

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA SERRAGEM
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Luana Dessbesell

Santa Maria, RS, Brasil

2014

VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA SERRAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO

Luana Dessbesell

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. Jorge Antonio de Farias

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dessbesell, Luana

Viabilidade econômica do aproveitamento energético da serragem na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo / Luana Dessbesell.-2014.

76 p.; 30cm

Orientador: Jorge Antonio de Farias

Coorientador: Paulo Renato Schneider

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2014

1. pellets 2. serragem 3. fumicultura 4. Bacia Hidrográfica do Rio Pardo 5. lenha I. Antonio de Farias, Jorge II. Renato Schneider, Paulo III. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Luana Dessbesell. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: luana.dessbesell@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

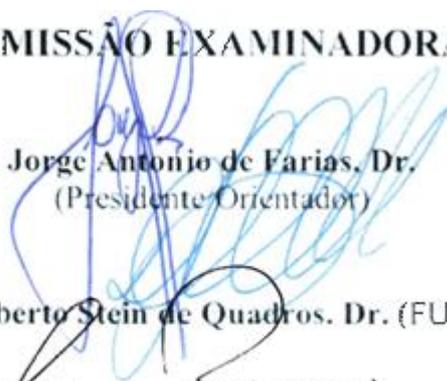
**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO
DA SERRAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO**

elaborada por
Luana Dessbesell

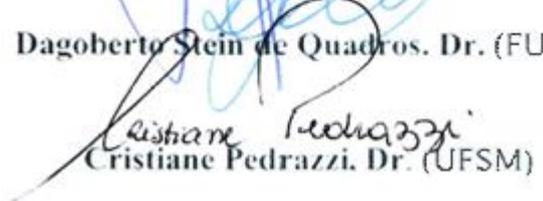
como requisito para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:



Jorge Antonio de Farias, Dr.
(Presidente Orientador)

Dagoberto Stein de Quadros, Dr. (FURB)



Cristiane Pedrazzi, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 28 de novembro de 2014.

DEDICATÓRIA

DEDICO

À DEUS, por ter me dado a graça de concluir mais uma etapa de minha caminhada e enche-la de oportunidades.
Aos meus PAIS, que trabalharam muito para proporcionar a oportunidade de estudo a mim e meus irmãos.
Ao MANO E MANA pelo incentivo e exemplo.
Ao meu MARIDO, pelo apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), minha segunda casa na graduação e meu santuário no mestrado, que proporcionou uma base sólida de conhecimento e instigou a vontade de ultrapassar barreiras na busca pela ciência e inovação.

Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, que possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa e ao excelente quadro de professores que colaboraram para a minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro e incentivo à pesquisa.

À *Japan Tobacco International (JTI)* pelo apoio financeiro e incentivo à pesquisa.

À Lippel pelas informações prestadas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Antonio de Farias, exemplo de profissional, professor, pessoa e amigo. Sempre nos desafiando a entender e colocar no papel as ideias vindas de sua mente dinâmica. Esse trabalho é resultado dos tantos desafios que ele me propunha e que me incitava a pesquisar cada vez mais.

Ao Departamento de Áreas e Florestas Protegidas da Secretaria Estadual do Meio Ambiente, pelo fornecimento de dados.

Aos componentes da banca, que abriram mão de compromissos para contribuir com esse estudo.

Aos fumicultores Isaias e Fábio e seus familiares pela colaboração na coleta de dados.

À equipe do Laboratório de Economia e Política Florestal, cuja ajuda foi fundamental para esse trabalho. Vocês me motivavam a cada dia, alguns pela vontade de aprender, outros pelo amplo conhecimento adquirido. Em especial a Carline pela ajuda na revisão do trabalho e apoio.

Aos amigos, a família que escolhi para ter do meu lado e acompanhar minha trajetória. Obrigada por sempre acreditarem em mim e compreenderem as tantas e tantas vezes que não pude estar ao lado de vocês.

Família, nossa história me orgulha, nos momentos frágeis da minha vida lembro-me de todas as dificuldades que passamos juntos e isso me fortalece. Nosso laço com a terra, somos colonos, agricultores com orgulho! Pai e mãe, não tiveram a oportunidade de estudar, mas tem aprendizado de vida imensurável e conseguiram esplendorosamente nos ensinar a importância da educação e da honestidade. Mana e mano é difícil explicar o laço que nos une, mas sei que a felicidade de um é a alegria do outro. A garra de vocês dois me faz mais forte.

Ao meu marido, Fábio Schweighofer, exemplo de sucesso e determinação, que me impulsiona a sonhar, e, há nove anos, me ajuda a tornar meus sonhos em realidade. Com certeza sem ele eu jamais chegaria aonde cheguei.

OBRIGADA!

“Felicidade é uma combinação de sorte com escolhas bem feitas”

(Martha Medeiros)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA SERRAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO

AUTOR: LUANA DESSBESELL

ORIENTADOR: DR. JORGE ANTONIO DE FARIAS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de novembro de 2014

O aproveitamento da biomassa para geração de energia tem sido pauta de discussões quanto a alternativas para suprir as demandas mundiais. O aproveitamento de resíduos florestais recebe destaque por ser uma fonte renovável de energia. O uso de resíduos florestais, como a serragem, para a produção de pellets traz vantagens em comparação ao uso do resíduo na forma original. Os pellets apresentam maior energia por unidade de volume, devido ao menor teor de umidade e ao processo de compressão a que o resíduo é submetido. Portanto, nesse estudo foram discutidos os aspectos ambientais e sociais e a viabilidade econômica da produção de pellets a partir da serragem na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo buscando alternativas complementares a lenha utilizada na cura do tabaco. Através de volume de madeira processada e do número de serrarias, estimou-se o montante em toneladas de serragem. Para a caracterização da serragem foram coletadas amostras e analisadas a composição química elementar e imediata. Como critério de avaliação econômica utilizou-se o VPL, TIR, CMPr, MC e PE(q). A densidade energética foi o parâmetro utilizado para comparar o uso de pellets e lenha na cura do tabaco. O montante de serragem disponível diariamente na Bacia foi estimado em 69,82 toneladas, que pode produzir 11.733,12 toneladas de pellets anualmente. A avaliação econômica demonstrou que o investimento é viável, resultando em um VPL de R\$ 4,72 milhões e uma TIR de 34,59%, para um fluxo de caixa de 10 anos e uma TMA de 10,90% a.a. O CMPr foi de R\$ 153,77 t, a biomassa e a depreciação compõe a maior fatia do CMPr. Havendo maior disponibilidade de biomassa a planta pode aumentar os turnos de operação, aumentando a produção e tornando o investimento ainda mais atrativo. A MC foi de 2,66 milhões R\$.ano⁻¹ e o PE(q) foi de 5444,4 t.ano⁻¹. Na cura do tabaco os pellets proporcionam uma economia de biomassa de 82,66% quando em substituição à serragem e de 45,60% quando substituem a lenha. Nesse cenário o uso de pellets na cura do tabaco poderá reduzir em 16,19% da lenha comprada fora da Bacia, gerando uma economia de 33,8 mil m³.ano⁻¹ de lenha. Na BRHP o uso de pellets trará benefícios aos fumicultores relacionados a operacionalidade. A produção de pellets na BHRP é sustentável, porque revela-se viável econômica, social e ambientalmente.

Palavras-chave: pellets, serragem, fumicultura.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program of Forest Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

ECONOMIC VIABILITY OF SAWDUST ENERGETIC USE IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF RIO PARDO

AUTHOR: LUANA DESSBESELL

ADVISER: DR. JORGE ANTONIO DE FARIAS

Defense Place and Date: Santa Maria, November 28, 2014.

The utilization of biomass to generate energy has been discussed as an alternative to supply worldwide demand. The use of forest residues stands out as a renewable source of energy. The utilization of forest residues such as sawdust to produce pellets brings advantages if compared to the original form of the residue's usage. The pellets have a higher energy per volume unit due to lower moisture content and compression process by which the waste is subjected. Therefore, this study discusses environmental and social aspects and an economic evaluation of pellets production in the Hydrographic Basin of Rio Pardo, while seeking for complementary alternatives to firewood used in Tobacco curing. The volume of wood processed and the number of sawmills were used to estimate the amount in tons of sawdust. Samples of sawdust were collected and the chemical composition and immediate were analyzed to characterize it. As economic evaluation criterion used the NPV, IRR, CMPR, Marginal Cost and Break-even Point. The energy density parameter was used to compare the use of pellets and firewood in tobacco curing. The daily amount of sawdust available was estimated in 69.82 tons, which can produce 11,733.12 tons of pellets each year. A financial overview demonstrated the viability of the investment showing NPV results at R\$ 4.72 million and IRR 34.59% over a 10 year's cash flow budget with a discount rate of 10.9% a year. The Average Cost came to R\$ 153.77 a ton, biomass and depreciation were the main partakers in this cost. If the availability of biomass improves the pellets factory can increase the number of work shifts operations and the amount produced, turning it a more attractive investment. The Marginal Cost was R\$ 2.66 million a year and the Break-even Point was 5444.4 tones each year. In the Tobacco curing process pellets provide a biomass economy of 82.66% when they replace sawdust and 45.60% when firewood. In this scenario the use of pellets for Tobacco curing reduce 16.19% of the firewood purchased from outside of Hydrographic Basin and save 33.8 thousand cubic meters of firewood each year. In the Hydrographic Basin of Rio Pardo pellets utilization will bring operational benefits to Tobacco farmers in the curing process. The production of pellets in the Hydrographic Basin of Rio Pardo is sustainable because it is economic social and environmental viable.

Keyword: pellets, sawdust, tobacco farmers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fluxograma do processo de peletização.	22
Figura 2 - Produção global de pellets de madeira por região ou país de 2000 até 2012.	23
Figura 3 - Simulação do consumo e produção de pellets no mundo até 2020.	24
Figura 4 - Situação do número de plantas de produção de pellets no Brasil em outubro de 2014.	26
Figura 5 - Previsão de crescimento de oferta de biomassa em várias regiões do mundo.....	27
Figura 6 - Localização dos municípios e delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.	34
Figura 7 - Fluxo de caixa da planta peletizadora.	47
Figura 8 - Estrutura de custos da planta peletizadora.	48
Figura 9 - Análise de sensibilidade do investimento variando o valor de comercialização dos pellets.....	50
Figura 10 - Análise de sensibilidade do investimento em função do preço da matéria prima.	51
Figura 11 - Análise de sensibilidade para a TMA.	52
Figura 12 - Sistema de alimentação para unidades de cura de tabaco.....	53
Figura 13 - Análise de sensibilidade da densidade energética da lenha de 7 espécies florestais entre teores de umidade de 20% a 60%.	55
Figura 14 - A: unidade de cura de ar forçado alimentada por lenha; A1: fornalha abastecida com lenha; B: unidade de cura de ar forçado com alimentador acoplado; B1: fornalha abastecida com pellets.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises laboratoriais da serragem coletada na BHRP.	36
Tabela 2 - Relação de estudos que originaram os dados na discussão dos impactos sociais e ambientais de uso de lenha e pellets para energia.	41
Tabela 3 - Compilação de dados para o cálculo do volume de serragem gerado na BHRP. ...	42
Tabela 4 - Composição química elementar e imediata da serragem coletada nas serrarias da BHRP.....	43
Tabela 5 - MC e do PE(q) variando a quantidade produzida de pellets da planta.....	50
Tabela 6 - Densidade energética de diferentes tipos de biomassa florestal.....	54
Tabela 7 - Densidade energética da lenha de diferentes espécies florestais.....	56
Tabela 8 - Comparação entre a lenha e o pellet na cura do tabaco.....	56
Tabela 9 - Consumo de pellets na cura do tabaco na BHRP.	57
Tabela 10 - Geração de GEEs na produção e combustão de uma tonelada de lenha e pellets.	60

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Base de dados para a avaliação financeira de uma planta de produção de pellets na BHRP – RS.....	75
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIPEL	Associação Brasileira de Indústrias De Pellets
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
AFUBRA	Associação dos Fumicultores do Brasil
BHRP	Bacia Hidrográfica do Rio Pardo
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
CMPr	Custo Médio de Produção
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
COV's	Compostos Orgânicos Voláteis
DE	Densidade Energética
Defap	Departamento de Florestas e Áreas Protegidas
FUNDES	Fundo Estadual de Desenvolvimento Econômico e Social
GEEs	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços de Transporte
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IPEA	Instituto de Pesquisa Economia Aplicada
MC	Margem de Contribuição
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCL	Poder Calorífico Líquido
PCS	Poder Calorífico Superior
PCU	Poder Calorífico Útil
PE(q)	Ponto de Equilíbrio em Quantidade
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PNDR	Política Nacional de Desenvolvimento Regional
RS	Rio Grande do Sul
SEMA/RS	Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul
SINDITABACO	Sindicato das Indústrias de Tabaco
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Geral	16
1.1.2 Específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Bacia Hidrográfica do Rio Pardo	17
2.2 Sustentabilidade energética	19
2.3 Pellets: alternativa energética	21
2.3.2 Produção e consumo de pellets no mundo.....	23
2.3.3 Produção de pellets de madeira no Brasil.....	25
2.3.4 Avaliação econômica de projetos de peletização	28
2.3.5 Políticas públicas e incentivos à produção de pellets de madeira	30
2.3.6 Caracterização do resíduo para peletização	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 Localização e caracterização da área de estudo	34
3.2 Resíduos do processamento de madeira nas serrarias da BHRP	35
3.2.1 Caracterização da serragem	36
3.3 Avaliação econômica	37
3.3.1 Custos e comercialização	37
3.4 Pellets na cura do tabaco	39
3.4.1 Análise ambiental e social	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 Volume de serragem gerado pelas serrarias da BHRP	42
4.1.1 Caracterização da serragem	43
4.2 Produção de pellets como alternativa sustentável para BHRP	44
4.2.1 Análise de investimento em uma planta peletizadora na BHRP	46
4.2.2 Pellets na cura do tabaco	52
4.2.3 Aspectos ambientais	58
4.2.4 Aspectos sociais.....	61
5 CONCLUSÃO	64
6 CONSIDERAÇÕES	65
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

As florestas são reconhecidas como um importante agente no ciclo do carbono e têm sido foco nas iniciativas de redução e acumulação de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera. Segundo Burden (2014), os resíduos de madeira provavelmente serão uma das mais importantes fontes de biomassa utilizadas para a produção de calor e energia, principalmente devido ao advento de tecnologias que possibilitam a queima limpa e mais eficiente de bioprodutos produzidos a partir de resíduos florestais.

A peletização constitui uma das tecnologias criadas para aumentar a eficiência e a operacionalidade do uso de resíduos na geração de energia. No Brasil, há cerca de 18 plantas industriais de pellets, contudo muitas delas estão produzindo abaixo da capacidade, de acordo com a ABIPEL (2014).

O principal mercado dos pellets está na Europa e América do Norte (PCFplus, 2002). No entanto, há algumas regiões do Brasil onde os pellets poderiam suprir a demanda por biomassa. A exemplo, acredita-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP) apresenta características que a tornam potencial consumidora e produtora de pellets.

A BHRP é reconhecida como o centro da fumicultura do Rio Grande do Sul. Redin (2010) afirma que o cultivo do tabaco possui elevada rentabilidade por hectare e é destacado pelos agricultores como principal meio de sobrevivência da agricultura familiar nas regiões produtoras.

Vinculado ao plantio de tabaco está a demanda por lenha, pois ela é o principal insumo utilizado para a cura das folhas. Segundo Farias (2010), o volume total de lenha consumida pela fumicultura, na região do Vale do Rio Pardo, supera 1 milhão de metros estéreos. Para o autor “a atividade florestal na região do Vale do Rio Pardo sempre teve uma característica econômica relevante, mesmo não sendo a atividade fim, basicamente, porque a lenha constituiu-se em insumo importante no custo de produção da cultura do tabaco”.

Nos três estados do sul do Brasil, as florestas plantadas representam 12,3% do uso e cobertura do solo nas propriedades fumicultoras, sendo a área média das propriedades de 16,1 ha (SINDITABACO, 2014). Já na BHRP, o percentual de cobertura com florestas plantadas nas propriedades aumenta para 19,3% e a área média das propriedades para 17,75 ha (FARIAS, 2013).

Outro fato que corrobora a relação da região com as florestas plantadas é o número de serrarias. Segundo o Defap (Departamento de Florestas e Áreas Protegidas), integrante da SEMA/RS (Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul), até 2012 eram 107 serrarias cadastradas no órgão nos 12 municípios pertencentes a BHRP (RIO GRANDE DO SUL, 2013).

Cabe lembrar que toda serraria gera resíduos e, segundo Couto et al. (2004), 50% do volume de madeira processada se torna algum tipo de resíduo, como serragem, aparas e costaneiras. Portanto, apresenta-se exposta a oportunidade de integrar a tecnologia da produção de pellets na conjuntura regional, que envolve a produção de resíduos pelas serrarias e a demanda energética do cultivo do tabaco.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Analisar a viabilidade econômica da produção de pellets visando o aproveitamento energético dos resíduos do processamento de madeira nas serrarias da BHRP.

1.1.2 Específicos

Determinar o volume e as características da serragem gerada no processamento de madeira nas serrarias da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo;

Avaliar financeiramente a implantação de uma planta de produção de pellets na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo;

Comparar o consumo de lenha, serragem e pellets na cura do tabaco em unidades de cura de ar forçado;

Identificar os aspectos ambientais e sociais da produção de pellets aliado ao seu aproveitamento como combustível na cura do tabaco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bacia Hidrográfica do Rio Pardo

Localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, a BHRP é composta por 13 municípios, aflui no Rio Jacuí, sendo integrante da Região Hidrográfica do Guaíba, correspondendo a Bacia G 90 (classificação oficial do estado). O órgão gestor da Bacia é o Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (COMITÊ PARDO, 2014).

A população da área de estudo compreende 268.333 habitantes, representando 2,51% da população do RS, distribuída na área urbana com 63,67%, enquanto na área rural encontra-se 36,33% da população (IBGE, 2010).

