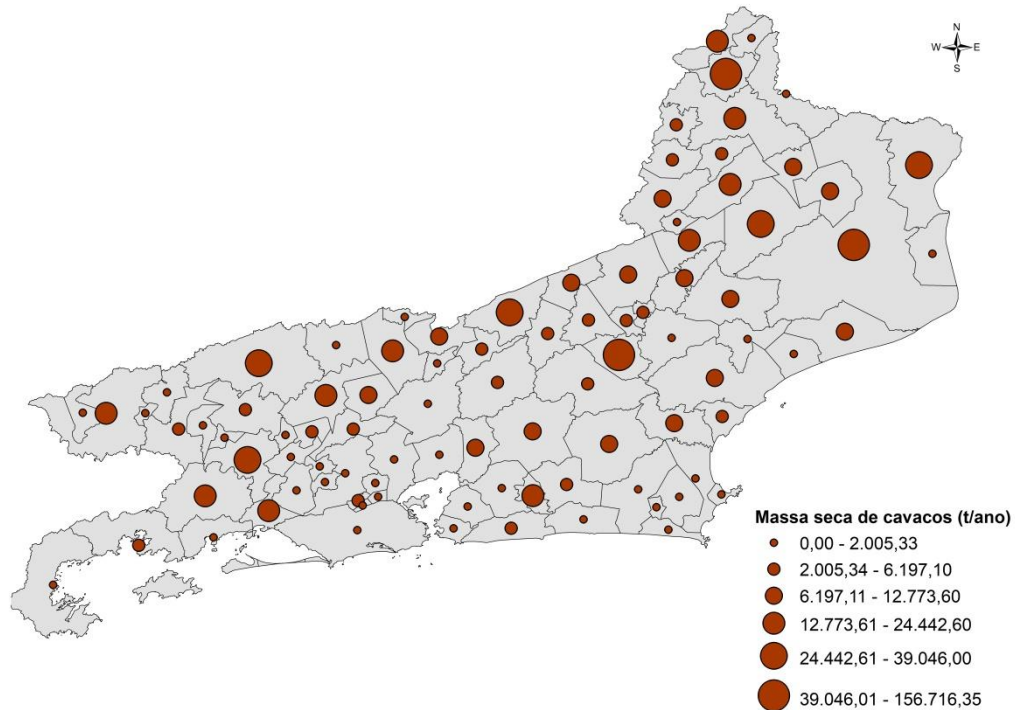


Figura 20: Disponibilidade hipotética mássica de cavacos, em t/ano, nos municípios do estado do Rio de Janeiro.

Fonte: A autora (2018).

Com base nesse cenário, então, estimou-se o potencial teórico de produção de combustível dendroenergético nos plantios de eucaliptos possíveis de serem implantados nas áreas cobertas por pastagens degradadas no estado.

O potencial energético determinado refere-se a energia disponível na biomassa florestal produzida na área antes de qualquer processo de conversão. Os resultados obtidos demonstram uma grande capacidade de produção de madeira e, conseqüente, geração de energia termelétrica renovável.

A Figura 21 mostra a quantidade de energia teórica que pode ser produzida, por ano, nas áreas de pastagens degradadas nos municípios com maiores extensões destas no estado.

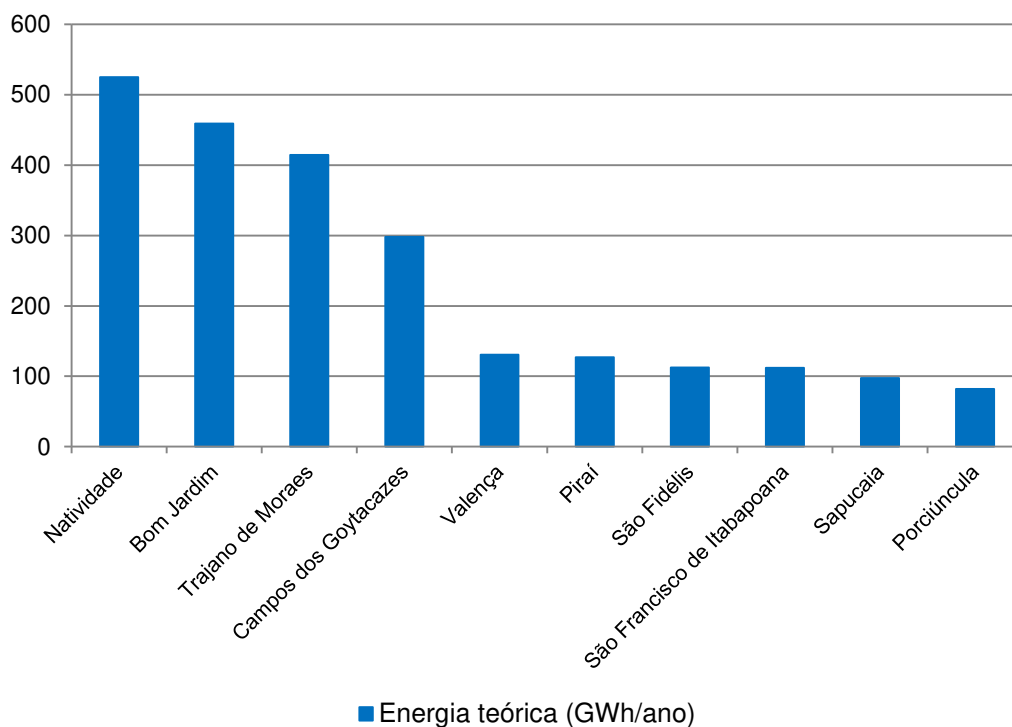


Figura 21: Energia teórica, em GWh/ano, nos municípios com maiores áreas de pastagens degradadas.

Fonte: A autora (2018).

A Figura 22 apresenta o mapa com a disponibilidade do potencial energético, em GWh/ano, proveniente da biomassa florestal dos plantios hipotéticos na área de interesse do estudo e por município do estado do Rio de Janeiro.