De acordo com o Comitê Pardo (2014), a BHRP apresenta a montante áreas de ligação ao Planalto Meridional, chegando a altitudes superiores a 500 m, predominando campos, atividades de pecuária e pequenas lavouras de subsistência, onde estão localizadas as sedes dos municípios de Barros Cassal, Boqueirão do Leão, Gramado Xavier e Lagoão. Já a porção intermediária da Bacia está localizada na encosta do Planalto Meridional com altitudes que variam de 200 m a 500 m, predominando propriedades coloniais, havendo áreas de remanescentes florestais em diversos estágios e elementos representativos da fauna do RS, onde estão situadas as sedes municipais de Herveiras, Passa Sete, Sinimbu e Vale do Sol. A jusante encontra-se áreas planas de relevo pouco ondulado, compondo a Depressão Central, associadas a áreas de meandros dos principais cursos d'água, sendo as várzeas utilizadas para o cultivo de arroz irrigado e as zonas mais elevadas para pecuária extensiva e cultivos agrícolas, principalmente de fumo, milho, soja e feijão. Nesta porção localizam-se os municípios de Candelária, Rio Pardo, Santa Cruz do Sul e Vera Cruz, onde concentram-se os maiores contingentes populacionais e atividade industrial da Bacia.

Na BHRP predominam propriedades coloniais, a economia dos municípios é de base agrícola, tendo como principais cultivos o tabaco, a soja, o feijão e o milho (IBGE, 2012). Conforme Farias (2010), a região foi colonizada principalmente por descendentes de alemães e caracterizou-se por estabelecer um modelo de ocupação fundiária fundamentado nas pequenas propriedades rurais, no plantio do tabaco, na conservação de florestas para consumo de lenha

na cura das folhas de tabaco e, também, pela topografia que dificultava a implantação de lavouras mais extensivas.

A região apresenta as principais plantas de processamento industrial de tabaco do Brasil, que processam aproximadamente 90% da safra nacional de tabaco em folha. O PIB regional é 60% vinculado às atividades agroindustriais do tabaco, o que demonstra que a economia regional é significativamente especializada, dependente e verticalmente integrada à economia globalizada (SILVEIRA, 2011).

Além da produção de tabaco, cabe destacar também, a ampla aptidão florestal da região, especialmente em função da topografia, fertilidade, regime pluviométrico e logística (FARIAS, 2010). A vocação florestal da região evidencia-se inclusive pelo número de serrarias estabelecidas na BHRP, cerca de 107 cadastrados no Defap – SEMA/RS (RIO GRANDE DO SUL, 2013).

Frey e Wittmann (2007) destacam a lenha, fonte de energia para a cura do tabaco (fase do processo de produção do tabaco, responsável por extrair água das folhas dando características desejáveis ao produto final), como um dos principais problemas para o setor do tabaco, devido ao paradoxo entre o fomento florestal e a preservação de matas nativas.

Etges (2002) ao levantar dados históricos da região concluiu que, em 1975, a área de cobertura florestal ocupava 44,9 mil hectares da área total da Bacia. Já segundo a SEMA/RS, em 2005, a área de cobertura florestal nativa correspondia a 146 mil ha (RIO GRANDE DO SUL, 2005).

De acordo com Farias (2013), 83,3% dos reflorestamentos presentes nas propriedades fumicultoras é de *Eucalyptus* sp. O estudo demonstrou também que a lenha oriunda de florestas nativas corresponde a 6% da lenha utilizada na cura do tabaco na Bacia.

Segundo Etges (2002), as proibições e a intensificação da fiscalização no estado fortaleceram a prática do reflorestamento de espécies de rápido crescimento, principalmente do gênero *Eucalyptus* sp. Além disso, empresas e entidades ligadas ao setor do tabaco têm incentivado ações de fomento e de educação ambiental na região.

Frey e Wittmann (2007) destacam que o setor do tabaco, além de se sobressair no panorama econômico regional, vem demonstrando preocupação com a gestão do ambiente, na qual práticas ambientais, como o fomento florestal e incentivo à preservação de matas nativas, são difundidas aos agricultores.

A lenha ganha destaque também na questão econômica do cultivo do tabaco, uma vez que representa cerca de 8% do custo de produção da cultura (AFUBRA, 2013). Farias (2010)

concluiu que há um déficit de florestas plantadas para suprir o fornecimento de lenha para a produção de tabaco de forma sustentável na BHRP. O autor destaca que a alternativa para suprir o déficit é buscar fora da Bacia o volume necessário, o que tem representado uma evasão de recursos econômicos que poderiam ser utilizados para a expansão da atividade florestal na região, com grande repercussão social e econômica.

2.2 Sustentabilidade energética

A biomassa é utilizada historicamente como fonte de energia. No século 20, no entanto, os combustíveis fósseis baratos, rapidamente ofuscaram a biomassa, que passou a ser vista pela sociedade da época como ineficiente e ambientalmente degradante, um impedimento ao desenvolvimento (SIKKA; THORNTON, 2012).

As alternativas energéticas ganharam importância a partir da Segunda Guerra Mundial em 1941, não só pelo aumento demográfico, como pelo desenvolvimento tecnológico no mundo ocidental demandante de mais energia (SANDER, 2011).

Além disso, devido ao aumento da insegurança originada dos altos preços dos combustíveis fósseis, a vulnerabilidade do suprimento de energia e alterações climáticas associadas aos gases de efeito estufa (GEEs) provenientes do consumo de combustíveis fósseis, passou-se a reconsiderar a energia da biomassa como um recurso com menor impacto no clima (SIKKA; THORNTON, 2012).

Aumentou no Brasil iniciativas de inovação na geração de energia eólica, hidráulica, solar, atômica e do hidrogênio. Também houve o incentivo a geração e cogeração de energia através da biomassa, principalmente nos locais onde ela é farta, de boa qualidade e de baixo preço (BRASIL, 2013).

No Brasil, em 2013, as fontes renováveis de energia representaram 41,0% da matriz energética, enquanto no mundo essa taxa é em média 13,4%. Desses 41,0% da energia renovável, 12,5% correspondem à energia hidráulica e eletricidade e 28,5% à energia de biomassa, sendo aproximadamente 8,3% de origem florestal, principalmente lenha. A biomassa florestal representa, deste modo, a segunda fonte de energia da matriz nacional ficando atrás apenas do petróleo e derivados (BRASIL, 2014a).

Segundo Müller et al. (2005), o uso da biomassa como insumo para geração de energia reveste-se de notável importância na busca de alternativas energéticas, tendo em vista que se

trata de uma fonte renovável e descentralizada, que promove a geração de empregos no campo e renda adicional.

Padilha et al. (2005) destacam os fatores que justificam o uso da madeira como recurso energético, dentre eles: o fato de a madeira ser uma fonte de energia renovável; ser um combustível menos poluente, devido à baixa emissão de enxofre; ter balanço nulo entre a emissão de carbono pela unidade geradora e sua assimilação pela vegetação; pode ser utilizada de forma direta ou transformada em combustível sólido (carvão e lenha), líquido (ácidos piro lenhosos e alcatrão) e gasoso (H_2 , CH_4 , CO , etc.).

Países como o Brasil destacam-se pela vasta área reflorestada. De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013) o país possui 6,66 milhões de hectares de florestas plantadas. Desse modo, também gera grandes volumes de resíduos. De acordo com o Instituto de Pesquisa Economia Aplicada (IPEA, 2012), são geradas aproximadamente 10,9 milhões de $t.an^{-1}$ de resíduos na indústria de papel e celulose, que, nesse setor, são comumente utilizados na geração de energia própria; 22,8 milhões de $t.an^{-1}$ de resíduos do processamento mecânico da madeira e 15,66 milhões de $t.an^{-1}$ de resíduos de colheita florestal, estes disponíveis para aproveitamento energético nas regiões do país onde são fartos.

Portanto, a biomassa florestal pode tornar-se alternativa a outras fontes de energia nas regiões onde é abundante. Sachs (2005, *apud* FONSECA; VIEIRA, 2011) considera o aproveitamento da biomassa como uma estratégia de desenvolvimento para maior integração dos pequenos agricultores na economia nacional, como forma de evitar o êxodo rural e de garantir a tríplice corrente da sustentabilidade, com a sociedade, a economia e o meio ambiente; trabalhando de maneira estável, justa, viável e suportável para o bem de uma comunidade.

Essa conjuntura vai ao encontro da proposta de Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR) que visa fomentar a promoção do crescimento regional e aproveitamento das potencialidades para o desenvolvimento das regiões brasileiras (BRASIL, 2005).

Nesse sentido, o Governo Federal criou, em 2012, o Programa 2029 - Desenvolvimento Regional, Territorial Sustentável e Economia Solidária, que objetiva, entre outros aspectos: formular e implementar os marcos legais das Políticas Nacionais de Desenvolvimento Regional e de Ordenamento Territorial, contribuindo para a redução das desigualdades regionais e a ocupação racional do território; criar e aperfeiçoar instrumentos econômicos e financeiros com vistas à promoção do desenvolvimento regional sustentável; desenvolver sistemas locais e regionais de inovação e projetos de incorporação e de difusão de tecnologias; e, a

implementação de infraestrutura logística voltada para inclusão na cadeia produtiva (BRASIL, 2014b).

2.3 Pellets: alternativa energética

Vários países têm incentivado a substituição da lenha por pellets, pois além de ser tão renovável quanto à lenha, ele emite menores quantidades de GEEs e quando produzido a partir de resíduos torna-se mais atrativo financeiramente e ainda mais vantajoso ambientalmente, pois há uma maior redução nas emissões de GEEs (PA et al., 2013).

Por serem feitos a partir de madeira, os pellets têm as mesmas prerrogativas da lenha que é abundante, renovável e de baixo custo. Em vantagem a lenha, são facilmente manejáveis, exigem menor mão de obra para o consumidor final, produzem menor volume de cinzas, exigem menor manutenção da fornalha e produzem fumaça limpa, isso devido principalmente ao menor teor de umidade, maior poder calorífico e maior densidade (JONES, 2014).

A densificação da madeira surge como tecnologia inovadora na viabilização do aproveitamento de resíduos de madeira para energia. Esse processo permite produzir biocombustíveis e derivados mais homogêneos, com maior poder calorífico concentrado apropriado às necessidades energéticas modernas (INEE, 2010).

Segundo Vidal e Hora (2014), o processo de densificação de biomassa consiste na aplicação de pressão a uma massa de partículas com ou sem a adição de ligantes ou tratamento térmico. No caso de densificação de biomassa de madeira, muitas vezes não é necessária à adição de ligantes, pela presença da lignina. Entre os processos mais comuns de densificação, estão a briquetagem e a peletização. Embora o poder calorífico, a umidade e as características químicas sejam muito semelhantes entre os dois produtos, a densidade é maior nos pellets.

A peletização aumenta a densidade e requer a secagem da biomassa, o que diminui o teor de umidade, ampliando as possibilidades de comércio, em face das diminuições do custo relativo ao frete, de forma que o pellet de madeira é hoje a biomassa sólida para fins energéticos mais negociada no mundo. O maior desenvolvimento desse mercado está intrinsecamente relacionado a possíveis adoções de metas de redução de emissão de GEEs e a busca pela sustentabilidade na produção e suprimento de energia (VIDAL E HORA, 2014).

2.3.1 Produção de pellets de madeira

Com a madeira em forma de serragem, o processo de produção começa com a secagem. Depois a matéria seca é fracionada em partículas semelhantes ao pó de serragem. A máquina pelletizadora tem uma matriz rotativa, em geral, acionada por um motor elétrico; a biomassa fracionada é então extrudada, formando os aglomerados os pellets (SERRANO, 2009). A Figura 1 demonstra a estrutura esquemática, o fluxograma esquemático e o aspecto do produto final dos pellets de *Eucalyptus* sp.

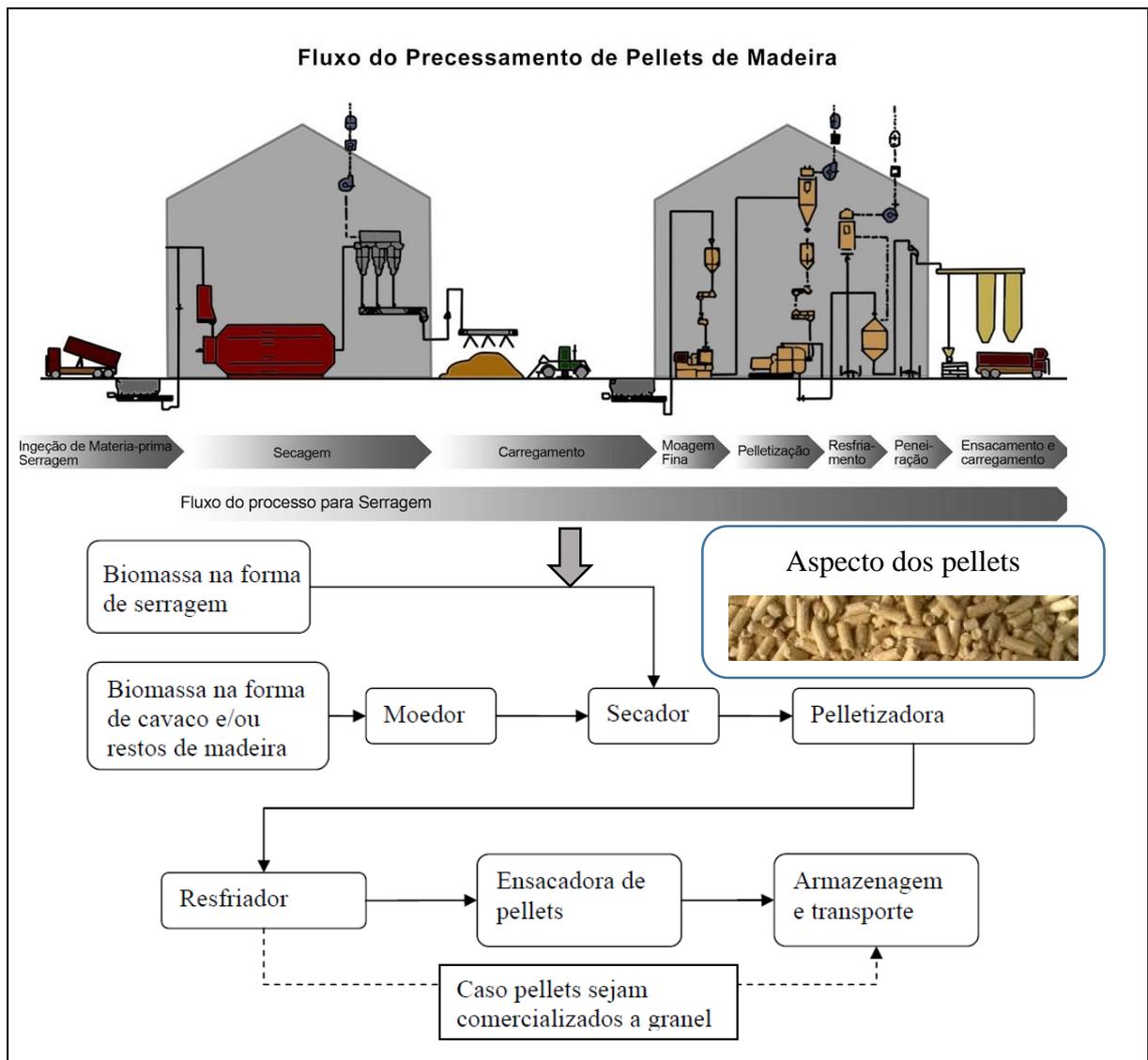


Figura 1- Fluxograma do processo de peletização.

Fonte: Adaptado Garcia (2014) e Serrano (2009).

2.3.2 Produção e consumo de pellets no mundo

Os pellets de madeira são utilizados na Europa e nos Estados Unidos desde 1930. Seu uso tornou-se popular durante a crise do petróleo na década de 70, sobretudo, nessas regiões. Em 1990, o uso de pellets de madeira ganhou ainda mais importância devido a incentivos da Alemanha, Áustria, Holanda, Dinamarca e Itália para a produção de energia utilizando fontes renováveis, que visavam à diminuição da emissão de GEEs, aumentando assim, a produção internacional e o consumo interno de pellets na Europa (OLIVEIRA, 2012).

Segundo a *European Energy Innovation* (2014), os pellets de madeira tornaram-se uma alternativa de geração de energia rentável e ambientalmente amigável, que têm alcançado a atenção de grandes integrantes do mercado de energia.

A produção mundial de pellets em 2006 foi estimada em 7 milhões de toneladas. Em 2010, houve um aumento de 110%, chegando a 13,5 milhões. Já em 2011, somou 17 milhões, ou seja, mais de 22% (TAYLOR et al., 2012). O *Renewable Energy Policy Network for the 21st century* (REN21, 2013), corrobora os dados citados por Taylor et al. (2012), estimando em 2012 a produção mundial de 22,4 milhões de toneladas (FIGURA 2).

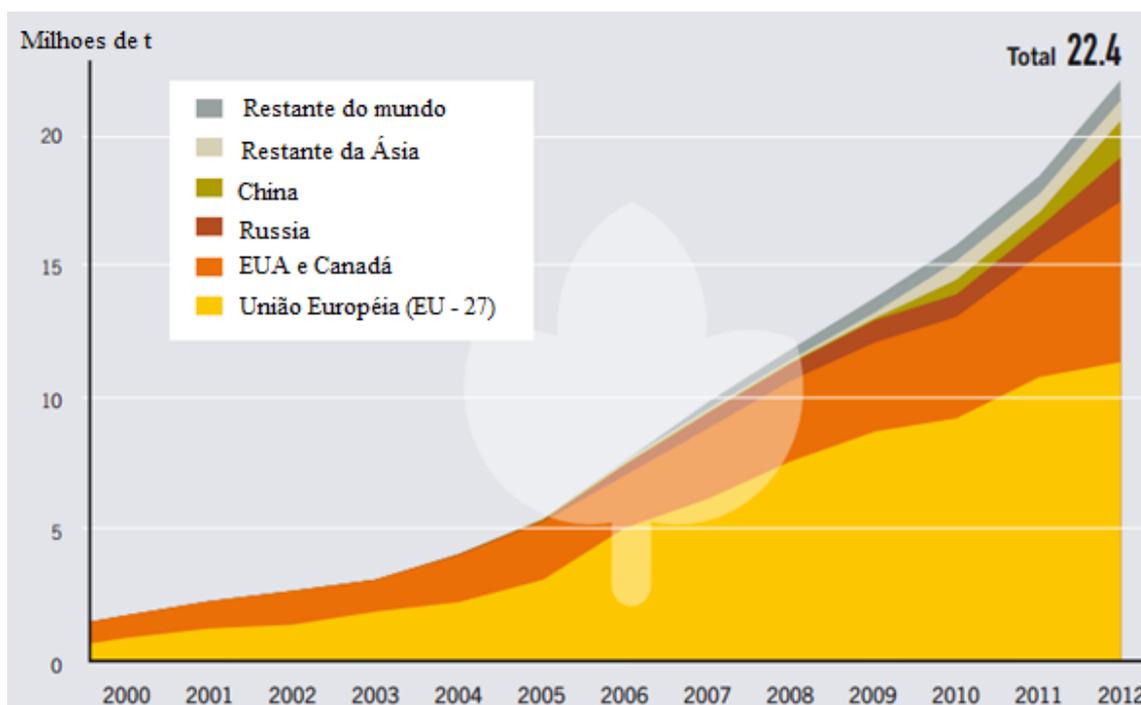


Figura 2 - Produção global de pellets de madeira por região ou país de 2000 até 2012.