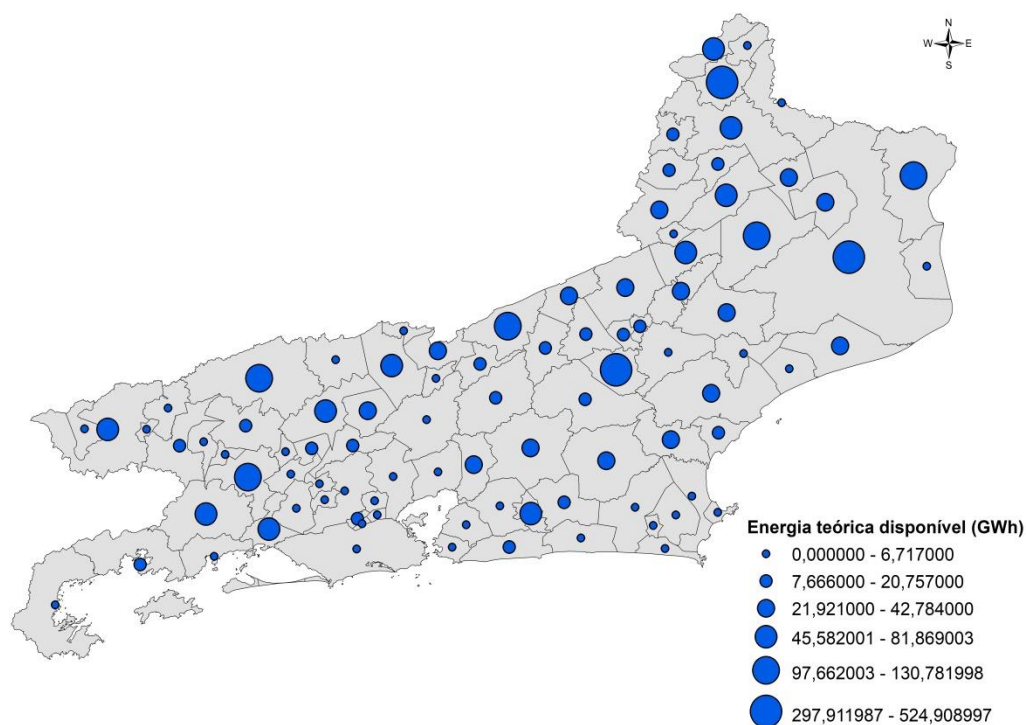


Figura 22: Disponibilidade do potencial energético, em GWh/ano, nos municípios do estado do Rio de Janeiro.

Fonte: A autora (2018).

A Tabela 11 apresenta o resumo da estimativa do volume de madeira, de massa seca de cavacos, volume de cavacos e de energia teórica na área de interesse. Os resultados completos se encontram no Anexo (seção 8.1).

Tabela 11: Resumo dos resultados da produção de dendroenergéticos na área total identificada no estudo (62.124,20 ha).

Parâmetro	Unidade	Total
<b>Volume Madeira</b>	m <sup>3</sup>	2.174.347,00
<b>Massa Seca Cavaco</b>	t/ano	1.087.174,50
<b>Volume Cavaco</b>	m <sup>3</sup> /ano	3.345.149,23
<b>Energia Teórica</b>	GWh/ano	3.641,40

Fonte: A autora (2018).

Há que se considerar que os valores acima se referem à disponibilidade de energia, tendo em conta o percentual de umidade dos cavacos, além do fato de que se trata da disponibilidade total, ou seja, de

toda biomassa produzida na área hipotética e desconsiderando a eficiência de conversão e supondo que toda produção converte-se em geração de eletricidade.

#### **5.4.2. Potencial técnico de cogeração de energia termelétrica**

Fez-se uma estimativa do potencial técnico em função da disponibilidade de biomassa a ser utilizada, da tecnologia empregada e dos coeficientes técnicos dos equipamentos e do combustível a ser utilizado.

A estimativa de disponibilidade de combustível por hectare de plantio foi de 17,50 toneladas de cavacos por ano. A partir da extrapolação desses valores para a área total identificada (62.124,20 ha) obteve-se como resultado 1.087.173,50 de toneladas de cavacos.

O cálculo do potencial teórico para geração de energia resultou em um total de 65.623,05 MWh/ano nas áreas de pastagens degradadas consideradas nesse estudo. O resumo dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12: Estimativas da disponibilidade de combustível por hectare e total e energia técnica na área total identificada no estudo (62.124,20 ha).

<b>Massa seca cavaco (t/ano)</b>	<b>Massa seca cavaco total (t/ano)</b>	<b>Energia técnica MWh/ano</b>
17,50	1.087.173,50	65.623,05

Fonte: A autora (2018).

Essa oferta de energia, que tem como combustível a madeira de reflorestamento, pode contribuir, significativamente, na diversificação e renovabilidade da matriz energética estadual por substituir o gás natural e óleo combustível, predominantes nos segmentos das indústrias de química, papel e celulose, alimentos, bebidas e outros.

## 5.5. Estimativa da demanda de biomassa florestal pelos empreendimentos selecionados e área de plantio

Nos 3 cenários avaliados foram usados como base para o cálculo da demanda de biomassa florestal os dados relacionados no item 5.1, referentes ao consumo de vapor das empresas, que totalizou um montante de 483,8 toneladas de vapor por hora.

Foram obtidos os seguintes resultados para cada uma das hipóteses analisadas: em relação ao cenário A, que prevê a produção apenas de energia térmica na forma de vapor, há um consumo de 100,43 t/h de cavacos. Considerando um regime de trabalho de 8.322 h/ano, obteve-se um consumo anual de 835.817,54 t/ano de cavacos para atender a demanda total de vapor das empresas. Isso equivale a uma área florestal de 47.761,00 hectares ou uma colheita florestal anual de 6.823,00 ha/ano.

Para o cenário B, onde o perfil de consumo de energia elétrica e vapor pelas empresas consultadas nessa pesquisa é muito heterogêneo, optou-se por utilizar uma planta referência para a simulação da estimativa do consumo de biomassa. Os parâmetros de dimensionamento da UTE de referência são exibidos na Tabela 13.

Considera-se ainda que o sistema de conversão energética opere durante o ano todo usando cavacos de madeira e a operação ocorra em 95% do tempo disponível ( $0,95 \times 365 \times 24 = 8.322$  horas).

Tabela 13: Parâmetros do dimensionamento técnico da UTE de referência.

Parâmetro	Unidade	Total
Potência brutal total	MW	1,0
Capacidade produção vapor	t/h	15,0
Temperatura do vapor	°C	400
Pressão de trabalho rede	bar	10,0
Pressão de trabalho da turbina	bar	25,0
Eficiência da caldeira	%	85,0
Poder calorífico inferior (PCI)	Kcal/kg	2.880
Regime de operação	h/ano	8.322

Fonte: A autora (2018) com base em dados da ICAVI.

Para este cenário e considerando os valores da entalpia média (663,9 kcal/kg de vapor) e também de acordo com o PCI do combustível, foram obtidos os valores de massa e volume de cavacos necessários a uma produção elétrica de 1,0 MWh, além da área florestal necessária para o atendimento dessa demanda. Os resultados são sintetizados Tabela 14.

Tabela 14: Resultados do dimensionamento técnico da UTE de referência.

<b>Dados</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
Potência Bruta Total	MW	1,0
Produção vapor	t/h	15,00
Pressão	Bar	10,00
Eficiência	%	85,00
Energia hora	MWh	1,00
<b>Consumo combustível</b>		
kg cavaco/h	kg/h	4.560,00
m <sup>3</sup> cavaco/h	m <sup>3</sup> /h	14,02
kg cavaco/MWh	kg/MWh	4.556,18
m <sup>3</sup> cavaco/MWh	m <sup>3</sup> /MWh	14,02
t cavaco/ano	t/ano	37.916,50
<b>Área plantio necessária</b>		
Total	ha	2.166,66
Anual	ha	309,52
Energia gerada/ano	MWh/ano	8.322,00

Fonte: A autora (2018) com base em dados da ICAVI.