Fonte: Adaptado REN21 (2013).

Como precursores da produção de pellets de madeira, a Europa e a América do Norte continuam sendo os principais mercados de produção e consumo (FIGURA 3). Segundo *Pöyry Management Consulting* (PÖYRY, 2011), a Europa Ocidental em 2010 apresentava o maior consumo mundial, 7,7 milhões de toneladas por ano, sendo maior parte para a produção de energia elétrica. A América do Norte, no mesmo ano, apresentou o segundo maior consumo, 4,9 milhões de toneladas, no entanto, ao contrário da Europa Ocidental, os pellets têm atendido o mercado residencial e há previsão de incentivos ao uso para energia industrial.

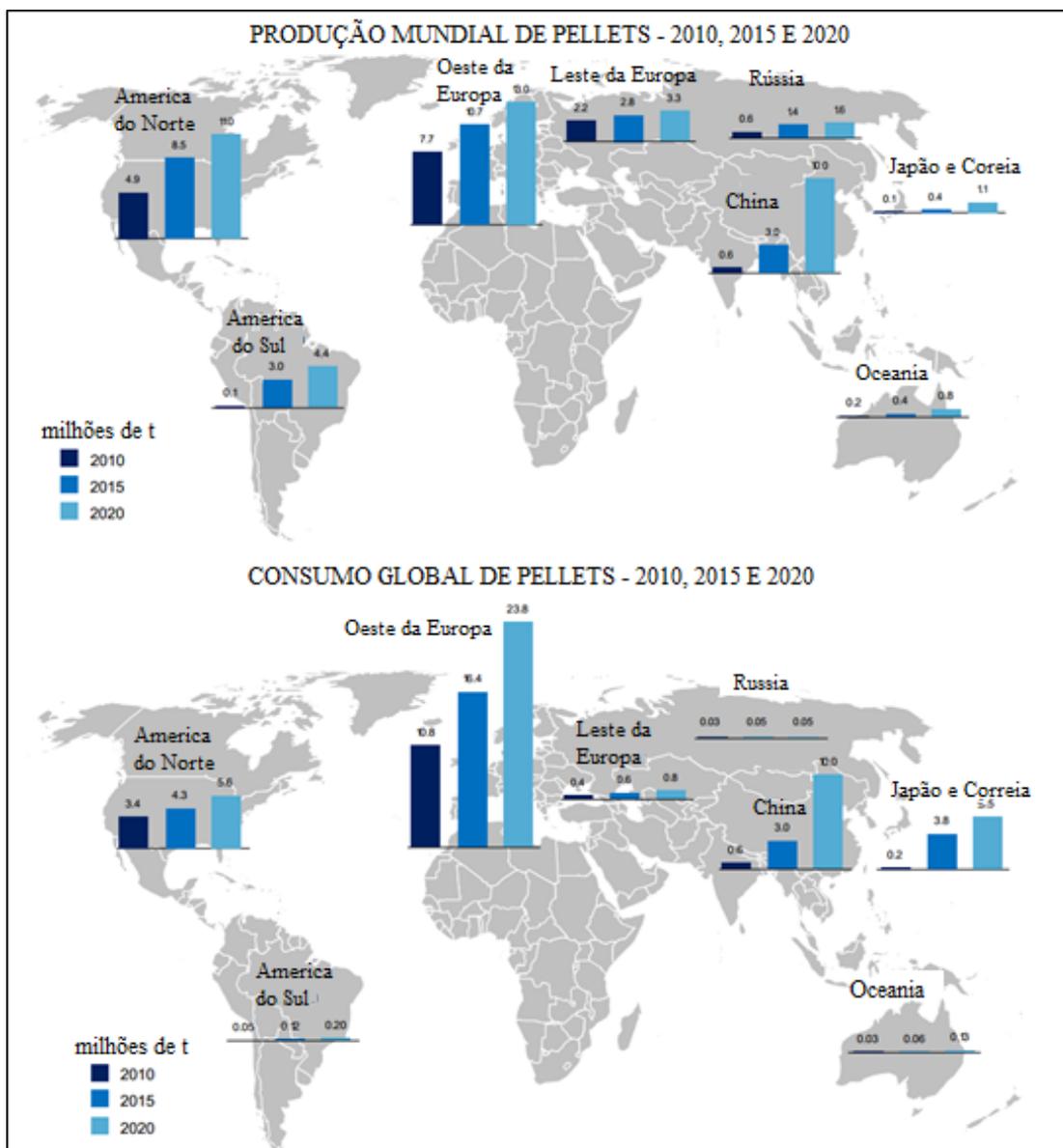


Figura 3 - Simulação do consumo e produção de pellets no mundo até 2020.

Fonte: Adaptado Pöyry (2011).

De acordo com Pöyry (2011), o volume de biomassa produzido para abastecer o mercado global deverá ser de 46 milhões de toneladas até 2020, impulsionado pela política de incentivos financeiros e também pelo aumento do preço dos combustíveis fósseis. Pöyry (2011) afirma que o rápido crescimento da demanda por biomassa, principalmente no continente europeu, desencadeará investimentos em culturas de curta duração (i.e.: Eucalipto) visando energia e aumento de plantas peletizadoras em alguns países como o Brasil, Uruguai, África Ocidental, Moçambique e Rússia.

2.3.3 Produção de pellets de madeira no Brasil

O Brasil é um país que reúne inúmeras vantagens relacionadas à produção agrícola, agroindustrial e silvicultural, principalmente quando comparado com países do hemisfério norte. Destacam-se as extensas áreas disponíveis para a agricultura e silvicultura, possibilidade de múltiplos cultivos ao longo de um único ano, radiação solar e diversidade de clima e solo, fatores que fazem do Brasil um país capaz de atuar como líder no mercado mundial de produtos agrícolas, agroindustriais e silviculturais (BARROS et al., 2006).

Segundo Oliveira (2012), o Brasil é citado internacionalmente como o país que tem o maior potencial de produção de pellets, por ter uma indústria florestal altamente desenvolvida com base em recursos de plantios com quantidades anuais de madeira em tora estimadas em 175 milhões de metros cúbicos e pela existência de milhões de toneladas de resíduos florestais.

De acordo com o Inventário Florestal de Biomassa Residual desenvolvido pela Associação Brasileira de Indústrias de Biomassa (ABIB), em 2010, o Brasil apresentava um quantitativo total de 158 milhões de metros cúbicos de resíduos florestais. Esses resíduos seriam suficientes para produzir 71 milhões de metros cúbicos de pellets de madeira, gerar 1,2 milhões de terra joule de energia térmica e evitar a emissão de 189,6 milhões de toneladas de CO₂ (OLIVEIRA, 2012).

No entanto, o país ainda não percebeu o potencial energético que esses setores possuem. Segundo a Associação Brasileira de Indústrias de Pellets (ABIPEL, 2014), a maioria das plantas industriais de pellets brasileiras opera abaixo da capacidade de produção e outras ainda estão em fase de construção. Mesmo com diversos projetos de plantas industriais para a produção do biocombustível, a capacidade produtiva brasileira ainda é baixa. Até outubro de 2014, o Brasil

apresentava 13 plantas de produção de pellets operando e 5 plantas sem operação, como demonstra a Figura 4.



Figura 4 - Situação do número de plantas de produção de pellets no Brasil em outubro de 2014.

Fonte: Adaptado ABIPEL (2014).

Segundo Gonsalves (2008) no início dos anos 2000 passou-se a discutir a previsão de um apagão florestal, pois as estimativas do setor demonstravam um déficit de madeira a partir de 2004. Como resultado das especulações quando ao apagão florestal houve o aumento dos reflorestamentos principalmente na região Sul e Sudeste, assim como houve a introdução de investidores sem o perfil florestal e com pouca assistência técnica, o que refletiu na oferta exacerbada de madeira de baixa qualidade, que atualmente estão sobrando no mercado.

Pöyry (2011) citou o Brasil como um dos países que irá aumentar as exportações de pellets de madeira nos próximos 10 anos. A Figura 5 destaca as regiões no mundo que apresentam potencial de produção de pellets para exportação para o continente Europeu, onde pode-se verificar que são citados os estados de Minas Gerais, Alagoas, Rio Grande do Sul e Bahia como regiões potenciais a partir de 2014.

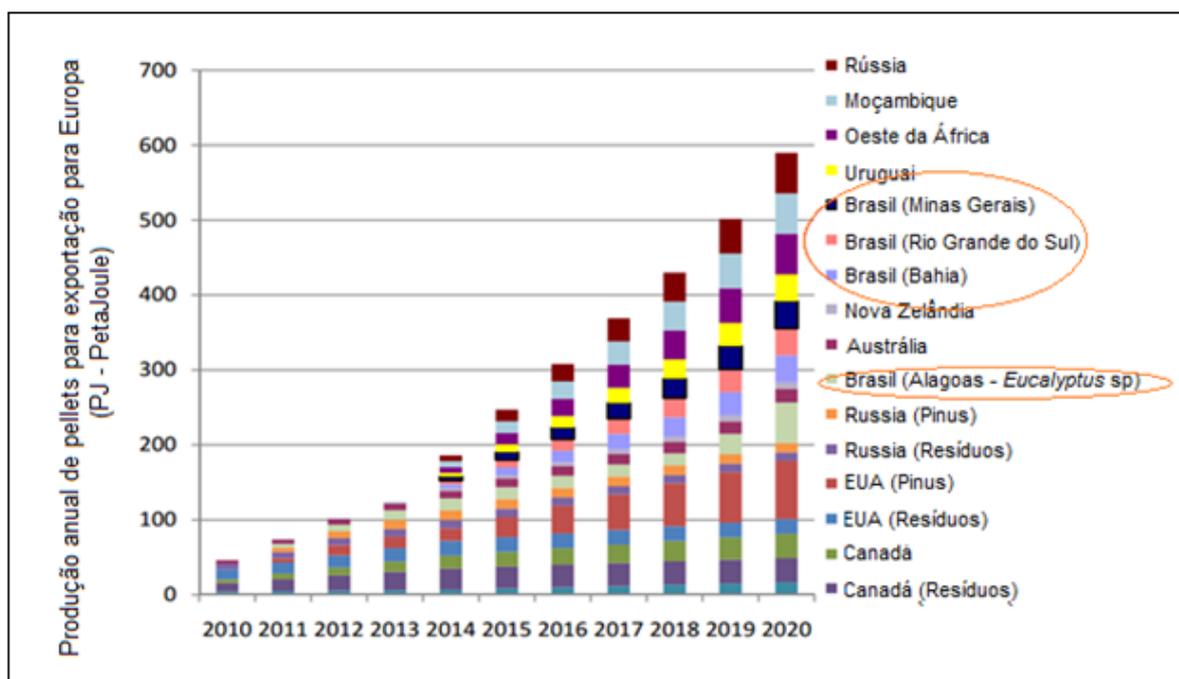


Figura 5 - Previsão de crescimento de oferta de biomassa em várias regiões do mundo.

Fonte: Adaptado Pöyry (2011).

Segundo Serrano (2009), no Brasil, o potencial de produção de pellets na região Sul é o mais importante, pois a atividade florestal, com grande parte da madeira destinada ao processamento mecânico (i.e., serrarias e madeireiras). Esse segmento, por sua vez, é grande gerador de resíduos adequados à produção de pellets, como serragem, pó de serra e pó de lixadeira, que possuem menor valor de mercado e são os mais apropriados à peletização, pois não precisam passar por fracionamento.

A maior parte das indústrias brasileiras de produção de pellets está localizada na região centro-sul do país, onde há grandes áreas de reflorestamento e fatura de resíduos que podem ser aproveitados no processo de densificação. No entanto, o Brasil ainda sofre com a falta de

capacidade industrial, o que inviabiliza contratos de exportação de médio e longo prazo, além da falta de um mercado interno estruturado devido sobretudo a questões culturais (GARCIA, 2012).

Ainda há uma vasta gama de regiões a serem estudadas com potencial para a produção de pellets de madeira no Brasil, não apenas para abastecer o mercado externo, mas também o mercado interno (ABIB, 2014).

2.3.4 Avaliação econômica de projetos de peletização

A viabilidade econômica de instalação de uma planta peletizadora está intimamente relacionada com a disponibilidade de matéria-prima, a qualidade desse material, as distâncias de transporte, as tarifas de energia elétrica e, especialmente, na capacidade instalada da fábrica (COUTO et al., 2004).

Os resíduos de madeira mais comumente utilizados na produção de pellets de madeira são serragem, pó de lixadeira, cavacos e, eventualmente, costaneiras. Toras brutas também podem ser usadas na produção de pellets, mas nesse caso é preciso um processo adicional para reduzi-las a partículas menores, assim como para cavacos e costaneiras, o que torna o processo oneroso (SERRANO, 2009).

De acordo com Sander (2011), que avaliou o investimento em uma planta peletizadora com base em resíduos de serrarias, os custos operacionais de produção têm como principais agentes os gastos com aquisição de matéria prima, custo com energia, seguido por mão de obra e material de embalagem.

Serrano (2009) também analisou a viabilidade econômica e financeira da utilização de resíduos de serrarias na produção de pellets, objetivando a exportação para o mercado europeu e constatou que, no custo de produção, o principal agente é a matéria prima. Já considerando o custo de produção e exportação dos pellets, o transporte revela-se o item de maior relevância no preço final do produto.

Para a tomada de decisão em investimentos revela-se de fundamental importância a utilização de dados confiáveis e critérios de avaliação econômica e financeiros adequados às características do projeto.

Na análise econômica de projetos, os principais critérios utilizados são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Custo Médio de Produção (CMPr), que já estão consagrados como indicadores de avaliação de projetos (REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

Assim como revela-se relevante a análise da Margem de Contribuição (MC), que é um conceito relativamente novo e principalmente pouco conhecido do pequeno empresário, acostumado a raciocinar com o conceito de lucro de produto. A MC auxilia na compreensão de como a empresa deve trabalhar para maximizar os resultados financeiros e definir comportamentos estratégicos, sem prejudicar a saúde financeira da empresa (ASSIS, 2010).

O VPL de um investimento pode ser definido como a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado. Em outras palavras, é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (SILVA; FONTES, 2005).

A TIR corresponde ao cálculo da taxa de desconto que, aplicada a uma série de entradas e saídas de caixa, iguala o fluxo a zero. Em outras palavras, é aquela taxa que zera o Valor Presente Líquido (VPL) (BALARINE, 2003).

O CMPr, um indicador simples, no entanto muito útil em análises financeiras, consiste em dividir o valor atual total dos custos pela produção total equivalente, ou seja, representa o custo médio para se produzir determinado produto (SILVA et al., 2002). O CMPr deve ser menor do que o preço de venda de um produto (CORDEIRO et al., 2010).

Segundo Brito (2006), o ponto de equilíbrio é um balizador respeitável da empresa, quanto menor o ponto de equilíbrio, melhor o resultado que a empresa está alcançando.

Assim como em outras áreas, os critérios de avaliação financeiros mais utilizados em estudos de investimentos em unidades peletizadoras são o VPL e a TIR. Vários trabalhos comprovam a importância desses indicadores na tomada de decisão em investimentos.

Na busca de alternativas sustentáveis para a eletrificação de comunidades localizadas em regiões remotas da Amazônia, Pinheiro (2012) avaliou dois sistemas de geração de energia e utilizou o VPL para comparar a viabilidade dos sistemas.

Rasga (2013) calculou a viabilidade financeira do uso de pellets em substituição ao óleo BPF-A1 em pequenos e médios consumidores no estado de São Paulo, a partir de dois métodos para a avaliação do projeto: VPL e TIR, que, segundo o autor, são suficientes para garantir a qualidade necessária para a avaliação financeira do investimento em uma indústria de pellets de madeira.

O VPL e a TIR também serviram de alicerce para a análise de viabilidade de implantação de unidade produtora de pellets no extremo Sul da Bahia em um estudo elaborado

por Sander (2011). Da mesma forma, Serrano (2009) utilizou esses critérios ao avaliar o potencial de produção e exportação de pellets no polo florestal da Região Sul do Brasil.

2.3.5 Políticas públicas e incentivos à produção de pellets de madeira

Segundo Garcia (2010), o custo de produção ainda é um fator limitante para a produção de pellets no Brasil. Nesse quesito, o Estado poderia agir no sentido de incentivar a produção dessa fonte de energia sustentável.

Para o Instituto Nacional de Eficiência Energética, a forma mais efetiva para combater o problema ambiental e tornar a madeira uma fonte sustentável será aumentando a produtividade na cadeia de produção, asfixiando economicamente as práticas não sustentáveis (INEE, 2010).

Há algumas iniciativas isoladas do Estado brasileiro que tem incentivado a produção de pellets através da autorização aos estados da federação para concederem benefícios fiscais as indústrias produtoras de pellets.