A partir da definição do dimensionamento da unidade de referência inferiu-se ser necessária a instalação de 33 unidades de cogeração de energia para atendimento da demanda de vapor dos processos produtivos dos empreendimentos selecionados. Extrapolando-se os dados do dimensionamento para atendimento das unidades totais propostas obtiveram-se os seguintes resultados (Tabela 15).

Tabela 15: Consumo de combustível e área de plantio necessária ao atendimento da demanda de vapor para o cenário B.

<b>Dados</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
<b>Consumo combustível</b>		
kg cavaco/h	kg/h	150.480,00
m <sup>3</sup> cavaco/h	m <sup>3</sup> /h	462,66
kg cavaco/MWh	kg/MWh	150.353,94
m <sup>3</sup> cavaco/MWh	m <sup>3</sup> /MWh	462,66
t cavaco/ano	t/ano	1.251.244,50
<b>Área plantio necessária</b>		
Total	ha	71.499,78
Anual	ha	10.214,16
Energia gerada/ano	MWh/ano	274.626,00

Fonte: A autora (2018) com base em dados da ICAVI.

Esse possível aporte de energia proveniente da biomassa florestal na matriz elétrica do estado pode contribuir, significativamente, em sua renovabilidade e conseqüente diminuição das emissões dos GEE. Outra vantagem da diversificação das fontes na matriz é que ela aumenta a segurança no suprimento de energia, pois diminui a dependência de condições climáticas ou de preços internacionais de combustíveis.

A disponibilidade e o preço da energia são fatores fundamentais para a competitividade industrial do Brasil, nesse sentido, é fundamental para o país a ampliação da participação de outras fontes de energia renovável em suas matrizes elétricas.

Em relação ao cenário C, aplicou-se a mesma planta referência usada no cenário B (Tabela 144) para simular a estimativa de consumo de biomassa para o grupo específico que prevê apenas a cogeração.

Inferiu-se ser necessária a instalação de 15 unidades de cogeração de energia para atendimento da demanda de vapor dos processos produtivos dos empreendimentos selecionados. Extrapolando-se os dados do dimensionamento para atendimento das unidades totais propostas obtiveram-se os seguintes resultados (Tabela 16).

Tabela 16: Consumo de combustível e área de plantio necessária ao atendimento da demanda de vapor em sistema de cogeração.

<b>Dados</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
<b>Demanda de vapor</b>	t/h	215,00
<b>Consumo combustível</b>		
kg cavaco/h	kg/h	68.400,00
m <sup>3</sup> cavaco/h	m <sup>3</sup> /h	210,30
kg cavaco/MWh	kg/MWh	68.342,70
m <sup>3</sup> cavaco/MWh	m <sup>3</sup> /MWh	210,30
t cavaco/ano	t/ano	568.747,50
<b>Área plantio necessária</b>		
Total	ha	32.499,90
Anual	ha	4.642,80
Energia gerada/ano	MWh/ano	124.830,00

Fonte: A autora (2018) com base em dados da ICAVI.

Na simulação do consumo de combustível para os empreendimentos que preveem apenas a produção de energia térmica na forma de vapor (286,8 toneladas de vapor por hora), obteve-se como resultado um consumo de 59,54 t/hora de cavacos. Considerando um regime de trabalho de 8.322 h/ano, obteve-se um consumo anual de 495.478,44 toneladas de cavacos para atender a demanda total de vapor das empresas. Isso equivale a uma área florestal de 28.313,05 hectares ou 4.044,72 ha/ano.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados globais para o cenário C, ou seja, considerando o consumo de combustível para atender a demanda em sistema de cogeração e também para a produção de vapor.

Tabela 17: Resultados globais para o cenário C.

<b>Dados</b>	<b>Unidades</b>	<b>Total</b>
<b>Demanda de vapor</b>	t/h	483,80
<b>Consumo combustível</b>		
kg cavaco/h	kg/h	127.938,39
m <sup>3</sup> cavaco/h	m <sup>3</sup> /h	393,66
t cavaco/ano	t/ano	1.064.225,94
<b>Área plantio necessária</b>		
Total	ha	60.812,95
Anual	ha	8.678,52

Fonte: A autora (2018) com base em dados da ICAVI.

## 5.6. Potencial de geração de empregos pelo projeto

No estado do Rio de Janeiro as indústrias consomem, basicamente, gás natural para a geração de energia termelétrica. Isto posto, a substituição deste combustível por biomassa florestal apresenta a vantagem de criar oportunidades de emprego e de geração de renda no âmbito do agronegócio e com maior participação de pequenos produtores no mercado florestal.

Dessa maneira, o incentivo à produção de florestas visando o abastecimento de caldeiras permite enfrentar os desafios da produção de energia sustentável e vai além dos aspectos da proteção ambiental, tendo como diferencial a geração de emprego e renda.

A Tabela 18 apresenta os resultados obtidos para o potencial de geração de empregos para os 3 cenários analisados neste trabalho, os quais foram estimados de acordo com os critérios apresentados pela IBÁ (2017) :

- Empregos diretos: 6,51 para cada 100 hectares de plantio florestal;
- Postos de trabalho<sup>3</sup>: 47 para cada 100 hectares de plantio florestal.

Tabela 18: Potencial de geração de empregos nos 3 cenários avaliados.

Parâmetro	Unidade	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Área florestal	ha/ano	6.823,00	10.214,16	8.678,52
Empregos diretos	un	~444	~665	~565
Postos de trabalho	un	~3.207	~4.801	~4.079

Fonte: A autora (2018) com base em dados da IBÁ (2017).

## 5.7. Análise comparativa dos custos de produção de vapor a partir de diferentes combustíveis

A partir do estudo comparativo entre os combustíveis obteve-se a quantidade necessária para a produção de 1 tonelada de vapor, assim

<sup>3</sup> São os empregos diretos, os indiretos e os resultantes do efeito renda.

como o custo para cada um deles, sendo os resultados obtidos nessa simulação apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: Simulação comparativa dos custos de produção de vapor.

Parâmetro	Unidade	Cavacos	Óleo BPF	Gás Natural
Quantidade de combustível	t	0,208	0,063	0,059
Preço do combustível	R\$/t	180,00	2.300,00	2.140,00
Custo do vapor	R\$/t	37,37	143,99	126,37

Fonte: A autora (2018).

Baseado nos dados anteriores determinou-se a diminuição dos custos quando se compara os diferentes combustíveis e chegou-se a uma economia mínima de R\$89,00, substituindo o gás natural por cavaco e R\$106,62 substituindo o óleo BPF por cavacos.