Segundo Oliveira (2012), alguns governos estaduais têm oferecido incentivos à produção de pellets, incluindo combinações de concessão de financiamento com taxas subsidiadas e desoneração do ICMS. As principais iniciativas por estado citadas por Oliveira (2012) são descritas a seguir:

- Amapá: concedeu benefícios fiscais como a redução de 75% da base de cálculo do ICMS nas importações do exterior e nas aquisições interestaduais de máquinas, aparelhos quando destinadas ao ativo imobilizado; isenção do ICMS incidente nas saídas internas de matéria prima, briquete e pellet industrializados ou produzidos no estado, com destino ao consumidor ou usuário final;
- Mato Grosso: reduziu em 100% o valor da operação na base de cálculo do ICMS incidente nas saídas internas dos produtos lenha, resíduos de madeira e briquetes, com destino ao consumidor ou usuário final.
- Rio Grande do Sul: projeto e execução das obras de infraestrutura para implantação do empreendimento e financiamento com recursos de Fundo Estadual com juros de até 6%, carência máxima de 5 anos e correção monetária de 90%;

- Bahia: financiamento de até 75% do valor do ICMS, prazo de 6 ou 10 anos, 3 anos de carência e juros anuais de 3%. Crédito presumido de até 70% do valor do ICMS nas saídas de termoplásticos fabricados no estado para outros estados e desoneração de ICMS na importação de máquinas e equipamentos;
- Ceará: empréstimo de até 75% do ICMS a ser recolhido, com 36 meses de carência e rebate, em média, de 75%. Prazo de 8 a 15 anos. Terreno e infraestrutura para implantação de unidade produtiva. Deferimento de ICMS incidente sobre as importações de máquinas e equipamentos e do ICMS incidente sobre as importações de matéria-prima e insumos;
- Goiás: financiamento de 75% do ICMS, em até 15 anos, com taxa de juros de 2,4% ao ano, sem correção monetária, com prazo de pagamento anual e com aplicação de desconto de até 100% do saldo devedor. Para micro empresas, o financiamento pode ser de até 90% do ICMS, por prazo de até 5 anos;
- Paraná: financiamento equivalente a 30% - 45% do ICMS devido, com prazo de utilização de 48 meses. Financiamento entre 20% e 100% do ICMS nas compras de matérias-primas e insumos no estado do Paraná, com prazo adicional de 12 meses a cada 20% de incremento nas compras;
- Rio de Janeiro: financiamento, com recursos do Fundo Estadual de Desenvolvimento Econômico e Social (FUNDES), por valor equivalente a 100% do investimento em capital fixo, com teto para as parcelas entre 6% e 9% do faturamento da empresa. Prazo de 36 meses e taxa de juros de entre 6% e 9% ao ano. Financiamento equivalente a 50% ou 60% do ICMS.

Para Nascimento (2012), uma das problemáticas relacionadas ao desenvolvimento sustentável é a lacuna com relação à dimensão do poder, pois há uma visão de que mudar os padrões de produção e consumo seja algo alheio às estruturas e decisões políticas. A consequência do esquecimento da dimensão da política é uma despolitização do desenvolvimento sustentável.

Deste modo, a aliança entre empreendedores e governos em busca de projetos sustentáveis e políticas públicas que os incentivem precisam ser firmadas, para que a sociedade seja favorecida, gerando um processo cíclico onde todas as partes se beneficiem.

2.3.6 Caracterização do resíduo para peletização

Características químicas e físicas da biomassa utilizada também afetam o processo de peletização. Análises em torno da composição química da biomassa são essenciais, pois os resultados poderão qualifica-la quanto ao potencial de energia disponível (BRAND, 2010).

As principais características a serem consideradas quando se trata de produção energética são: o poder calorífico, o percentual de carbono fixo, materiais voláteis, cinzas e umidade contidos na biomassa energética (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Segundo Jara (1989, *apud* QUIRINO, 2004), o poder calorífico é a quantidade de calorias liberadas por um material em sua combustão completa. Ainda, para Nogueira e Lora (2003), quando ocorre combustão completa a energia térmica liberada é geralmente medida em termos da energia por conteúdo por unidade de massa ou volume.

O teor de umidade presente na biomassa interfere no poder calorífico, que decresce com o aumento da umidade, por isso a queima da madeira úmida proporciona menor energia devido ao consumo no aquecimento e vaporização da água (NOGUEIRA; LORA, 2003).

O PCI (Poder Calorífico Inferior) refere-se a quantidade de energia disponível considerando a água de constituição (teor de hidrogênio) presente no combustível. Ou seja, o calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis. Já o PCS (Poder Calorífico Superior) é um valor teórico da quantidade de energia disponível, pois é obtido em laboratório em ambiente hermeticamente controlado com umidade de 0%, medido através de bomba calorimétrica (BRAND, 2010).

O PCU (Poder Calorífico Útil) ou PCL (Poder Calorífico Líquido) considera, além do teor de hidrogênio, a umidade presente na madeira, portanto ele é utilizado no cálculo da Densidade Energética (DE) (MOREIRA, 2012).

Na comparação de diferentes fontes de energia, a DE pode ser considerada a principal característica da biomassa, pois ela revela a quantidade de energia por unidade de volume de um combustível, ela depende da densidade básica, poder calorífico inferior e superior, umidade básica e do teor de hidrogênio da madeira (CARASCHI, 2012).

A composição química elementar, que apresenta o conteúdo percentual em massa dos principais elementos que constituem a biomassa, como, hidrogênio, enxofre, oxigênio, nitrogênio e as cinzas, contempla as principais características da biomassa relevantes como fonte energética (NOGUEIRA; LORA, 2003).

2.3.7 Questão socioambiental

A indústria de pellets constitui importante alternativa para solução do problema ambiental causado pela geração de resíduos, já que contribui para geração de renda por meio da comercialização do produto, gera oportunidade de negócios através da comercialização de créditos de carbono, gera empregos e resulta na geração de divisas para o Brasil além do desenvolvimento tecnológico (COUTO et al., 2004).

Segundo Cortez et al. (2008), é importante considerar as externalidades econômicas e ambientais presentes na avaliação de empreendimentos em energia e aproveitamento de biomassa. Para Sikka e Thornton (2012), os projetos de geração de energia a partir de biomassa projetados em escala regional apresentam vantagens socioambientais.

A intensidade dos impactos socioeconômicos pode variar grandemente de acordo com o tipo de empreendimento (Cortez et al., 2008). Aliado a questão econômica e social necessita-se que haja a preservação das florestas nativas locais, para a manutenção da biodiversidade. A biomassa destinada a peletização deve ser obtida de forma sustentável, com base em princípios do manejo florestal, buscando o aproveitamento de resíduos e a aliança com as indústrias florestais tradicionais (ROSILLO-CALLE et al., 2007).

A melhoria nos aspectos ambientais está diretamente relacionada à qualidade de vida da população local. A produção de pellets através de resíduos florestais diminui a poluição ambiental, pois consome depósitos de resíduos preexistentes que emitem GEEs pelo processo de decomposição da biomassa. Além disso, evita-se que esses resíduos sejam queimados, prática que ainda ocorre em algumas fontes geradoras (BRAND, 2010).

Com a queima de pellets há a diminuição da poluição do ar, pois a fumaça gerada com o uso dos pellets possui menor quantidade de fuligem, sendo assim mais limpa do que a gerada pela combustão da lenha; os benefícios são mais perceptíveis quando a queima ocorre em unidades próximas a centros urbanos (JONES et al., 2014).

Brand (2010) ao avaliar os impactos de uma planta de geração de energia através de biomassa residual industrial florestal, em Lages, Rio Grande do Sul, observou que houve impactos positivos no âmbito social, evidenciados pelo surgimento de outras empresas ligadas ao setor de resíduos e energia, que geraram empregos e diversificação de renda na região.

A biomassa pode ser enquadrada como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), pois é responsável pela diminuição das emissões de um ou mais gases acordados pelo protocolo de Quioto, envolve o investimento e a transferência de tecnologia de países desenvolvidos

atendendo às necessidades de países em desenvolvimento e comporta os requisitos impostos na convenção (CORTEZ et al., 2008). Segundo Couto et al. (2004), com o advento do Protocolo de Quioto e a criação do MDL, abriu-se uma grande oportunidade de negócios no campo da energia a partir da biomassa vegetal.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange a BHRP, localizada na região central do Rio Grande do Sul (RS), conforme Figura 6.

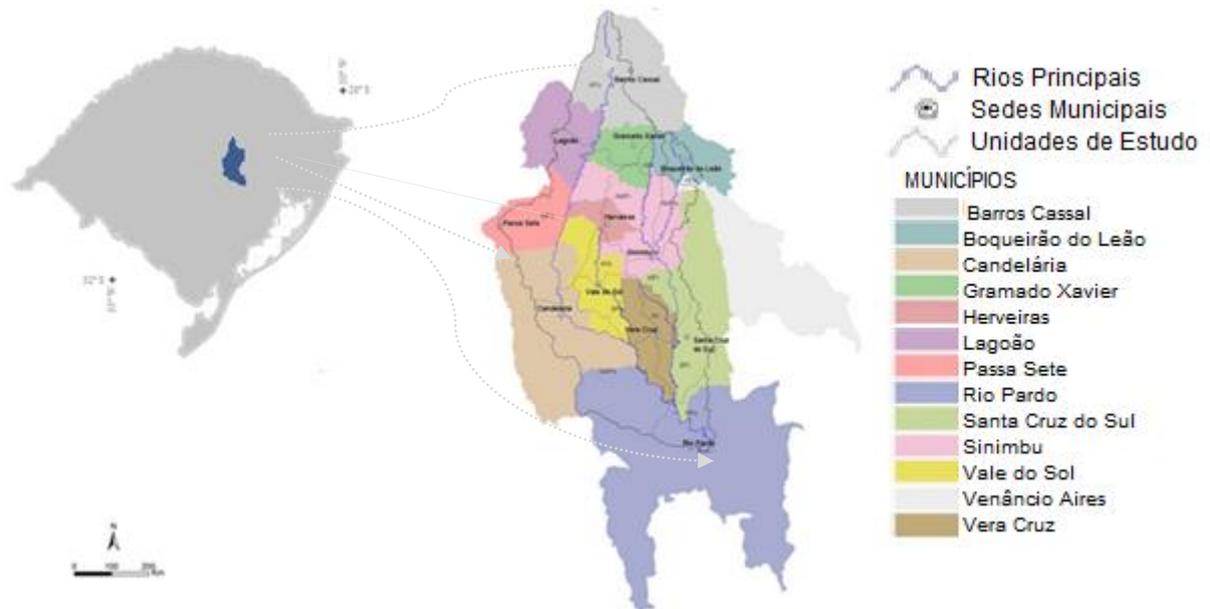


Figura 6 - Localização dos municípios e delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

Fonte: Adaptado de IBGE (2010a) e HELFER (2006).

A área de drenagem da BHRP é de 3.636,79 km² que representa 1,3% da área do RS, contendo 13 municípios, desses somente Venâncio Aires tem sua sede fora dos limites da Bacia

(COMITÊ PARDO, 2014). O município de Venâncio Aires foi desconsiderado na análise por não possuir a sede dentro dos limites da Bacia e pela pequena abrangência territorial na BHRP.

Conforme a classificação climática de Rossato (2011), a área de estudo compreende dois tipos de clima, o Subtropical I e Subtropical II. O primeiro caracteriza-se por ser mediantemente úmido, com maior influência dos sistemas polares e continentais, as chuvas oscilam entre 1500 a 1700 mm distribuídos em 90 a 110 dias, a temperatura média anual varia de 17 a 20 °C. Já o Subtropical II é definido como úmido, com maior influência dos sistemas tropicais conjugados com os efeitos do relevo e da continentalidade, da maritimidade e das massas urbanas. As chuvas são bem distribuídas, chovendo de 100 a 120 dias, uma variação de 1700 a 1800 mm ao ano. Com relação a temperatura a média se mantém entre 17 e 20°C.

A formação florestal regional é a Floresta Estacional Decidual, integrante do Domínio Mata Atlântica (MARCUIZZO et al., 1998). Segundo Abreu e Köhler (2009), há também uma mescla de componentes florísticos da Floresta Ombrófila Mista na passagem da região, como a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, que demonstram uma situação de transição de formações florestais na Bacia.

3.2 Resíduos do processamento de madeira nas serrarias da BHRP

Para a determinação do montante de serragem gerado no processamento de madeira na BHRP, buscou-se informações quanto ao número de serrarias cadastradas junto ao Defap - SEMA/RS.

Para estimar o montante de resíduos produzidos na BHRP, foram utilizados os dados publicados por Farias (2010). O autor levantou o número de serrarias registradas junto ao Defap – SEMA/RS nos 13 municípios da BHRP no ano de 2010 e verificou o volume de madeira processada mensalmente nas serrarias por município, chegando a média em metros cúbicos de madeira roliça processada por serraria presente na Bacia.

O volume de resíduos gerados mensalmente foi obtido pela multiplicação do número de serrarias cadastradas na BHRP em 2012 pelo volume médio de madeira processada. Para a definição do montante de serragem gerado pelas serrarias da BHRP, foi considerando um fator de 0,15 publicado por Ekono, ou seja, a cada tonelada de madeira processada 0,15 são resíduos com potencial para geração de energia (1980 *apud* BRAND, 2010).

3.2.1 Caracterização da serragem

A coleta da serragem foi realizada em uma das serrarias que atualmente fornece serragem para produtores de tabaco e adotaram o sistema de cura de tabaco com serragem no município de Candelária, RS. Na pilha de serragem foram coletadas 5 amostras em posições diferentes na pilha, as quais foram homogeneizadas formando uma única amostra de 1,00 kg (volume exigido para análise dos parâmetros citados na Tabela 1).

Amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Ensaios em Combustíveis da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), localizada no município de Porto Alegre, RS, que efetuou as análises de acordo com metodologias normatizadas. Para a caracterização do resíduo foram realizadas as análises que constam na Tabela 1.

Tabela 1 - Análises laboratoriais da serragem coletada na BHRP.

Parâmetro	Métodos de análise ¹
Umidade total	NBR 14660
Cinzas	ASTM D 7582
Enxofre	EN 15289 e/ou D 4239
CHN (carbono, hidrogênio e nitrogênio)	ASTM D 5373
Poder calorífico superior (PCS)	ASTM D 5865

1. Fonte: CIENTEC.

As análises solicitadas consistem basicamente na análise química elementar e imediata, a primeira engloba o conteúdo percentual em massa dos principais elementos componentes da biomassa. Já a análise imediata de um combustível fornece a percentagem de material volátil, carbono fixo e cinza.

Além da umidade do material e o Poder Calorífico Superior, importantes quando se avalia o uso da biomassa para energia, também utilizados no cálculo da densidade energética da biomassa.

3.3 Avaliação econômica

3.3.1 Custos e comercialização

De acordo com o montante de resíduos disponíveis na BHRP, a Lippel, empresa fornecedora de equipamentos e estruturas para plantas peletizadoras, estabeleceu o dimensionamento da planta. Assim como, os custos relacionados aos equipamentos, edificações, manutenção e parâmetros técnicos como, operação, consumo de energia e perdas na produção também foram obtidos junto a Lippel (2014).

Para estabelecer valor da matéria prima (serragem), levantou-se o preço de venda da serragem praticado pelas empresas fabricantes de painéis de madeira reconstituída no RS. O preço de comercialização dos pellets foi definido de acordo com o estudo de Rasga (2013), que levantou o custo de produção de uma tonelada de pellets antes da adição dos os impostos, a esse valor foi acrescida uma margem de 30%, como margem de segurança.

Os impostos não foram considerados na análise do presente estudo, pois eles podem ser acrescidos no valor da nota fiscal. Segundo Sander (2011) os impostos ligados a uma planta peletizadora são de aproximadamente 34,53%, que devem ser adicionados ao valor da na nota fiscal.

3.3.2 Critérios de análise do investimento

Os dados foram processados no Software Excel[®]. Os critérios de avaliação financeira utilizados foram: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Custo Médio de Produção (CMP_r), Margem de Contribuição (MC) e Ponto de Equilíbrio em Quantidade (PE_q). Também foram realizadas análises de sensibilidade para o VPL, variando o valor de comercialização dos pellets, o custo da serragem e a TMA.

Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que representa o mínimo de retorno exigido pelo empreendedor, definida para estudo foi de 10,90% correspondente a taxa Selic (Sistema

Especial de Liquidação e de Custódia), também chamada de taxa de juro básico da economia, verificada no dia 12 de setembro de 2014.

A taxa Selic é composta por uma taxa real acrescida da inflação, portanto ao avaliar o VPL, que apresenta o valor da remuneração do investimento ao empreendedor no presente, deve-se observar que a taxa Selic utilizada é composta por um índice de inflação que corrige o capital e uma taxa que remunera o capital.

O VPL, o qual representa o retorno do projeto ao empreendedor, é obtido pela diferença entre o valor descapitalizado para o ano zero das despesas e das receitas previstas para cada período definido no horizonte de duração do projeto. O VPL pode ser expresso pela fórmula (REZENDE; OLIVEIRA, 2001):

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+i)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j} \quad (1)$$

Sendo: VPL = valor presente líquido; R_j = receitas no período de tempo j ; C_j = Custos receitas no período de tempo j ; n = duração do projeto em anos ou número de períodos de tempo; i = taxa anual de juro, na forma decimal.

A TIR consiste na taxa de desconto que zera o VPL. Essa taxa faz com que as entradas futuras de caixa se igualem ao desembolso inicial do projeto. Segundo Silva (2007) a TIR pode ser definida por:

$$\sum_{j=0}^n R_j (1 + TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j (1 + TIR)^{-j} \quad (2)$$

Sendo: R_j = receitas no período de tempo j considerado; C_j = Custos receitas no período de tempo j considerado; n = duração do projeto em anos ou em número de períodos de tempo; i = taxa anual de juro, expressa de forma decimal.

O CMPr resulta da relação entre o custo total e a produção equivalente atualizados, ambos convertidos em um mesmo período de tempo, é expresso pela fórmula (SILVA, 2007):

$$(3)$$

$$CMP_r = \frac{\sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n PT_j (1+i)^{-j}}$$

Sendo: C = custo ocorrido no período j; PT = produção total ocorrida no período j; i= taxa; j = ano em questão “n”.

A MC é a parcela da receita total que ultrapassa os custos e despesas variáveis, ou seja, ela contribuirá para cobrir as despesas fixas e compor o lucro. Segundo Dias (1992), a MC refere-se a diferença entre o preço de venda e o custo variável, ou seja:

(4)

$$MC = PV - CV$$

Onde: MC = Margem de Contribuição; PV = Preço de Venda Unitário; CV = Custos Variáveis Unitários

O Ponto de Equilíbrio é tradução livre do conceito em inglês conhecido como *Break-even point*, isto é, a quantidade de vendas e/ou produção onde as receitas são iguais aos custos e não há lucro nem prejuízo, o PE(q) é expresso pela fórmula (DIAS, 1992):

(5)

$$PE_{(q)} = CF \div MC$$

Onde: PE(q) = Ponto de Equilíbrio em Quantidade; MC = Margem de Contribuição; CF = Custos Fixos.

3.4 Pellets na cura do tabaco

Os dados referentes ao consumo de lenha e serragem na cura do tabaco foram obtidos do Relatório de Pesquisa coordenado por Farias (2014), que mensurou o consumo de biomassa na cura do tabaco em unidade de cura de ar forçado na BHRP.