O cavaco de eucalipto é o insumo que produz o vapor ao menor custo, ainda que apresente menor poder calorífico e densidade. Essas propriedades implicam na necessidade de uma área significativamente maior para estocagem e maior intensidade de manuseio, caracterizando uma desvantagem em relação os outros combustíveis analisados.

O custo do combustível tem papel fundamental na avaliação do projeto, uma vez que está diretamente relacionado ao dimensionamento e viabilidade da produção de energia térmica e elétrica.

Desta forma, a economia no custo de produção do vapor demonstra a eficiência e eficácia do uso da biomassa florestal como fonte de energia renovável, gerando novas oportunidades de negócios e atendendo critérios econômicos, sociais e ambientais.

## 5.8. Recomendações e estudos futuros

As análises e estimativas realizadas demonstraram a potencialidade do uso do cavaco de eucalipto como importante oferta de combustível renovável, não sazonal, nem intermitente para a cogeração de energia térmica e elétrica pelo setor da indústria de transformação fluminense.

O reduzido número de pesquisas sobre os aspectos tecnológicos e silviculturais dos plantios comerciais no estado foi fator limitante para a

elaboração deste trabalho. Variações nos parâmetros florestais, tais como incremento médio anual, densidade básica, umidade e poder calorífico, exercem grande influência nos resultados, pois afetam diretamente na operação de uma caldeira e na sua economicidade. Sendo assim, recomenda-se a elaboração de pesquisas nas áreas de silvicultura e de tecnologia da madeira a fim de determinar parâmetros florestais mais precisos para o estado.

Durante a construção desse trabalho verificou-se a necessidade de estímulo às pesquisas relacionadas à produção de energia a partir da biomassa florestal, com a finalidade de dirimir as barreiras de entendimento quanto aos benefícios e custos do combustível, pois ainda há desconhecimento por parte do setor industrial acerca da viabilidade de substituição dos combustíveis fósseis pela madeira. Desta forma, ainda há necessidade de novos estudos com simulações e análises de sensibilidade dos custos de produção de vapor a partir das diferentes fontes.

O poder público exerce papel determinante no desenvolvimento das atividades da indústria de base florestal através de exigências burocráticas, como o licenciamento ambiental moroso e caro, causando entraves ao pleno desenvolvimento desta atividade e, muitas vezes, inviabilizando projetos sustentáveis nas esferas ambiental, social e econômica. Portanto, é necessário que o setor produtivo, juntamente com os órgãos licenciadores encontrem alternativas para a produção sustentável de madeira no estado, dando maior agilidade e clareza aos critérios para licenciamento ambiental de projetos florestais.

## 6. CONCLUSÕES

Dos resultados deste trabalho, conclui-se que:

- Há significativo potencial do uso da biomassa florestal como fonte de energia termelétrica para o setor da indústria de transformação do estado do Rio de Janeiro em substituição aos combustíveis fósseis, como o gás natural e o óleo BPF;
- As atividades industriais representam o segundo maior consumo de combustíveis fósseis no país, sendo o perfil de consumo de energia elétrica e vapor muito heterogêneo;
- A silvicultura ainda é incipiente no estado, contribuindo com menos de 0,5% da área total de plantios de eucalipto no país. Entretanto há disponibilidade de terras, tanto de pastagens degradadas como de baixa produtividade, para o estabelecimento dos plantios florestais comerciais;
- As maiores disponibilidades de áreas cobertas por pastagens degradadas convergem para as áreas identificadas como Distritos Florestais, as quais são classificadas como prioritárias para a implantação da silvicultura comercial no estado;
- A implementação dos Distritos Florestais favorece a expansão sustentável da atividade no estado, o que pode levar a uma redução da pressão por exploração irregular nos remanescentes de Mata Atlântica;
- O potencial teórico de produção de biomassa florestal e energia demonstram uma grande capacidade de produção de madeira e, conseqüente, geração de energia termelétrica renovável considerando a área total determinada no estudo;
- O potencial técnico para geração de pode contribuir, significativamente, na diversificação e renovabilidade da matriz energética estadual quando em substituição a geração a gás natural, combustível predominante nos segmento industrial fluminense;
- As áreas cobertas por pastagens degradadas e que poderiam ser utilizadas para a implantação de florestas energéticas não é suficiente

quando se utiliza sistemas de cogeração para atendimento da demanda total de vapor das indústrias selecionadas;

- A substituição do gás natural por biomassa florestal apresenta a vantagem de criar oportunidades de empregos e de geração de renda no âmbito do agronegócio com maior participação de pequenos produtores no mercado florestal;

- A comparação dos custos de produção de vapor entre diferentes combustíveis enseja que a tonelada de vapor gerada com insumos fósseis é, cerca de, 30% maior que com a biomassa florestal.

- As diversas vantagens da biomassa florestal favorecem sua competitividade em relação às demais fontes, podendo, então, se tornar um componente importante para a matriz energética estadual.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ABRADEE. **Visão geral do setor**. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>. Acesso em: 01 jun. 2018.

ALVIM FILHO, A. DE C. **Aspectos tecnológicos das fontes de energia renováveis (biomassa)**. Cartagena de Indias, Colombia, 2009. Disponível em: <https://www.ariae.org/file/574/download%0A>. Acesso em: 03 jun. 2018.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p.

ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 1 jun. 2018.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2016. 31 p.

ANEEL . **Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012**. [Brasília], 2017. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3\\_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86). Acesso em 01 de jun. 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. [Brasília], DF, 2012.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. [Brasília], DF, 2015.

ANEEL. **Resolução Normativa no 786, de 17 de outubro de 2017**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. [Brasília], DF, 2017.

BARJA, G. D. J. A. **A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.

BIN, A. *et al.* Da P&D à inovação : desafios para o setor elétrico brasileiro. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 3, p. 552–564, 4 set. 2015. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2015000300552&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2015000300552&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 1 jun. 2018.

BRAND, M. A. **Energia da Biomassa Florestal**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p. ISBN: 978-85-7193-244-9.

BRANDÃO, S. da S. **Cogeração**. 2004. Trabalho no âmbito da cadeira: Produção e Planejamento de Energia Elétrica - Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2004.

BRASIL. **Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004**. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2004.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.074, de 7 de julho de 1995**. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 1995.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 1996.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2002.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.847, de 15 de março de 2004**. Autoriza a

criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2004.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.848, de 15 de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2004.

BRASIL, N. P. **Apostila de Cogeração**. 2005. Notas de aula - Universidade Federal Fluminense, [Niterói], RJ, 2005. Disponível em: [http://www.professores.uff.br/dulcemargarcia/wp-content/uploads/sites/39/2017/07/Apostila\\_Cogeracao\\_Otima.pdf](http://www.professores.uff.br/dulcemargarcia/wp-content/uploads/sites/39/2017/07/Apostila_Cogeracao_Otima.pdf). Acesso em: 15 jun. 2018.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 185–193, 1 abr. 2007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142007000100015&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100015&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 01 jun. 2018.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 104, n. 1, p. 185–228, 1 set. 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880904000404>. Acesso em: 11 jan. 2019.