Para a comparação da lenha, serragem e pellets determinou-se a Densidade Energética (DE) de cada combustível. A densidade energética é expressa pela fórmula (MOREIRA et al., 2012):

(6)

$$DE = \frac{DB \times PCU}{10^6}$$

Sendo: DE = Densidade Energética (Gcal.(m³)⁻¹); DB = Densidade Básica (kg.(m³)⁻¹); PCU = Poder Calorífico Útil (kcal.kg⁻¹); Divisão por 10⁶ para conversão para Gigacaloria (Gcal).

O Poder Calorífico Útil (PCU) considera o Poder Calorífico Inferior (PCI) e o teor de umidade presente na madeira. O PCU pode ser determinado pela fórmula (MOREIRA et al., 2012):

(7)

$$PCU = PCI \times \frac{(100 - U)}{100} - 6 \times U$$

Sendo: PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal.kg⁻¹) e U = umidade a base úmida (%).

O PCI é obtido com base no PCS (Poder Calorífico Superior), que é medido através de bomba calorimétrica. O PCI considera o teor de hidrogênio presente na madeira, valor relativamente constante em todas as madeiras (6%). Para a obtenção do PCI, desconta-se a energia necessária para retirar o hidrogênio da madeira, representado pelo 324 da Equação 8 (BRAND, 2010; MOREIRA et al., 2012).

(8)

$$PCI = PCS - 324$$

Onde: PCS = Poder Calorífico Superior (kcal.kg⁻¹).

A análise química da serragem coletada na BHRP forneceu os parâmetros necessários para o cálculo da DE da serragem. Os dados publicados por Garcia et al. (2013) forneceram a DE para pellets de *Eucalyptus* sp. Já para a determinação da DE da lenha utilizou-se os dados publicados por Moreira et al. (2012), que comparou 7 espécies diferentes mais utilizadas como lenha.

3.4.1 Análise ambiental e social

A abordagem dos aspectos ambientais e sociais baseou-se em estudos que mensuraram os impactos do uso de pellets em substituição a lenha. Os estudos que serviram de alicerce e forneceram dados para a discussão estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação de estudos que originaram os dados na discussão dos impactos sociais e ambientais de uso de lenha e pellets para energia.

Autor	Ano	Título	Tipo	País
PCFplus Grupo de pesquisa em Tecnologia de Biomassa	2002	<i>Methane and nitrous oxide emissions from biomass waste stockpiles</i>	Relatório	Bulgária
Raymer	2006	<i>A comparison of avoided greenhouse gas emissions when using different kinds of wood energy.</i>	Artigo	Noruega
Pa	2013	<i>Evaluation of wood pellet application for residential heating in British Columbia based on a streamlined life cycle analysis.</i>	Artigo	Canadá
	2010	<i>Development of British Columbia wood pellet life cycle inventory and its utilization in the evaluation of domestic pellet applications.</i>	Dissertação	Canadá

Esses estudos foram desenvolvidos em outros países, conseqüentemente a discussão acerca dos impactos ao meio ambiente e sociedade relacionados ao uso pellets e lenha foram discutidas considerando as características da região de estudo. Ainda, quanto ao quesito social, discutiu-se a influência das variáveis financeiras, ambientais e técnicas levantadas, no contexto da fomicultura na BHRP.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Volume de serragem gerado pelas serrarias da BHRP

O volume médio de madeira em tora processada por serraria da BHRP corresponde a $105,09 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$, segundo Farias (2010). O autor entrevistou 84% das serrarias dos municípios da BHRP cadastradas junto ao Defap - SEMA/RS em 2010.

Segundo dados obtidos junto ao Defap - SEMA/RS, a região em estudo possuía 107 empreendimentos cadastrados, na vigência 2012/2013, na categoria: Serraria ou Indústria de Madeira Serrada, distribuídas pelos 12 municípios da BHRP.

Ekono (1980 *apud* BRAND, 2010) afirma que uma tonelada de madeira roliça de folhosas processada mecanicamente em serrarias de pequeno porte gera 0,5 toneladas de madeira serrada, 0,35 toneladas de partículas com potencial para produção de painéis e os demais 0,15 toneladas seriam perdas e partículas que poderiam ser utilizadas como combustível.

A Tabela 3 resume os dados discutidos que embasaram a estimativa do volume de serragem gerada nas serrarias da BHRP. Deste modo, calcula-se que um montante de $69,82 \text{ t} \cdot \text{dia}^{-1}$ de serragem esteja disponível para peletização na Bacia.

O montante de 69,82, revela-se um valor intermediário, o aumento da disponibilidade da biomassa é desejável, uma vez que, a região é historicamente consumidora de biomassa para geração de energia.

Tabela 3 - Compilação de dados para o cálculo do volume de serragem gerado na BHRP.

Parâmetro	Valor	Fonte
Volume médio de madeira roliça processada por serraria ($\text{m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$)	105,09	Farias (2010)
Número de serrarias (n)	107,00	Rio Grande do Sul (2013)
Fator de conversão de m^3 para tonelada de madeira roliça	0,87	SBS (2008)
Fator de estimativa do montante gerado de serragem	0,15	Ekono (2004)
Dias trabalhados por mês (dias)	21,00	Autor
Volume médio de madeira roliça processada por serraria ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	4,35	Autor
Volume total de madeira processada pelo total de serrarias ($\text{t} \cdot \text{dia}^{-1}$)	465,45	Autor
Volume total de resíduos gerados pelas serrarias ($\text{t} \cdot \text{dia}^{-1}$)	69,82	Autor

4.1.1 Caracterização da serragem

As serrarias da região apresentam o gênero *Eucalyptus* com a principal fonte. Segundo Farias (2010), 84,6% da madeira processada nas serrarias da BHRP é do gênero *Eucalyptus*, 15,1% *Pinus* e 0,3% outras espécies. Portanto, a serragem é predominantemente de *Eucalyptus* sp., sendo as espécies mais utilizadas pelas serrarias o *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*.

O montante de serragem presente na BHRP pode desempenhar um papel fundamental como fonte de energia para a região em substituição a lenha. O poder calorífico, teor de cinzas, umidade e a densidade são aspectos considerados essenciais para potencializar a produção de compactados de biomassa com finalidade energética (BRAND, 2010). A Tabela 4 apresenta os valores obtidos na análise da serragem coletada na BHRP pelo presente estudo.

Tabela 4 - Composição química elementar e imediata da serragem coletada nas serrarias da BHRP.

Parâmetro	Valor
Umidade (%)	32,62
Cinzas (%)	0,66
Enxofre (%)	0,05
Carbono (%)	51,56
Hidrogênio (%)	5,56
Nitrogênio (%)	0,11
Poder Calorífico Superior (PCS) (kcal.kg ⁻¹)	4.655,00

Fonte: Autor.

Para a produção de pellets, a matéria prima deve chegar a peletizadora com um teor de umidade inferior a 10,00% (LIPPEL, 2014). O teor de umidade da serragem foi 32,62%, sendo assim necessário o processo de secagem pré peletização.

De acordo com Pereira et al. (2000), teores de umidade elevados, além de diminuir a quantidade de calorías, reduzem a temperatura da câmara de queima e dos gases de escape, por

consequência promovem a formação de crostas de fuligem nas chaminés e no interior da câmara de combustão.

O PCS detectado na serragem de 4.655,00 kcal.kg⁻¹ é típico de espécies de Eucalipto. Quirino (2004) avaliou 15 espécies de Eucalipto e observou um PCS médio de 4.874,00 kcal.kg⁻¹, variando de 5.023,00 a 4.217,00 kcal.kg⁻¹.

O percentual de carbono fixo encontrado foi de 51,56. Segundo Pereira et al. (2000), o percentual de carbono fixo refere-se à fração de carvão que queima no estado sólido. Combustíveis com teores mais elevados de carbono fixo são preferíveis, porque queimam mais lentamente. Para Bizzo (2003), o carbono e hidrogênio são elementos que mais contribuem no poder calorífico dos combustíveis.

Couto (2009) encontrou valores semelhantes ao presente estudo, ao avaliar as mesmas características em amostras de serragem de *Eucalyptus* sp., 45,5% para o carbono; 6,2% hidrogênio; 0,13% nitrogênio e 0,07% para o enxofre.

Os teores de nitrogênio (5,56%) e enxofre (0,05%) ganham relevância devido a ação na camada de ozônio. Hansen et al. (2010) afirma que os GEEs emitidos na forma de NO_x e de SO_x estão diretamente correlacionados às concentrações de nitrogênio e de enxofre, respectivamente, onde teores inferiores a 0,6% de N e 0,2% de S, não causam problemas.

O teor de enxofre encontrado na serragem coletada apresenta-se inferior a 0,2%, fato positivo. Já o teor de nitrogênio mostrou-se elevado quando comparado ao limite de 0,6% definido por Hansen, no entanto, não inviabiliza a produção de pellets (2010).

O teor de cinzas é a fração que permanece como resíduo, após a combustão e varia dependendo da espécie, da quantidade de casca e da presença de terra e areia no resíduo de madeira (PEREIRA et al., 2000). O teor de cinzas detectado foi de 0,66%, sendo adequado quando considera-se que elevados teores de cinzas são indesejáveis; segundo Pereira et al. (2000), valores apropriados estão entre 0,30 e 1,00% de cinzas.

4.2 Produção de pellets como alternativa sustentável para BHRP

Agir de maneira sustentável envolve a capacidade do ser humano interagir com o ambiente de tal forma que possibilite a manutenção das mesmas condições do ambiente presente para as gerações futuras.

Segundo Leite (2013), o conceito de sustentabilidade é complexo, pois atende a um conjunto de variáveis interdependentes. O autor afirma que para haver sustentabilidade deve existir a capacidade de integrar as questões sociais, energéticas, econômicas e ambientais.

A restrição do estudo à BHRP deve-se às várias peculiaridades que a tornam relevante quando trata-se de sustentabilidade energética, preservação ambiental e desenvolvimento social. Sobretudo, pela dependência do cultivo do tabaco e a necessidade energética ligada a cultura.

No âmbito ambiental, o aproveitamento de resíduos é fundamental, sendo que a destinação correta de resíduos, como a serragem para peletização, possibilita a diminuição dos gases gerados pela decomposição, permitindo que as árvores destinadas a energia tenham aproveitamento como multiprodutos, permitindo que o carbono fique mais tempo imobilizado na forma de madeira.

A inserção dos pellets como uma nova fonte de energia também contribui com o uso racional dos recursos naturais. Pois, ainda que a principal fonte energética seja lenha reflorestada, a forma de condução dos reflorestamentos, em ciclos muito curtos e sem o manejo adequado, pode diminuir a fertilidade do solo em níveis que impossibilitem a resiliência das áreas reflorestadas.

No aspecto social, a agricultura familiar é predominante na região. Logo, acredita-se que a utilização de pellets poderá contribuir tanto economicamente, vindo a suprir demandas de lenha comprada, como pela possibilidade de ter um custo menor, bem como em relação a qualidade de vida e justiça social aos fumicultores, facilitando o processo de cura do tabaco e diminuindo o esforço físico no processo de cura das folhas de tabaco.

Além disso, análises regionalizadas tendem a ser mais ricas em detalhes, por agrupar especialidades desconsideradas em estudos de maior escala. Portanto, contará com maior efetividade de aplicação e respostas mais rápidas, servindo de exemplo para outras ações, que juntas podem abranger maiores escalas.

Deste modo, os itens a seguir abordarão a produção de pellets como alternativa energética sustentável na BHRP, em três aspectos principais: avaliação financeira, ambiental e social.

4.2.1 Análise de investimento em uma planta peletizadora na BHRP

Para a análise econômica e elaboração do fluxo de caixa compilaram-se dados de diferentes fontes discriminadas no Apêndice A. As informações quanto a capacidade da planta, dias trabalhados, o consumo de biomassa pelo processo de secagem da serragem, custos com equipamentos e área necessária foram estimados pela Lippel de acordo com o montante disponível de serragem ($69,82 \text{ t.dia}^{-1}$), considerando a umidade do material e os coeficientes técnicos dos equipamentos.

A planta projetada possui capacidade de absorver $6,00 \text{ t.h}^{-1}$ de serragem a 10,00% de umidade (LIPPEL, 2014). Para o cálculo considerou-se que a planta opera $2.016,00 \text{ horas.ano}^{-1}$, ou seja 8 horas diárias, 21 dias por mês, sendo considerado 3,00% de perdas de biomassa no processo, assim a produção estimada foi de 11.733,12 toneladas de pellets anualmente. No ano zero, considerou-se 6 meses de produção, pois o primeiro semestre foi considerado ocupado com a instalação dos equipamentos e treinamento da equipe.

A análise engloba os custos fixos e variáveis desde a entrada da matéria prima na planta até o final do processo de produção, não se considerando no cálculo os custos de venda, impostos, embalagem e transporte ao consumidor final. Valor de comercialização da tonelada do pellet calculado foi de R\$ 333,19 t. Os impostos não foram acrescidos ao fluxo de caixa.

Os custos fixos são compostos pela planta, terreno, edificações e mão de obra (administrativa + serviços gerais), manutenção, custo de oportunidade e depreciação. A depreciação ocorre para o maquinário (10,00%) e edificações (2,50%). O valor residual do equipamento não foi contabilizado, sendo a vida útil definida em 10 anos.

Os custos variáveis são a mão de obra operacional (referente a operação da máquina peletizadora), energia elétrica e biomassa. O fluxo de caixa do investimento está representado pela Figura 7 no qual a linha central representa o horizonte planejado, com os valores das receitas menos as despesas para cada ano.

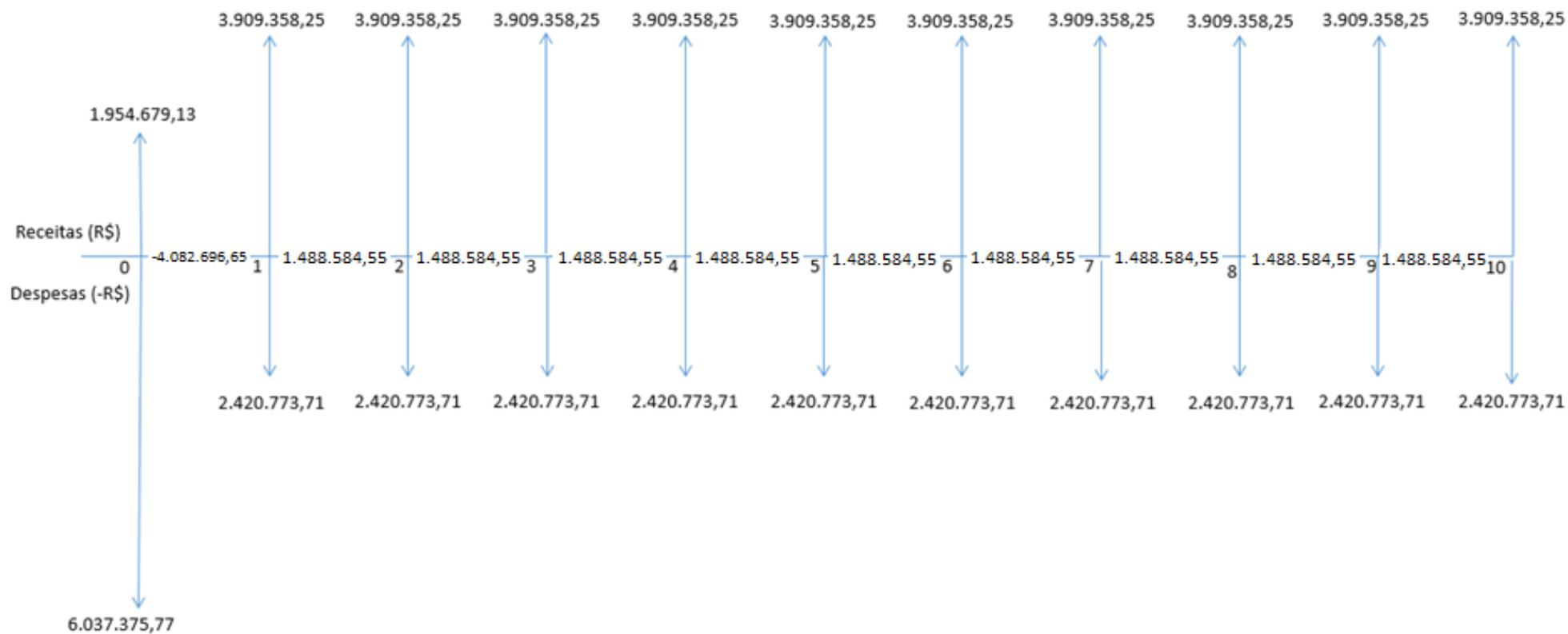


Figura 7 - Fluxo de caixa da planta peletizadora.

Com essas premissas, a TIR verificada para o fluxo de caixa da Figura 7 foi de 34,59 % a.a. superior a TMA. O VPL em dez anos foi calculado em R\$ 4,72 milhões, para TMA de 10,90 % a.a (taxa Selic, que considera a inflação).

Para a avaliação da viabilidade financeira de uma planta peletizadora com capacidade de produzir 36 mil t.ano⁻¹, em um fluxo de caixa de 10 anos, Rasga (2013) encontrou um VPL de R\$10,9 milhões e uma TIR de 25,18% a.a. O autor arbitrou o preço de venda em R\$ 490,00 por tonelada entregue de pellets com impostos inclusos.

Já Sander (2011) constatou que a implantação de uma planta peletizadora com capacidade para 4,224 mil t.ano⁻¹ é viável ao empreendedor, proporcionando um VPL de R\$ 0,25 milhões e TIR 21,37%, com um preço de venda de R\$ 235,00 t.

Os resultados encontrados por Serrano (2009) indicaram que, para uma planta peletizadora com capacidade de 100,00 mil toneladas de pellets por ano, com o preço dos pellets a granel entregue em porto na Europa fixado em €140,00 a tonelada (aprox. R\$ 448,00 a tonelada, considerando uma taxa de câmbio de R\$ 3,20) o empreendimento foi viável, com TIR de 17%, VPL de R\$ 3,6 milhões a uma TMA de 13%.

Para a determinação do CMP_r, considerou-se os custos operacionais e excluiu-se do fluxo de caixa o custo dos equipamentos e o custo de oportunidade. Pois, segundo Reis e Guimarães (1989), no custo operacional inclui-se praticamente todos os custos variáveis, excluindo-se a administração, e todos os fixos que exigem reposição por meio de aquisições, sem, no entanto, considerar o custo de oportunidade. A Figura 8 apresenta a estrutura de custos da planta peletizadora.