CCEE. **Regras de Comercialização - Receita de Venda de CCEAR**, 2015. Versão 2015.1.0. Disponível em: [http://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE\\_346462](http://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_346462). Acesso em: 01 jun. 2018.

CCEE. **CCEE - Com quem se relaciona - Instituições do setor elétrico brasileiro**, 2018a. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/com\\_quem\\_se\\_relaciona?\\_afLoop=40910803993283#%40%3F\\_afLoop%3D40910803993283%26\\_adf.ctrl-state%3Djb2n5rf8j\\_4](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/com_quem_se_relaciona?_afLoop=40910803993283#%40%3F_afLoop%3D40910803993283%26_adf.ctrl-state%3Djb2n5rf8j_4). Acesso em: 01 jun. 2018.

CCEE. **Comercialização - Setor elétrico brasileiro**, 2018b. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/comercializacao?\\_adf.ctrl-state=9f34s1j\\_5&\\_afLoop=234058090097468#!](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_adf.ctrl-state=9f34s1j_5&_afLoop=234058090097468#!). Acesso em: 23 jun.

2018.

CCEE. **Tipos de Leilões - Entenda como funciona um leilão**, 2018c. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/como\\_ccee\\_atua/tipos\\_leiloes\\_n\\_logado?\\_afLoop=235429642891813&\\_adf.ctrl-state=9f34s1j\\_152#!%40%40%3F\\_afLoop%3D235429642891813%26\\_a df.ctrl-state%3D9f34s1j\\_156](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afLoop=235429642891813&_adf.ctrl-state=9f34s1j_152#!%40%40%3F_afLoop%3D235429642891813%26_a df.ctrl-state%3D9f34s1j_156). Acesso em: 23 jun. 2018.

CHAGAS, M. E. **Setor elétrico brasileiro: o modelo após a reforma de 2004**. 2008. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/122450>. Acesso em: 01 jun. 2018.

CNI. **Perfil da Indústria nos Estados**. Disponível em: <http://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/rj>. Acesso em: 04 jan. 2019.

COELCE. **Visão geral do setor elétrico brasileiro**. [s.d.]. Disponível em: [http://www.mzweb.com.br/coelce2011/web/arquivos/Coelce\\_VISAO\\_GERAL\\_SETOR\\_ELET\\_BRA.pdf](http://www.mzweb.com.br/coelce2011/web/arquivos/Coelce_VISAO_GERAL_SETOR_ELET_BRA.pdf). Acesso em: 13 fev. 2019.

COELHO, S. T. *et al.* **Atlas de Bioenergia do Brasil**. 2008. São Paulo. CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa.

COUTO, L.; DIAS MÜLLER, M.; TSUKAMOTO FILHO, A. de A. **Florestas plantadas para energia: aspectos técnicos, sócio-econômicos e ambientais**. 2002. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal2\\_000gapwj31d02wx5ok04xjloykub3f66.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal2_000gapwj31d02wx5ok04xjloykub3f66.pdf). Acesso em: 02 jun. 2018.

DELGADO, R. F. lourenço. **Estudo e Implementação de Um Sistema de Cogeração**. 2016. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016. Disponível em: <http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/iccesumar/article/viewFile/1179/1308>. Acesso em: 05 jun. 2018.

ELEKTRO. **Manuais Elektro de Eficiência Energética**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.elektro.com.br/sustentabilidade/programa-de-eficiencia-energetica>. Acesso em: 05 jun. 2018.

ELETROBRAS. **Dicionário da energia elétrica**. [s.d.]. Disponível em: <http://eletrobras.com/pt/Paginas/Dicionario-da-Energia-Eletrica.aspx>. Acesso em: 26 ago. 2018.

EPE. **Balço Energético Nacional 2014**: Ano base 2013, Relatório Síntese. Rio de Janeiro, RJ, 2014. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese do Relatório Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese%20do%20Relatório%20Final_2014_Web.pdf). Acesso em: 02 jun. 2018.

EPE. **Balço Energético Nacional 2015**: Ano base 2014, Relatório Síntese. Rio de Janeiro, RJ, 2015. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese do Relatório Final\\_2015\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese%20do%20Relatório%20Final_2015_Web.pdf). Acesso em: 02 jun. 2018.

EPE. **Balço Energético Nacional 2016**: Ano base 2015, Relatório Síntese. Rio de Janeiro, RJ, 2016. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese do Relatório Final\\_2016\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese%20do%20Relatório%20Final_2016_Web.pdf). Acesso em: 02 jun. 2018.

EPE. **Balço Energético Nacional 2017**: Ano base 2016, Rio de Janeiro, RJ, 2017a. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf). Acesso em: 02 jun. 2018.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**: ano base 2016. Rio de Janeiro, RJ, 2017b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2018.

EPE. **Balço Energético Nacional 2017**: Ano base 2016, Relatório Síntese. Rio de Janeiro, RJ, 2017c. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese do Relatório Final\\_2017\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese%20do%20Relatório%20Final_2017_Web.pdf). Acesso em: 02 jun. 2018.

EPE. **Balço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018a. p. 292.

EPE. **Balço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017, Relatório Síntese. Rio de Janeiro, RJ, 2018b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em 12 fev. 2018.

FERREIRA, A. L. *et al.* **SEEG - emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos.** [São Paulo], SP, 2018. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2018/05/Relato%CC%81rios-SEEG-2018-Energia-Final-v1.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2018.

FILHO, W. P. B.; AZEVEDO, A. C. S. de. Geração distribuída: vantagens e desvantagens. **Anais de artigos do II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia**, v. II, n. Volume II, p. 126–135, 2013a. ISSN 2316-7637.

FIRJAN. Silvicultura Econômica no Estado do Rio de Janeiro. **Estudos de Desenvolvimento para o Estado do Rio de Janeiro**, n. 5, p. 14, 2009. Disponível em: <http://www.firjan.com.br/publicacoes-1/publicacoes-de-economia/silvicultura-economica-no-estado-do-rio.htm>. Acesso em: 16 out. 2018.

FIRJAN. **Retratos regionais - anuário econômico.** Rio de Janeiro, RJ, 2018. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/retratos-regionais.htm>. Acesso em: 21 nov. 2018.

FIRJAN. **Cadastro industrial do estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, RJ, 2016. 1 CD-ROM.

FOELKEL, C. **Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade.** 2016. *E-book*. Disponível em: [http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44\\_Geracao\\_Calor\\_Vapor\\_Eletricidade.pdf](http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44_Geracao_Calor_Vapor_Eletricidade.pdf). Acesso em: 23 ago. 2018.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Proposta de implementação da contribuição nacionalmente determinada do Brasil**, 2017. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL\\_iNDC\\_portugues\\_FINAL.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRASIL_iNDC_portugues_FINAL.pdf). Acesso em: 28 ago. 2018.