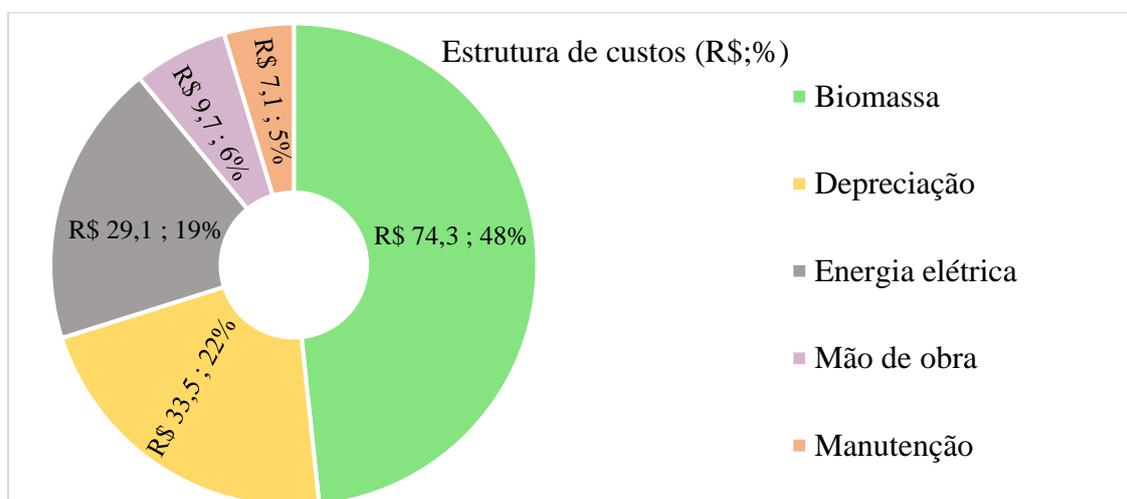


Figura 8 - Estrutura de custos da planta peletizadora.

O maior custo da composição de uma tonelada de pellets foi a biomassa (48%), seguida da depreciação (22%), energia elétrica (19%), mão de obra (6%) e manutenção (5%) (FIGURA 8).

Uma alternativa para a redução da componente energia elétrica no CMPr seria a implantação de uma usina própria, movida a biomassa, para a geração da energia elétrica consumida pela planta. O que torna o projeto ainda mais sustentável, pois evita-se a dependência da energia elétrica que vem da rede. No entanto, revela-se necessário avaliar os custos e a disponibilidade de biomassa para a cogeração de energia na própria planta.

Já no estudo de Serrano (2009), foi constatado que a matéria prima representou um percentual maior, 67,1% dos custos totais, seguido pelo consumo de energia elétrica 10,1%, equipamentos 10,7%, manutenção 8,1%, edificações 3,3% e mão de obra 0,6%.

Segundo Couto et al. (2004), no caso da indústria de pellets de resíduos lignocelulósicos, a estrutura de custos de produção pode ser dividida da seguinte maneira: matéria-prima: 27,3%; energia elétrica: 4,9%; pessoal: 13,8%; despesas administrativas: 5,1%; peças de reposição: 4,8%; comercialização: 27,0%; e custo com financiamento: 20,2%.

O CMPr calculado foi de R\$ 153,77 t de pellet. Semelhante ao encontrado por Serrano (2009) de R\$171,49 t, para uma peletizadora com capacidade para a produção de 100 mil toneladas de pellets de madeira por ano, sem considerar os impostos, assim como calculado no presente estudo.

O CMPr encontrado também revelou-se próximo ao CMPr calculado por Sander (2011) que foi de R\$ 117,02 t. Além disso o autor estimou os impostos em 34,53%, que devem ser adicionados ao valor de venda na nota fiscal.

Rasga (2013) encontrou um CMPr de R\$ 256,59 t, sem considerar os impostos (PIS, COFINS e ICMS), assim como calculado no presente estudo. No entanto, quando Rasga (2013) adicionou os impostos ao cálculo, o CMPr aumentou para R\$ 405,28 t, para uma unidade peletizadora com capacidade de produzir 36 mil t.ano⁻¹.

A Tabela 5 apresenta o cenário atual com uma MC de R\$ 2,66 milhões. O PE(q) de 5444,40 t.ano⁻¹, logo com essa produção as receitas se igualam aos custos. Com a produção atual (11.733,12 t.ano⁻¹) a planta opera 54% acima do PE(q).

Tabela 5 - MC e do PE(q) variando a quantidade produzida de pellets da planta.

Capacidade Operacional (%)	Produção (t.ano ⁻¹)	MC (milhões R\$.ano ⁻¹)	PE ¹
20,6	5.444,40	1,23	1,00
44,4	11.733,12	2,66	0,46

1. Ponto de Equilíbrio

A capacidade operacional (44,4%), no cenário avaliado, justifica-se pelo montante de serragem disponível (69,82 t.dia⁻¹), capacidade de recebimento (6 t.h⁻¹ a 33% de umidade), possibilitando 1 turno diário de 8 horas. Sendo arbitrado 3 turnos diários de 6 horas como a capacidade máxima da planta. Portanto, a planta apresenta potencial de gerar melhores resultados, desde que haja o aumento da disponibilidade de biomassa.

Aplicou-se uma análise de sensibilidade para o valor de comercialização da tonelada de pellet (FIGURA 9). O eixo das ordenadas representa o VPL resultante em função do preço da tonelada do pellet de madeira.

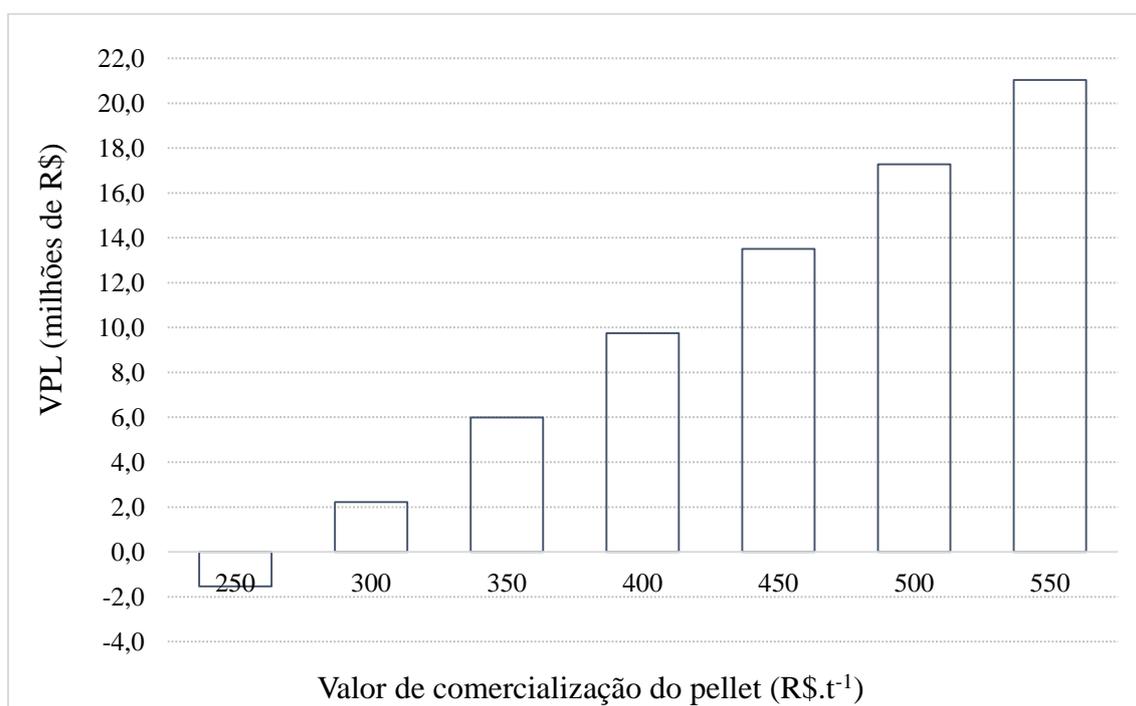


Figura 9 - Análise de sensibilidade do investimento variando o valor de comercialização dos pellets.

A análise de sensibilidade demonstra que o cenário de comercialização do pellet a R\$ 250 t gera um VPL negativo. O VPL se aproxima de zero comercializando o pellet a R\$ 270,46 t, logo, para obter resultado positivo o pellet deve ser vendido acima desse valor. Cabe destacar nesse ponto que a TIR é o valor que zera o VPL.

Uma vez que variações no preço da matéria prima podem afetar o julgamento do investimento efetuou-se uma análise de sensibilidade com relação ao custo da matéria prima (FIGURA 10).

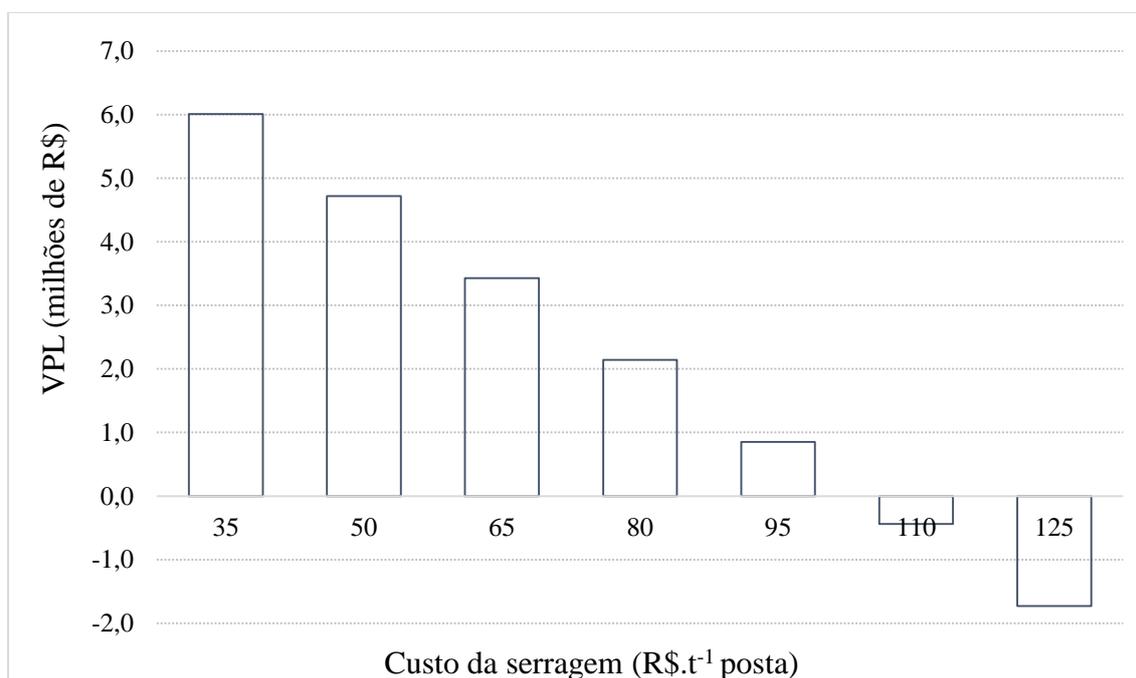


Figura 10 - Análise de sensibilidade do investimento em função do preço da matéria prima.

No cenário com a matéria prima custando R\$ 95,00 t posta, ainda obtêm-se um VPL positivo (FIGURA 10). Para zerar o VPL a matéria prima deveria custar aproximadamente R\$ 105,00 t, logo, mais do que o dobro do valor do cenário atual (R\$ 50,00 t. posta).

A Figura 11 demonstra o comportamento do VPL em função da TMA até ela ultrapassar a TIR (34,59%). Essa análise demonstra os impactos gerados no VPL com a variação da TMA para investimentos dessa natureza.

Levando em consideração que em alguns fundos de investimento, como o Fundo Estadual no Rio Grande do Sul, a taxa é de 6%, o VPL resultante alcança aproximadamente R\$ 6,9 milhões.

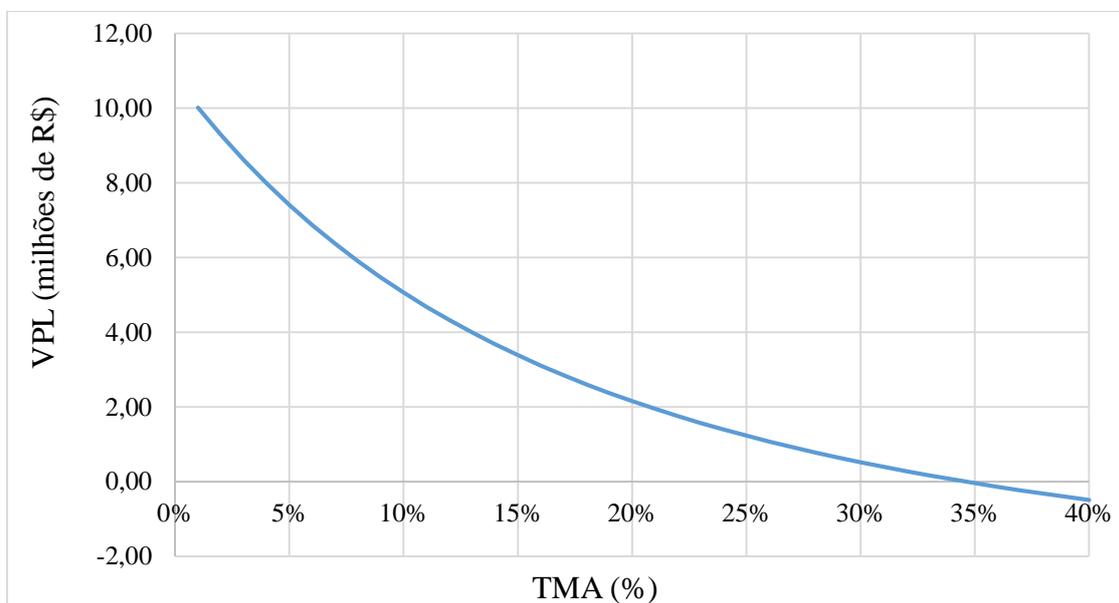


Figura 11 - Análise de sensibilidade para a TMA.

Além das linhas de crédito de origem governamental, também pode ser considerada a formação de cooperativas ou grupos de investimento. Ou seja, empreendedores regionais que possam investir na planta peletizadora, tendo como retorno percentuais nos lucros.

4.2.2 Pellets na cura do tabaco

A lenha é a fonte de energia térmica utilizada na cura do tabaco tradicionalmente. No entanto, o desenvolvimento de novas tecnologias, como o sistema de alimentação, apresentado na Figura 12, viabilizou tecnicamente a utilização de outras formas de biomassa, como a serragem, cavacos e pellets.



Figura 12 - Sistema de alimentação para unidades de cura de tabaco.

Fonte: Budny (2014).

O alimentador é conectado a fornalha e faz o abastecimento de forma automatizada. A biomassa, seja ela serragem, pellets ou cavaco, é colocada no alimentador com o auxílio de um recipiente adaptado pelo fumicultor.

O sistema de alimentação (Figura 12) é ligado a um controlador eletrônico que regula a quantidade necessária de serragem para manutenção da temperatura no interior da unidade de cura, conforme a curva de secagem utilizada. A biomassa vai sendo levada até a fornalha por uma rosa sem fim horizontal, localizada na extremidade inferior do equipamento. No caso do alimentador ficar vazio, um sinal sonoro será emitido pelo controlador eletrônico para que seja feito o reabastecimento.

O processo de cura do tabaco, independente da forma de biomassa utilizada, dura em média 7 dias em contém as seguintes etapas: amarelamento, murchamento, fixação da cor, secagem da lâmina e secagem do talo.

A Densidade Energética (DE) foi utilizada para comparar a lenha, serragem e os pellets, pois ela revela a quantidade de energia por unidade de volume de um combustível, considerando a umidade e PCU (Poder Calorífico Útil) ou PCL (Poder Calorífico Líquido).

A Tabela 6 apresenta os parâmetros base para o cálculo da DE da serragem coletada na BHRP (SerragemBHRP) e os valores publicados por Garcia et al. (2013) para pellets de madeira de *Eucalyptus* sp.

Tabela 6 - Densidade energética de diferentes tipos de biomassa florestal.

Propriedade	PCS (MJ.kg ⁻¹)	PCU MJ.(kg ⁻¹)	Densidade kg.(m ³) ⁻¹	Teor de umidade (%)	DE GJ. (m ³) ⁻¹
Pellets ¹	19,98	18,13	638,00	6,76	11,57
SerragemBHRP ^{2,3}	19,49	11,40	175,50	32,62	2,00

1. Fonte: Garcia et al.. (2013); 2. Fonte: autor; 3. Fator de conversão kcal para MJ: 0,0041868.

O rendimento energético dos pellets é 5,78 vezes maior do que a serragemBHRP. A variação no PCU das fontes de energia térmica apresentadas na Tabela 6 se dá pela diferença no teor de umidade e no PCS de cada fonte.

O consumo de serragem na cura do tabaco em unidades de cura de ar forçado é estimado em 12,00 m³.t⁻¹ de tabaco seco (FARIAS, 2014). Com base na diferença da DE entre a serragemBHRP e o pellet, pode-se afirmar que com a utilização de pellets é possível fazer a cura consumindo 2,08 m³.t⁻¹ de tabaco seco.

Portanto, o processo de densificação e a redução da umidade da biomassa envolvido na produção de pellets proporciona uma redução de 82,66% no consumo de biomassa na cura do tabaco, em comparação com o uso da serragemBHRP.

Moreira et al. (2012) avaliou a DE da lenha de sete espécies florestais mais utilizadas como fonte de energia térmica no Paraná. A Figura 13 apresenta a variação da DE de acordo com o teor de umidade da lenha para cada espécie.

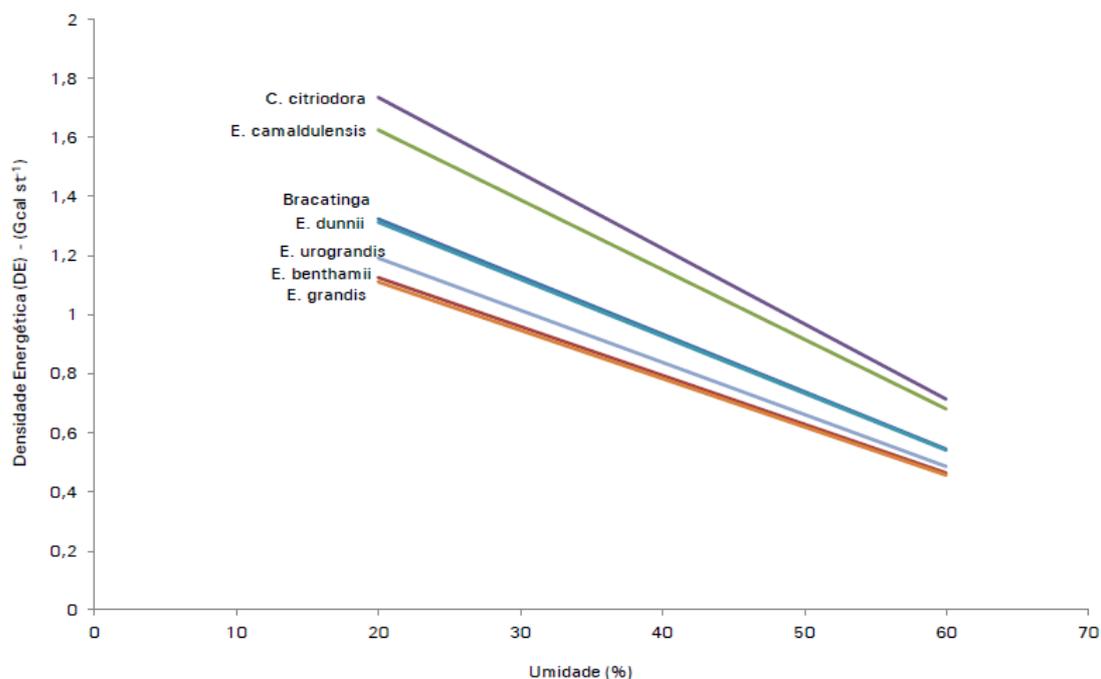


Figura 13 - Análise de sensibilidade da densidade energética da lenha de 7 espécies florestais entre teores de umidade de 20% a 60%.

Fonte: (Moreira, et al. 2012).

Na Figura 13, pode-se observar a influência da umidade na DE da lenha, quanto maior a umidade, menor a DE. A Tabela 7 apresenta a DE e demais parâmetros relacionados de acordo com os dados publicados por Moreira et al. (2012) na avaliação da lenha de sete diferentes espécies florestais.

Para efetuar a comparação da DE da lenha com as demais biomassas energéticas citadas estabeleceu-se uma umidade média de 35% para a lenha, o valor da DE em Gigacaloria (Gcal) foi multiplicado por 4,1868, para ser apresentado em Gigajoule (GJ) facilitando a comparação com os pellets (TABELA 7).

Tabela 7 - Densidade energética da lenha de diferentes espécies florestais.

Espécie Florestal	Umidade (%)	PCU kcal.(kg ⁻¹)	Densidade kg.(m ³) ⁻¹	DE Gcal.(m ³) ⁻¹	DE ¹ Gcal.(m st) ⁻¹	DE GJ.(m ³) ⁻¹
<i>E. benthamii</i>	35	2.622 ³	477 ³	1,25	0,87	5,24
<i>E. camaldulensis</i>	35	2.885 ³	630 ³	1,82	1,27	7,61
<i>C. citriodora</i>	35	2.646 ³	730 ³	1,93	1,35	8,09
<i>E. dunnii</i>	35	2.655 ³	550 ³	1,46	1,02	6,11
<i>E. grandis</i>	35	2.602 ³	475 ³	1,24	0,86	5,17
<i>E. urograndis</i>	35	2.519 ³	526 ³	1,33	0,93	5,55
<i>Mimosa scabrella</i> ²	35	2.634 ³	560 ³	1,48	1,03	6,18
Médias	35	2.652	564	1,50	1,05	6,28

1. o fator de empilhamento 1,43; 2. Bracatinga. 3. Fonte: Moreira et al. (2012).

Na Tabela 7, se pode observar que a densidade energética revela-se maior para as espécies mais densas e com maior PCU. Como a umidade foi mantida igual para todas as espécies, a diferença do PCU se dá pela variação do PCS de cada espécie. Para a comparação da lenha com os pellets elaborou-se a Tabela 8, que resume os dados apresentados até o momento.

Tabela 8 - Comparação entre a lenha e o pellet na cura do tabaco.

Biomassa	PCU MJ.(kg ⁻¹)	Densidade (kg.(m ³) ⁻¹)	Teor de umidade (%)	DE (GJ.(m ³) ⁻¹)	Consumo (m ³ .t ⁻¹ tabaco seco)
Lenha	11,13 ²	564,00 ²	35,00	6,28	5,00 ¹
Pellets	18,13 ³	638,00 ³	6,76 ²	11,57	2,72

1. Fonte: Farias (2014). 2. Fonte: Moreira et al. (2012); 3. Fonte: Garcia et al. (2013).

Os pellets apresentam uma DE 1,84 vezes maior do que DE da lenha, que resulta no consumo de 2,72 m³.t⁻¹ tabaco seco (Tabela 8). Logo, obtêm-se uma redução de 45,60% no consumo de biomassa na cura do tabaco com pellets.

O montante anual de pellets a ser produzido na BHRP foi estimado em 11.733,12 t.ano⁻¹, portanto, os dados da Tabela 9 demonstram o montante de tabaco que poderá ser curado com pellets fundamentado na diferença de DE da lenha e do pellet.

Tabela 9 - Consumo de pellets na cura do tabaco na BHRP.

Dado	Valor	Fonte
Produção de pellets (t.ano ⁻¹)	11.733,12	Autor
Densidade dos pellets (kg.(m ³) ⁻¹)	638,00	Garcia et al. (2013)
Produção de pellets (m ³ .ano ⁻¹)	18.390,47	Autor
Número de famílias (n)	22.840,00	Afubra (2013)
Produção de tabaco (t.família ⁻¹)	4,46	Afubra (2013)
Consumo de pellets (m ³ .t ⁻¹)	2,72	Autor
Consumo de lenha (m ³ .t ⁻¹)	5,00	Farias (2013)
Número de famílias que poderiam utilizar pellets (n)	1.515,96	Autor

Do total de famílias fumicultoras da BHRP, 6,64% poderiam ter a produção curada com pellets. Estima-se que sejam consumidos anualmente 0,51 milhões de metros cúbicos de lenha pela fumicultura na Bacía, portanto, a economia de lenha pelo uso de pellets é de 33,8 mil m³.ano⁻¹.

O uso de pellets também pode contribuir para a diminuição da compra de lenha, especialmente em áreas fora dos municípios da BHRP. Farias (2010) constatou que 2/3 da lenha utilizada na cura tem de ser comprada pelos fumicultores e que 61,4% da lenha comprada tem origem nos municípios fora da Bacía. O montante de pellets produzido anualmente pode reduzir em 16,19% o déficit de lenha comprada fora da região.

Além disso, as florestas de *Eucalyptus* sp., que antes eram destinadas a lenha na região, poderão ser conduzidas para produção de toras agregando valor ao reflorestamento.

De acordo com Farias (2010), as serrarias da região localizam-se principalmente no meio rural e representam o elemento mais importante da cadeia produtiva florestal para a inserção dos pequenos produtores rurais, uma vez que a matéria-prima das serrarias são peças de dimensões elevadas, conseqüentemente, possibilitam uma remuneração melhor do que a produção de lenha ou biomassa para as empresas de placas e celulose. O autor também constatou que 36,1% do volume processado pelas serrarias tem origem em municípios fora da Bacía.

Cabe salientar, que a lenha comprada na região já tem um mercado esturrado e tradicional, além disso, a lenha ganha competitividade por que recebe menor ou nenhuma carga tributária, ao contrário do pellet que tem sua produção e comercialização taxados por impostos estaduais e federais.

4.2.3 Aspectos ambientais

O processo de queima da serragem é considerado carbono neutro, quando se trata de emissões de CO₂, uma vez que, as árvores absorvem e fixam o CO₂ da atmosfera e quando utilizadas como fonte energética devolverão o CO₂ capturado durante o seu desenvolvimento.

Hansen et al. (2010), em uma discussão quanto a eficiência de fontes de energia no Reino Unido, destaca que além da quantidade de energia presente em cada fonte energética, deve-se observar as emissões e a operação eficiente nas caldeiras e queimadores. As características do biocombustível sólido devem ser consideradas, pois podem causar efeitos múltiplos em relação ao uso térmico.

Segundo Middleton (2014), a utilização de produtos originados do aproveitamento de resíduos de madeira para fins energéticos tem um impacto ambiental reduzido, pois o ciclo do carbono é fechado com uma menor devolução para a atmosfera. Além disso, a biomassa florestal pode ser considerada “estoque de carbono de vida curta”. A utilização desse tipo de biomassa em substituição aos combustíveis fósseis possibilita o armazenamento em longo prazo de carbono no solo.

O uso da serragem para a produção de pellets na BHRP proporcionará uma mudança no patamar atual de emissões de GEEs na região. Uma vez que, a serragem, por não possuir uma destinação correta nas serrarias, acaba sendo estocada fora da estrutura destinada para esse fim, ficando acumulada ao ar livre e configurando passivo ambiental. Segundo Middleton (2014), a emissão de gases oriunda da decomposição natural da madeira pode gerar uma emissão de GEEs maior do que a queima dessa biomassa.

A permanência a céu aberto de resíduos como serragem, cavacos de madeira e casca geram poluentes denominados COV's (Compostos Orgânicos Voláteis) (FOELKEL, 2013). Durante o estoque de resíduos úmidos, várias partículas fúngicas são liberadas e podem causar problemas de saúde às pessoas em contato com o ar poluído (GRANSTRÖM, 2005).

PCFplus (2002) desenvolveu um modelo matemático que estima a emissão de metano em estoques de resíduos de madeira (serragem e casca) a céu aberto em duas áreas na Bulgária. A variável dependente foi a quantidade de gás metano emitida e as variáveis independentes o volume de resíduos estocado, o teor de carbono, a constante de decomposição, teor de hemicelulose, fator de geração de metano, fator de oxidação do

metano e a fração de metano emitida pelo aterro. O estudo concluiu que uma tonelada de resíduos de madeira pode gerar em média 1,04 m³ de metano por mês no primeiro ano.

Com base no estudo da PCFplus (2002), chega-se ao montante de 1.524,87 m³ de metano gerados mensalmente pelo acúmulo de 1.466,22 toneladas de serragem geradas mensalmente nas 107 serrarias presentes na BHRP. Cabe salientar que esse montante pode variar com a temperatura média da região e tende a ser maior em países com máximas elevadas, como o Brasil.

A emissão de metano inicia assim que o resíduo é depositado ao ar livre. A digestão anaeróbica presente no processo de decomposição de resíduos é a principal responsável pela emissão de gases como CO₂ e metano (PCFplus, 2002).

Além disso, o uso de madeira com umidade elevada resulta em temperaturas de combustão baixas, que levam à baixa eficiência energética e altas emissões de hidrocarbonetos e de partículas. Se os biocombustíveis são secos e comprimidos, sendo transformados em pellets ou briquetes haverá redução na umidade e aumento da densidade, logo, menores também serão as emissões relacionadas a queima e ao transporte do material (GRANSTRÖM, 2005).

Quanto às emissões relevantes na combustão de diferentes formas de combustíveis de madeira em pequena escala, pode-se mencionar, principalmente, os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x), o ácido clorídrico (HCl), as dibenzodioxinas policloradas (PCCD) e as cinzas em suspensão (HANSEN et al., 2010).

Segundo Oliveira (2012), as emissões de NO_x, SO_x e compostos orgânicos voláteis provenientes do uso de pellets são menores em comparação com as outras formas de aquecimento e energia, pois a combustão é muito mais eficiente e libera menos fumaça do que a lenha, por exemplo, isso devido ao baixo teor de umidade dos pellets, resultado do tratamento industrial da peletizadora.

No entanto, como todo processo industrial, a produção de pellets também gera GEEs. De acordo com um estudo desenvolvido por Raymer (2006), na Noruega, a produção de uma tonelada de pellets gera um total de 30,00 kg de CO₂eq. Considerando a geração da matéria prima nas serrarias, a secagem e o processo de peletização.

Já, Pa (2010), em um estudo desenvolvido no Canadá, estimou as emissões em 30,12 kg de CO₂eq, considerando a geração do resíduo na serraria, e a produção de uma tonelada de pellets.

Aglomerados de madeira, como pellets e briquetes, apresentam maior potencial de evitar emissões de GEEs, especialmente por concentrarem mais energia por unidade

de volume do que as demais formas de biomassa, como a serragem e a lenha (RAYMER, 2006). A Tabela 10 apresenta os resultados publicados pelo autor que comparou a geração de GEEs pela lenha e pellets utilizados como fonte de energia térmica.

Tabela 10 - Geração de GEEs na produção e combustão de uma tonelada de lenha e pellets.

Biocombustível (1 tonelada)	Produção ³	Combustão	Total	Uso
	CO ₂ eq (kg)			
Lenha ^{1,2}	13,79	56,32	70,11	Aquecimento residencial
Pellet	30,00	22,00	52,00	Aquecimento residencial

1. Madeira com densidade em base úmida de 800 kg/ m³, de folhosas do gênero Betulaceae (semelhante a família Fagaceae). 2. Aplicado o fator de 0,87 para conversão de m³ de lenha para t. 3. Contabilizando as emissões da produção da serragem, e do processo de produção na planta, ou no campo no caso da lenha, sem considerar o transporte. Fonte: Raymer (2006).

Fundamentado nos dados apresentados na Tabela 10, pode-se afirmar que 18,11 kg de CO₂eq deixa de ser emitida a cada tonelada de pellets utilizada em substituição a lenha. Considerando que a produção anual de pellets (11.733,12 t) seja destinada a cura do tabaco, o montante total de CO₂eq evitado pode ser estimado em 212,50 mil kg anualmente. No entanto, a diferença das emissões pode variar dependendo das características da fornalha, tendendo a diminuir em fornalhas rudimentares e aumentar com as tecnologias inseridas e com fornalhas mais eficientes.

A emissões originadas na queima da biomassa são compensadas pelo carbono absorvido durante o crescimento da árvore. Então, pode-se deduzir que a diferença na geração de CO₂ gerada pelo uso dos pellets de madeira em detrimento a lenha gera créditos de carbono.

De acordo com Wells (1985 apud *Australian Greenhouse Office*, 2003) são emitidos 0,44 t.ha⁻¹ de CO₂eq para estabelecer um plantio de espécies florestais comerciais, como o eucalipto. Nesse montante estão computados o preparo do solo, plantio e a produção de mudas em viveiro.

A *Australian Greenhouse Office* (2003) estima que na colheita e transporte da lenha, a uma distância de até 400 km, as emissões de CO₂eq totais cheguem a 50,3 kg.t⁻¹ de lenha ou variando de 25,8 a 36,6 t.ha⁻¹ de CO₂eq dependendo da densidade da madeira e produção por hectare.

Segundo Pa (2010), com o uso de pellets pode-se chegar a uma redução de 38% nas emissões de CO₂, sobretudo pelo fato de que os pellets possuem maior eficiência na combustão, pois mesmo havendo um aumento de emissões de gases resultante do processo de produção de pellets, em comparação com a necessidade de apenas cortar lenha, a combustão do pellet revela-se substancialmente menos geradora de GEEs em comparação com a combustão de lenha, isso se reflete na redução de emissões de GEEs.

O uso de diferentes formas da biomassa florestal como fonte de energia, quando comparado com as fontes usuais, tais como, a eletricidade e combustíveis fósseis, demonstram maior importância. Segundo Chen (2009), a difusão do uso de biocombustíveis como substitutos aos combustíveis fósseis possui efeitos de longo prazo na diminuição da emissão de GEEs.

Raymer (2006) afirma que para cada metro cúbico de biomassa florestal utilizada como fonte de energia, o montante de emissões de CO₂eq. evitados varia entre 0,21 a 0,64 toneladas dependendo da fonte de energia substituída.

Com o uso dos pellets na cura do tabaco, as florestas presentes nas propriedades rurais poderão ser conduzidas para suprir a demanda de madeira das serrarias da BHRP. Portanto, maior quantidade de CO₂ pode ser acumulada, pelo aumento da rotação e também pela imobilização do carbono no uso da madeira em móveis, tábuas e demais produtos madeiráveis.

4.2.4 Aspectos sociais

O potencial brasileiro para a produção de pellets está ratificado por vários estudos. No entanto, observa-se que o mercado alvo nas discussões e estimativas é a exportação, alicerçado na importância do produto nos países do hemisfério norte e o mercado consolidado nesses países.

No entanto, o Brasil também possui demanda por alternativas energéticas renováveis. Há a necessidade de difundir e incentivar o uso dessas alternativas como fonte de energia térmica em substituição a lenha para cura do tabaco.

A lenha é a principal fonte de energia térmica na BHRP, a inserção de uma mudança no método tradicional de cura das folhas de tabaco pode sofrer resistência,

principalmente pelos aspectos culturais e pela imagem de abundância e facilidade de obtenção de lenha em relação a qualquer outro combustível. A demonstração do uso dos pellets, ou a construção de unidades de referência são as melhores formas de difundir esse combustível e essa tecnologia.

O fomento ao reflorestamento e a exigência ao uso exclusivo de lenha reflorestada e legalizada na cura do tabaco já é praticada pelas indústrias do tabaco da BHRP. O apoio ao uso dos pellets elevará o nível de responsabilidade ambiental e social assumido pelo setor.

No âmbito social é fundamental que a geração de emprego e renda seja regionalizada e que haja a busca pela autossuficiência dos insumos necessários para a produção de bens e serviços. Logo, faz-se necessário que o máximo de recursos seja originado localmente alimentando a economia regional e gerando empregos e melhoria na qualidade de vida da população.

Além de cumprir os requisitos demandados no âmbito ambiental e econômico, qualquer proposta de desenvolvimento sustentável deve considerar os impactos na comunidade. Para Nascimento (2012), uma sociedade sustentável supõe que todos os cidadãos tenham o mínimo necessário para uma vida digna e que ninguém absorva bens, recursos naturais e energéticos que sejam prejudiciais a outros.

Portanto, não basta incentivar unicamente iniciativas de grande porte, pois essas geralmente buscam recursos e insumos externamente. Por outro lado, iniciativas regionalizadas tendem a ser mais efetivas na demanda social, porque, além de direcionar a produção de um bem ou serviço a partir da disponibilidade local de insumos, também estimula o comércio, fazendo com que o capital circule regionalmente.

A produção de pellets a partir de resíduos florestais na BHRP está apoiada nas características regionais, tendo como suporte insumos e demandas também locais.