GOMES, G. J. **Relações contratuais de comercialização na regulação jurídica do mercado brasileiro de energia elétrica.** 2013. Dissertação (Mestrado em Direito das Relações Sociais) - Faculdade de Direito, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/35929>. Acesso em: 16 jun. 2018.

GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia perspectivas para países em desenvolvimento.** 2006.

Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006. Disponível em:  
[http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2006/Teses/Dissertacao\\_Guardabassi.pdf%5Cn\(In:%5Cn02.02.10\)](http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2006/Teses/Dissertacao_Guardabassi.pdf%5Cn(In:%5Cn02.02.10)). Acesso em: 21 jun. 2018.

GUERRA, J. P. M. **Avaliação de desempenho termodinâmico e ambiental de cenários de cogeração elétrica em usinas autônomas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2014. Disponível em:  
<http://www.theses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-18032015-154610/>. Acesso em: 05 jun. 2018.

IBÁ. **Relatório 2017**. [São Paulo], SP, 2017. Disponível em:  
[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf). Acesso em: 26 jul. 2018.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. [Rio de Janeiro], RJ, 2007. Disponível em:  
[http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/\\_arquivos/censo\\_agropecurio\\_2006\\_28.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/censo_agropecurio_2006_28.pdf). Acesso em: 05 jun. 2018.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em:  
[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs\\_2016\\_v31.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2016_v31.pdf). Acesso em: 05 jun 2018.

INEA. **Distritos florestais**. 2016. Disponível em:  
<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Noticias/INEA0117352&lang=#ad-image-0>. Acesso em: 28 nov. 2018.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. Leilões no Setor Elétrico Brasileiro: Análises e Recomendações. **White Paper**, n. 7, p. 1–52, 2012. Disponível em:  
[http://www.acendebrasil.com.br/media/estudos/2012\\_WhitePaperAcendeBrasil\\_07\\_Leiloes\\_Rev2.pdf](http://www.acendebrasil.com.br/media/estudos/2012_WhitePaperAcendeBrasil_07_Leiloes_Rev2.pdf). Acesso em 06 jun. 2018.

IPT. **Informações sobre madeiras**. [s.d.]. Disponível em:  
[https://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras3.php?madeira=13](https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=13). Acesso em: 6 set. 2018.

LAPIG. **Mapa Síntese da Área de Pastagem (MSP) para o território brasileiro**. Goiânia, GO, [s.d.]. Disponível em:  
<https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/novos-dados-e>

ferramentas/719-disponivel-sexta-versao-do-mapa-sintese-da-area-de-pastagem-msp-para-o-territorio-brasileiro. Acesso em: 02 out. 2018.

LIMA, A. M. N. et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1053–1063, 2008. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n3/a14v32n3.pdf%5Cnfile:///Users/vaniarosa/Documents/Papers/2008/Lima/Revista Brasileira de Ciencia do Solo 2008 Lima.pdf%5Cnpapers://d28dd570-4187-41d3-8cf5-6edf67fea1b9/Paper/p2401](http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n3/a14v32n3.pdf%5Cnfile:///Users/vaniarosa/Documents/Papers/2008/Lima/Revista%20Brasileira%20de%20Ciencia%20do%20Solo%202008%20Lima.pdf%5Cnpapers://d28dd570-4187-41d3-8cf5-6edf67fea1b9/Paper/p2401). Acesso em: 03 out. 2018.

LUIZ, C. M. **Avaliação dos Impactos da Geração Distribuída para Proteção do Sistema Elétrico**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012. Disponível em: <http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/877M.PDF>. Acesso em: 16 nov. 2018.

MACINTYRE, A. J. **Equipamentos industriais e de processo**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. ISBN 978-85-216-1107-3.

MANZATO, A. J.; SANTOS, A. B. A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa. **Departamento de Ciência de Computação e Estatística – IBILCE – UNESP**, p. 1–17, 2012. Disponível em: [http://www3.ufpe.br/moinhojuridico/images/ppgd/8.5a\\_questionario\\_elaboracao.pdf](http://www3.ufpe.br/moinhojuridico/images/ppgd/8.5a_questionario_elaboracao.pdf). Acesso em: 18 set. 2018.

MAPA. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2. ed. ver. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. Disponível em: [http://bbeletronica.sede.embrapa.br/bibweb/bbeletronica/2006/inst/inst\\_11.pdf](http://bbeletronica.sede.embrapa.br/bibweb/bbeletronica/2006/inst/inst_11.pdf). Acesso em: 06 jun. 2018. ISBN 85-7383-357-2.

MIRANDA, M. A. da S. **Potencial da biomassa florestal para produção de energia térmica industrial**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/6668>. Acesso em: 05 jun. 2018.

MME. **O modelo institucional do setor elétrico**. Brasília, DF, 2003. Disponível em: [http://ucel.eln.gov.br/gse\\_doc/Modelo\\_Energia.pdf](http://ucel.eln.gov.br/gse_doc/Modelo_Energia.pdf). Acesso em: 19 jul. 2018.

NASCIMENTO, M. D. do; BIAGGIONI, M. A. M. Avaliação energética do

uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria seropédica. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 3, p. 104–117, 2010. ISSN 1808-8759. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/70>. Acesso em: 02 jun. 2018.

NOON, C. E.; DALY, M. J. GIS-based biomass resource assessment with BRAVO. **Biomass and Bioenergy**, v. 10, n. 2–3, p. 101–109, jan. 1996. DOI 10.1016/0961-9534(95)00065-8. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0961953495000658>. Acesso em: 06 jun. 2018.

NOVO, A. A. C. *et al.* Situação Energética no Estado do Rio de Janeiro e o Capim-Elefante como Fonte Renovável. **Revista Vértices**, v. 18, n. 3, p. 107–121, 30 dez. 2016. DOI 10.19180/1809-2667.v18n32016p107-121. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/5902>. Acesso em: 02 jun. 2018.

ODDONE, D. C. **Cogeração**: uma alternativa para produção de eletricidade. 2001. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2001. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-19092011-161011/>. Acesso em: 05 jun. 2018.

OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. **Plantações florestais**: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. Brasília, DF: Embrapa, 2017. ISBN: 978-85-7035-712-0. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1076130/plantacoes-florestais-geracao-de-beneficios-com-baixo-impacto-ambiental>. Acesso em: 26 ago. 2018.

ONS. **Sistema de Transmissão - Horizonte 2017**. Disponível em: [http://ons.org.br/PublishingImages/paginas/sobre\\_sin/mapas/SistemadeTransmissao\\_Horizonte2017.jpg](http://ons.org.br/PublishingImages/paginas/sobre_sin/mapas/SistemadeTransmissao_Horizonte2017.jpg). Acesso em: 01 jun. 2018.

PINHEIRO, A. J. P. **Microgeração residencial**: um estudo de caso para um sistema fotovoltaico em Belo Horizonte - MG. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) - Universidade Federal de Santa Maria, Foz do Iguaçu, PR, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/12564>. Acesso em: 05 jun. 2018.

REIS, L. B. dos. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. rev. e atual. Barueri, SP: Manole, 2011. 486 p.

RESCH, G. *et al.* Potentials and prospects for renewable energies at global scale. **Energy Policy**, v. 36, n. 11, p. 4048–4056, nov. 2008. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421508003042>. Acesso em: 05 jun. 2018.

RIBEIRO, G. B. de D. **Análise técnica e econômica da produção de energia termelétrica a partir da biomassa florestal**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/19709?show=full>. Acesso em: 24 jun. 2018.

RIBEIRO, G. B. de D.; VALVERDE, S. R. Breve elucidación sobre os leilões de energia e o potencial da biomassa florestal. **Revista Madeira**, p. 43–45, 2016. Disponível em: [https://issuu.com/abaf\\_2014/docs/revista-madeira-2016](https://issuu.com/abaf_2014/docs/revista-madeira-2016). Acesso em: 05 jun. 2018.

RIO DE JANEIRO. **Lei Estadual nº 5.067, de 9 de julho de 2007**. Dispõe sobre o zoneamento ecológico-econômico do estado do Rio de Janeiro e definindo critérios para a implantação da atividade de silvicultura econômica no estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ: Assembléia Legislativa do estado do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/wwwalerj.nsf/pages/principal>. Acesso em: 08 jul. 2018.

RIO DE JANEIRO. Decreto nº 45.597 de 10 de março de 2016. Define as áreas destinadas aos distritos florestais de que trata o artigo 26 do Decreto nº 44.377/2013, estabelece os procedimentos técnico-administrativos para suas implantações, e dá outras providências. Rio de Janeiro, RJ, 2016. Disponível em: [https://seguro.mprj.mp.br/documents/10227/13912840/DECRETO\\_N\\_45.597\\_DE\\_10\\_DE\\_MARCO\\_DE\\_2016.pdf](https://seguro.mprj.mp.br/documents/10227/13912840/DECRETO_N_45.597_DE_10_DE_MARCO_DE_2016.pdf). Acesso em: 08 jul. 2018.

SANTOS, P. A. dos. **Potencial teórico e técnico de geração de energia a partir de biomassa e fotovoltaica para o estado de São Paulo**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/330350>. Acesso em: 16 set. 2018.

PEREIRA JÚNIOR, A. O. **Matriz energética do estado do Rio de Janeiro: 2017 - 2031**. Rio de Janeiro, RJ: Synergia, 2018. ISBN: 978-85-68483-71-8. Disponível em:

[http://www.ppe.ufrj.br/images/documentos/me\\_sumario.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/documentos/me_sumario.pdf). Acesso em: 15 set. 2018.

SEBRAE. **Crêterios de Classifica o de Empresas**: MEI - ME - EPP. Disponível em: <http://www.sebrae-sc.com.br/leis/default.asp?vcdtexto=4154>. Acesso em: 08 ago. 2018.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Termelétrica**: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear. EPE: Rio de Janeiro, RJ, 2016. ISBN 978-85-60025-05-3. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-173/Energia%20Termel%C3%A9trica%20-%20Online%2013maio2016.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2018.

VALE, A. T. do *et al.* Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 267–273, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cerne/v17n2/v17n2a15.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2018.

VIDAL, A. C. F.; DA HORA, A. B. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a gera o de energia. **Papel e Celulose**, n. 33, p. 261–314, 2011. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2523>. Acesso em: 26 dez. 2018.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. de C. O.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira para fins energéticos. *In*: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. DE (Ed.). **Bioenergia e Biorrefinaria: cana-de-a u ar e espécies florestais**. 1. ed. Viçosa, MG: Os Editores, 2013. p. 321–354. ISBN: 978-85-8179-031-2.

WOHL, E. *et al.* The hydrology of the humid tropics. **Nature Climate Change**, v. 2, p. 655, 15 jul. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate1556>. Acesso em: 12 set. 2018.

## 8. ANEXOS

### 8.1. Resultados das estimativas dos potenciais de produção de biomassa florestal e cogeração de energia termelétrica

Tabela 20: Estimativas de área disponível, volume de madeira, massa e volume de cavaco e energia teórica.

<b>Município</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Volume de Madeira (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Massa Seca Cavaco (t/ha.ano)</b>	<b>Volume Cavaco (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Energia Teórica (GWh/ha.ano)</b>
<b>Natividade</b>	8.955,22	14,42	313.432,70	156.716,35	482.204,15	524,91
<b>Bom Jardim</b>	7.830,91	12,61	274.081,85	137.040,93	421.664,38	459,01
<b>Trajano de Moraes</b>	7.071,03	11,38	247.486,05	123.743,03	380.747,77	414,47
<b>Campos dos Goytacazes</b>	5.082,54	8,18	177.888,90	88.944,45	273.675,23	297,91
<b>Valença</b>	2.231,20	3,59	78.092,00	39.046,00	120.141,54	130,78
<b>Piraí</b>	2.165,43	3,49	75.790,05	37.895,02	116.600,08	126,93
<b>São Fidélis</b>	1.915,79	3,08	67.052,65	33.526,33	103.157,92	112,29
<b>São Francisco de Itabapoana</b>	1.915,15	3,08	67.030,25	33.515,13	103.123,46	112,26
<b>Sapucaia</b>	1.666,17	2,68	58.315,95	29.157,98	89.716,85	97,66
<b>Porciúncula</b>	1.396,72	2,25	48.885,20	24.442,60	75.208,00	81,87
<b>Itaperuna</b>	1.302,33	2,10	45.581,55	22.790,77	70.125,46	76,34

<b>Município</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Volume de Madeira (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Massa Seca Cavaco (t/ha.ano)</b>	<b>Volume Cavaco (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Energia Teórica (GWh/ha.ano)</b>
<b>Resende</b>	1.204,79	1,94	42.167,65	21.083,83	64.873,31	70,62
<b>Vassouras</b>	1.086,57	1,75	38.029,95	19.014,97	58.507,62	63,69
<b>Cambuci</b>	943,99	1,52	33.039,65	16.519,83	50.830,23	55,33
<b>Itaocara</b>	886,46	1,43	31.026,10	15.513,05	47.732,46	51,96
<b>Paraíba do Sul</b>	852,06	1,37	29.822,10	14.911,05	45.880,15	49,94
<b>Rio Claro</b>	849,53	1,37	29.733,55	14.866,78	45.743,92	49,80
<b>Tanguá</b>	806,74	1,30	28.235,90	14.117,95	43.439,85	47,29
<b>Itaguaí</b>	777,66	1,25	27.218,10	13.609,05	41.874,00	45,58
<b>Carmo</b>	729,92	1,17	25.547,20	12.773,60	39.303,38	42,78
<b>Cardoso Moreira</b>	691,31	1,11	24.195,85	12.097,93	37.224,38	40,52
<b>São Sebastião do Alto</b>	659,12	1,06	23.069,20	11.534,60	35.491,08	38,63
<b>Casimiro de Abreu</b>	576,36	0,93	20.172,60	10.086,30	31.034,77	33,78
<b>Macaé</b>	528,03	0,85	18.481,05	9.240,52	28.432,38	30,95
<b>Cantagalo</b>	517,00	0,83	18.095,00	9.047,50	27.838,46	30,30
<b>Silva Jardim</b>	503,36	0,81	17.617,60	8.808,80	27.104,00	29,50
<b>Três Rios</b>	494,36	0,80	17.302,60	8.651,30	26.619,38	28,98
<b>Santa Maria Madalena</b>	463,89	0,75	16.236,15	8.118,07	24.978,69	27,19

<b>Município</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Volume de Madeira (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Massa Seca Cavaco (t/ha.ano)</b>	<b>Volume Cavaco (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Energia Teórica (GWh/ha.ano)</b>
<b>Guapimirim</b>	431,25	0,69	15.093,75	7.546,88	23.221,15	25,28
<b>Italva</b>	430,12	0,69	15.054,20	7.527,10	23.160,31	25,21
<b>Quissamã</b>	421,18	0,68	14.741,30	7.370,65	22.678,92	24,69
<b>Santo Antônio de Pádua</b>	402,59	0,65	14.090,65	7.045,32	21.677,92	23,60
<b>Paty do Alferes</b>	382,74	0,62	13.395,90	6.697,95	20.609,08	22,43
<b>Cachoeiras de Macacu</b>	373,98	0,60	13.089,30	6.544,65	20.137,38	21,92
<b>Duas Barras</b>	354,12	0,57	12.394,20	6.197,10	19.068,00	20,76
<b>Sumidouro</b>	351,34	0,57	12.296,90	6.148,45	18.918,31	20,59
<b>Mesquita</b>	302,40	0,49	10.584,00	5.292,00	16.283,08	17,73
<b>Teresópolis</b>	301,21	0,48	10.542,35	5.271,17	16.219,00	17,66
<b>Miracema</b>	275,97	0,44	9.658,95	4.829,48	14.859,92	16,18
<b>São José do Vale do Rio Preto</b>	259,94	0,42	9.097,90	4.548,95	13.996,77	15,24
<b>Laje do Muriaé</b>	253,52	0,41	8.873,20	4.436,60	13.651,08	14,86
<b>Engenheiro Paulo de Frontin</b>	248,96	0,40	8.713,60	4.356,80	13.405,54	14,59
<b>Macuco</b>	233,53	0,38	8.173,55	4.086,78	12.574,69	13,69
<b>Miguel Pereira</b>	232,31	0,37	8.130,85	4.065,43	12.509,00	13,62
<b>Cordeiro</b>	230,85	0,37	8.079,75	4.039,87	12.430,38	13,53

<b>Município</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Volume de Madeira (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Massa Seca Cavaco (t/ha.ano)</b>	<b>Volume Cavaco (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Energia Teórica (GWh/ha.ano)</b>
<b>Nova Friburgo</b>	227,77	0,37	7.971,95	3.985,98	12.264,54	13,35
<b>Rio das Ostras</b>	189,56	0,31	6.634,60	3.317,30	10.207,08	11,11
<b>São José de Ubá</b>	173,62	0,28	6.076,70	3.038,35	9.348,77	10,18
<b>Rio Bonito</b>	172,73	0,28	6.045,55	3.022,77	9.300,85	10,12
<b>Barra do Pirai</b>	152,75	0,25	5.346,25	2.673,13	8.225,00	8,95
<b>Maricá</b>	139,66	0,22	4.888,10	2.444,05	7.520,15	8,19
<b>Angra dos Reis</b>	132,00	0,21	4.620,00	2.310,00	7.107,69	7,74
<b>Barra Mansa</b>	130,78	0,21	4.577,30	2.288,65	7.042,00	7,67
<b>Petrópolis</b>	114,59	0,18	4.010,65	2.005,33	6.170,23	6,72
<b>Itaboraí</b>	114,45	0,18	4.005,75	2.002,88	6.162,69	6,71
<b>São João da Barra</b>	108,85	0,18	3.809,75	1.904,87	5.861,15	6,38
<b>Mangaratiba</b>	99,50	0,16	3.482,50	1.741,25	5.357,69	5,83
<b>Aperibé</b>	93,04	0,15	3.256,40	1.628,20	5.009,85	5,45
<b>Conceição de Macabu</b>	71,32	0,11	2.496,20	1.248,10	3.840,31	4,18
<b>Varre-Sai</b>	71,28	0,11	2.494,80	1.247,40	3.838,15	4,18
<b>Areal</b>	64,40	0,10	2.254,00	1.127,00	3.467,69	3,77
<b>Quatis</b>	64,08	0,10	2.242,80	1.121,40	3.450,46	3,76

<b>Município</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>%</b>	<b>Volume de Madeira (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Massa Seca Cavaco (t/ha.ano)</b>	<b>Volume Cavaco (m<sup>3</sup>/ha.ano)</b>	<b>Energia Teórica (GWh/ha.ano)</b>
<b>Carapebus</b>	54,39	0,09	1.903,65	951,83	2.928,69	3,19
<b>Cabo Frio</b>	51,08	0,08	1.787,80	893,90	2.750,46	2,99
<b>Rio de Janeiro</b>	48,25	0,08	1.688,75	844,38	2.598,08	2,83
<b>Saquarema</b>	47,32	0,08	1.656,20	828,10	2.548,00	2,77
<b>Iguaba Grande</b>	43,33	0,07	1.516,55	758,27	2.333,15	2,54
<b>Comendador Levy Gasparian</b>	34,88	0,06	1.220,80	610,40	1.878,15	2,04
<b>Magé</b>	34,64	0,06	1.212,40	606,20	1.865,23	2,03
<b>Seropédica</b>	32,15	0,05	1.125,25	562,62	1.731,15	1,88
<b>São Pedro da Aldeia</b>	20,72	0,03	725,20	362,60	1.115,69	1,21
<b>Araruama</b>	16,68	0,03	583,80	291,90	898,15	0,98
<b>Duque de Caxias</b>	13,50	0,02	472,50	236,25	726,92	0,79
<b>Queimados</b>	7,00	0,01	245,00	122,50	376,92	0,41
<b>Volta Redonda</b>	5,47	0,01	191,45	95,73	294,54	0,32
<b>Japeri</b>	4,76	0,01	166,60	83,30	256,31	0,28
<b>TOTAL</b>	<b>62.124,20</b>	<b>100,00</b>	<b>2.174.347,00</b>	<b>1.087.173,50</b>	<b>3.345.149,23</b>	<b>3.641,40</b>

Fonte: A autora (2018).