Além da geração e circulação de renda, outro aspecto a ser analisado é a qualidade de vida da comunidade. O uso de pellets também contribui na qualidade do ar e conseqüentemente na saúde da população.

Segundo Pa et al. (2013), as emissões de chaminés, não só poluem o meio ambiente, mas também podem ter impactos sérios na saúde da sociedade. Ao avaliar a substituição de lenha por pellets de madeira para aquecimento residencial no Canadá, a autora constatou que a substituição do combustível resultaria na redução de 95% dos impactos na saúde da população envolvida.

Quando o pellet é utilizado em substituição a biomassa tradicional, como a lenha, a estimativa de benefícios relacionados a saúde humana está ligada a menor emissão de gases e partículas. Possíveis adaptações feitas nas fornalhas visando menor geração de gases, cinzas e contato humano também podem contribuir nesse aspecto.

Portanto, além da diminuição da liberação de poluentes do ar, acredita-se que o sistema de alimentação (FIGURA 14 B), necessário para a utilização de pellets no sistema de cura de ar forçado, também pode trazer contribuições à saúde do fumicultor.

O sistema demonstrado na Figura 14 B e B1 evita o contato direto do fumicultor com a fornalha. O abastecimento se dá de forma automatizada, dosada por um controlador que aciona o sistema alimentador de acordo com a temperatura definida no programa de cura.

Na Figura 14 B, pode-se observar que a porta da fornalha permanece fechada e o alimentador, acoplado na lateral da unidade de cura, descarrega os pellets diretamente dentro da fornalha.



Figura 14 - A: unidade de cura de ar forçado alimentada por lenha; A1: fornalha abastecida com lenha; B: unidade de cura de ar forçado com alimentador acoplado; B1: fornalha abastecida com pellets.

Considerando o mesmo nível tecnológico da unidade de cura e do controlador, no uso de lenha faz-se necessária a alimentação manual. O controlador emite um aviso sonoro assim que a temperatura baixar avisando que há a necessidade de abastecer a fornalha.

A atividade de abastecimento exige esforço físico e contato direto do fumicultor com o calor, fuligem, partículas e gases que saem na abertura frontal da fornalha, que pode ser observada na Figura 14 A e A1.

A lenha tradicionalmente utilizada na cura do tabaco apresenta em torno de um metro de comprimento e variações no diâmetro, sendo predominante diâmetros maiores do que 15 cm.

O esforço necessário para o abastecimento da fornalha geralmente exige mão de obra masculina no processo. A dimensão da lenha objetiva principalmente espaçar o intervalo no abastecimento, pois os fumicultores nem sempre conseguem monitorar a fornalha devido a atividade de colheita do tabaco que comumente ocorre de forma simultânea a cura.

5 CONCLUSÃO

O montante de serragem disponível na BHRP foi estimado em 69,82 t.dia⁻¹. A serragem apresentou características adequadas para a peletização, para o PCS e os teores de carbono, hidrogênio, enxofre e cinzas, apenas o teor de nitrogênio revelou-se elevado.

O teor de umidade revelou-se superior ao recomendado, sendo necessária a secagem para diminuir a umidade de 32,62% para 10%, processo usual em plantas peletizadoras.

A produção de pellets a partir da serragem gerada nas serrarias da BHRP revelou-se economicamente viável, apresentando um VPL de R\$ 4,72 milhões e uma TIR de 34,59% a uma TMA de 10,90% a.a. A MC encontrada para o cenário avaliado (11 733,12 t.ano⁻¹) de R\$ 2,66 milhões, o PE(q) 5444,40 t.ano⁻¹, logo com essa produção as receitas se igualam aos custos.

A estrutura de custos da planta distribuiu-se em biomassa (48%), depreciação (22%), energia elétrica (19%), mão de obra (6%) e manutenção (5%). O CMPr foi de R\$ 153,77 t.

A densidade energética dos pellets revelou-se 5,78 vezes maior que a serragem, 3,42 vezes maior que o cavaco e 1,84 vezes maior que a lenha. Na cura do tabaco os pellets proporcionam uma economia de biomassa de 82,66% quando em substituição a serragem e de 45,60% quando substituem a lenha.

O uso de pellets na cura do tabaco pode suprir 16,19% da demanda de lenha comprada fora da Bacia, gerando uma economia de 33,8 mil m³.ano⁻¹ de lenha.

6 CONSIDERAÇÕES

Com relação aos aspectos ambientais pôde-se concluir que os pellets são potencialmente menos poluidores do que a lenha, pois eles são produzidos a partir de resíduos florestais; evitam que o resíduo fique depositado ao ar livre por longos períodos; apresentam uma combustão mais limpa; e, concentram maior energia em menor unidade de volume.

O uso de pellets traz facilidades operacionais no processo de cura e contribui na qualidade do ar proporcionando menores impactos na saúde dos fumicultores. O apoio ao uso dos pellets na cura do tabaco elevará o nível de responsabilidade ambiental e social assumido pelo setor na BHRP.

O montante de serragem disponível representa um fator limitante do volume produzido de pellets nesse estudo. Recomenda-se a condução de estudos complementares que contemplem outros resíduos que poderiam ser utilizados na produção de pellets, tais como, resíduos de colheita florestal, resíduos de cultivos agrícolas, como a casca de arroz e a palha de milho, entre outros, desde que disponíveis dentro da Bacia.

Nesse sentido, também pode-se sugerir experimentos em propriedade de fumicultores comparando pellets, serragem e lenha nos seguintes aspectos: consumo; emissões de GEEs e partículas; operacionalidade do processo; teor de lignina presente nas duas fontes; volume e composição das cinzas geradas.

No decorrer da pesquisa percebeu-se a carência de estudos relacionados as emissões de GEEs tanto pela combustão da biomassa florestal, quanto pela acumulação a céu aberto, logo, acredita-se que essa área de pesquisa mereça maior atenção. A produção de pellets na BHRP revela-se sustentável, porque apresenta ganhos nos aspectos sociais, econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS

ABIB, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE BIOMASSA E ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Industrial WoodPellets**: Plantas Industriais de Wood Pellets em Funcionamento no Brasil. Disponível em: <<http://abibbrasil.wix.com/woodpellets#!industrial/c127y>>. Acesso em: 08 de maio de 2014.

ABIPEL, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE PELLETS. **Produtores de Pellets**: Pellets Map Out 2014. Disponível em: <<http://www.abipel.com.br/Home.aspx>>. Acesso em: 8 de maio de 2014.

ABREU, E. F. Jr.; KÖHLER, A. Mastofauna de médio e grande porte na RPPN da UNISC, RS, Brasil. **Biota Neotrop.**, v. 9, n.4, p. 169-174, 2009.

ABRAF, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília, 2013, 148 p.

AES sul. **Loja Virtual de Serviços**. Disponível em: <https://www.aessul.com.br/areacliente/servicos/?txtBuscaServico=taxas> Acesso em: 07 de agosto de 2014.

AFUBRA, ASSOCIAÇÃO DOS FUMICULTORES DO BRASIL. Contato pessoal com representante da entidade, realizada em 10 de maio de 2013.

ASSIS, A. C. de. Análise econômico-financeira: estudo de caso em uma empresa agropecuária. **Artigo Científico**. Goiás, p. 17, 2010.

AUSTRALIAN GREENHOUS OFFICE. **Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from domestic wood heating**. Austrália, 2003, 25 p.

BALARINE, O. F. O. Desvendado o cálculo da TIR. **R. Adm.** São Paulo, v.38, n.1, p.15-24, jan.- mar. 2003.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Selic**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/?SELICDIARIOS>. Acesso em: 12 de setembro de 2014.

BARROS, G. S. de, C. et al.. **Agronegócio Brasileiro: Perspectivas, desafios e uma agenda para seu desenvolvimento.** Centro de Estudo Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), Piracicaba, 2006, 51 p.

BIZZO, W. A. **Geração, distribuição e utilização de vapor.** Campinas: Unicamp, 2003. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP4.pdf>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2014.

BUDNY. **Alimentador de Serragem.** Disponível em: <http://www.budny.com.br/produtos/setor-fumageiro/alimentador-de-serragem>. Acesso em: 21 de setembro de 2014.

BURDEN, D. **Sawdust profile.** Agricultural Marketing Resource Center (AGMRC), 2012. Disponível em: http://www.agmrc.org/commodities__products/biomass/sawdust-profile/. Acesso em: 20 de agosto de 2014.

Rendimento do processo produtivo e energético da matéria-prima de uma indústria de base florestal. **Dissertação**, Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 180p, 2000.

BRAND, M, A. **Energia de Biomassa Florestal.** São Paulo: Interciência, 131 p. 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira: exercício de 2013.** Brasília, jun. 2014. 28 p.

_____. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional: ano base 2012.** Brasília: 2013. 284 p.

_____. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Programa 2029 - Desenvolvimento Regional, Territorial Sustentável e Economia Solidária.** Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/2029-desenvolvimento-regional-territorial-sustentavel-e-economia-solidaria>. Acesso em: 21 de setembro de 2014.

_____. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Política Nacional de Desenvolvimento Regional.** Brasília, 2005, 56p.

BRITO, P. **Análise e viabilidade de projetos de investimentos.** São Paulo: Atlas, 2006, 104 p.

CARASCHI, J. C.; GARCIA, D. P.; VENTORIM, G. Caracterização física e química dos pellets de madeira produzidos no Brasil. **In.:** XIII EBRAMEN. Vitória, 2012.

COMITÊ PARDO. **A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo**. Disponível em: http://www.comitepardo.com.br/Bacia_riopardo.htm. Acesso em: 02 de maio de 2014.

CORDEIRO, S. A., et al.. Contribuição do Fomento do Órgão Florestal de Minas Gerais na Lucratividade e na Redução de Riscos para Produtores Rurais. **R. Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.367-376, 2010.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008, 29 p.

COUTO, L., et al.. Produção de pellets de madeira-o caso de Bio Energy no Espírito Santo. **Biomassa & Energia** V1, N1, p 45-52. 2004.

COUTO, G. A. do. Utilização da serragem de *Eucalyptus* sp. na preparação de carvões ativados. **Dissertação**, Mestrado pela Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Lavras, 2009, 89p.

CHEN, S. Life Cycle Assessment of Wood Pellet. **Dissertação**, Mestrado pela Chalmers University of Technology, Göteborg, Suíça, 2009, 82p.

DIAS, I. P. Algumas Observações sobre a Margem de Contribuição. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, ano 32, v. 3, jul./ago. p. 36-45, 1992.

DUTRA, R.; NASCIMENTO, S. **Resíduos da indústria madeireira**. Monografia da Universidade do Estado do Pará. 2005.

ETGES, V. O impacto da cultura do tabaco no ecossistema e na saúde humana. **Textual**, Porto Alegre, v.1 n.1, p. 14-21, nov. 2002.

EUROPEAN ENERGY INNOVATION. **Wood pellets a booming sector that is cost-effective, environmentally friendly and comfortable**. Informativo sazonal da European Energy Innovation, 2014, 2 p.

FARIAS, J. A, de (Coord.). Estudo da Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental do Aproveitamento de Resíduos de Biomassa Florestal na Cura do Tabaco. **Relatório de Pesquisa**. Universidade Federal de Santa Maria, 2014, 46 p.

_____. (Coord.). Rastreabilidade do Componente Florestal na Cultura do Tabaco. **Relatório de Pesquisa**. Universidade Federal de Santa Maria, 2013, 32 p.

_____. Atividade Florestal no Contexto da Fumicultura: Oportunidade de Desenvolvimento Regional, Diversificação, Geração de Emprego e Renda. **Tese**, Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 168 p., 2010.

FOELKEL, C. Utilização dos Conceitos da Eco eficiência na Gestão das Emissões atmosféricas do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**. cap. 22 152 p. 2013.

FONSECA, L.S.C.; VIEIRA, G.E.G. Agricultura familiar e a produção de biocombustíveis: nova perspectiva sustentável para o setor rural. **Biomassa & Energia**, v. 4, n. 2, p. 131-140, 2011.

FREY, M. R.; WITTMANN, M. L. Práticas de fomento florestal e incentivo à preservação das matas nativas na fumicultura. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 12, n. 3, p. 99-117, set./dez. 2007.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**. n. 135, maio, 2013.

_____. As indústrias de pellets no Brasil. **Revista da Madeira**. n. 133, dez. 2012.

_____. Caracterização Química, Física e Térmica de Pellets de Madeira Produzidos no Brasil. **Dissertação**, Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010, 101 p.

_____. Pellets de Madeira. Disponível em: pelletsdemadeira.blogspot.com. Acesso em: 09 de dezembro de 2014.

GONSALVES, A. F. A Colheita Florestal do Século XXI “Foco nas novas estruturas e tecnologias aplicadas à colheita mecanizada de corte raso de eucalipto. **Monografia**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008, 43p.

GRANSTRÖM, K. Emissions of volatile organic compounds from wood. **Dissertação** Mestrado pela Karlstad University Studies, 2005, 56 p.

HANSEN, M. T., et al.. **English Handbook for Wood Pellet Combustion**. Pellets Atlas, National Energy Foundation, 2010.

HELPER, F. Demandas e disponibilidades hídricas da Bacia hidrográfica do rio Pardo (RS) nos cenários atual e futuro para diferentes sistemas de produção de arroz irrigado. **Dissertação**, Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006, 2036 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Lavoura Permanente - 2012** - Rio Grande do Sul. Brasília: IBGE, 2012. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=43&search=rio-grande-do-sul>. Acesso em: 08 de maio de 2014.

_____, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População recenseada e estimada, segundo os municípios** – Rio Grande do Sul. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=43&search=rio-grande-do-sul>. Acesso em: 02 de maio de 2014.

_____, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal Digital - 2010** – Rio Grande do Sul. Brasília: IBGE, 2010a. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2010/. Acesso em: 02 de maio de 2014.

INEE. Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Uma Política para a Bioenergia da Madeira**. 2010, 20p.

IPEA, INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnostico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvicultural e Agroindústrias Associadas**. Brasília, 2012, 129 p.

JONES, D.; HARPER, D.; TAYLOR, A. **Wood Pellets an Introduction to their Production and Use**. Disponível em: <http://msucare.com/pubs/publications/e0021.pdf> Acesso em: 17 de agosto de 2014.

LEITE, A. C. G. M. A Sustentabilidade Empresarial, Social e as Fontes de Energias **In**: Boletim de Inovação e Sustentabilidade. 2013. 656 p.

LEVEROOS, M. K.; SULLIVAN, J.; EVANS, D. M. **Economic Viability of Woody Bioenergy Crops as a Potential Mine Reclamation Procedure**. Powell River Project Report, 2012, 14 p.

LIMA, E. A. de; ABDALA, E. M.; WENZEL, A. A. Influência da Umidade no Poder Calorífico Superior da Madeira. **Comunicado Técnico**, Embrapa: Colombo, dez. 2008.

LIPPEL. Contato pessoal com o setor de assistência técnica e orçamentos em 02 de maio de 2014.

MARCUZZO, S.; PAGEL, S. M.; CHIAPPETTI, M. I. S. **A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul** - Situação atual, ações e perspectivas. Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. São Paulo, Cetesb, 1998, 32p.

MIDDLETON, D. **Hardwood vs. Softwood**. Cypress Pacific Marketing, Arizona, Estados Unidos, 2014, 11p.

MOREIRA, J.M. M. A. P.; LIMA, E. A. de; GOULART, I. C. G. dos, R. Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. **Informativo Técnico Embrapa**, Colombo, 1 ed., jun. 2012.

MÜLLER, M.D., et al.. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 3, p. 177-186, 2005.

NASCIMENTO, E. P. do. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudados Avançados**. São Paulo, vol.26, no.74, 2012.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2º ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 200 p.

OLIVEIRA, C.M. de. **Wood Pellets Brasil**. Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia, 2012, 53p.

PA, A. A.; BI, X. T.; SOKHANSANJ, S. Evaluation of wood pellet application for residential heating in British Columbia based on a streamlined life cycle analysis **Biomass & Bioenergy**, ed. 49, fev., p. 109- 122, 2013.

PA, A. A. Development of British Columbia Wood Pellet Life Cycle Inventory and its Utilization in the Evaluation of Domestic Pellet Applications. **Dissertação**. Mestrado, Faculty of Graduate Studies, University of British Columbia, 2010, 129 p.

PADILHA, J.L., et al.. Potencial de geração de energia elétrica no estado do Pará, utilizando a biomassa do setor madeireiro. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 4, p. 267-284, 2005.

PEREIRA, J.C.D., et al.. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p.

PINHEIRO, G. et al.. Sustainable management model for rural electrification: Case study based on biomass solid waste considering the Brazilian regulation policy. **Renewable Energy**. n.37, p. 379-386, 2012.

PCFPLUS, PCF*plus* Research. **Methane and nitrous oxide emissions from biomass waste stockpiles**. Washington, 2002, 94 p.

PÖYRY, PÖYRY MANAGEMENT CONSULTING. **Global Wool Pellet Industry 21**. 2011, 190 p.

QUIRINO, W. F., et al.. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, Brasília, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

RASGA, R. O. S. Pellets de madeira e sua viabilidade econômico-financeira na substituição do óleo BPF-A1 em pequenos e médios consumidores no Estado de São Paulo. **Dissertação**, Mestrado em Agroenergia, Fundação Getúlio Vargas: São Paulo. 2013, 165 p.

RAYMER, A. K. P. A comparison of avoided greenhouse gas emissions when using different kinds of wood energy. **Biomass & Bioenergy**, ed. 30, p. 605-617, 2006.

RECEITA FEDERAL. **Instrução Normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998**. Disponível em:
<http://www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/ins/ant2001/1998/in16298ane1.htm>.
Acesso em: 27 de outubro de 2014.

REDIN, E. A Fumicultura e Agricultura Familiar: o Caso de Jaguari/RS. **Sociais e Humanas**, SANTA MARIA, v. 23, n. 02, p. 99-116, 2010.

REIS, A. J. dos; GUIMARÃES, J. M. P. Custo de Produção na Agricultura. **Inf. Agropec.**, Belo Horizonte, v. 12 nov., p.15-22, 1986.

REN 21, RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewables 2013 Global Status Report**, 2013, 178p.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 389 p

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Relatório Cadastral**. 2013, Porto Alegre, julho, 2013.

_____. SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Etapa A - Diagnóstico dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pardo**. Porto Alegre, março, 2005. 255p.

ROSILLO-CALLE, F., et al.. **The Biomass Assessment Handbook: Bioenergy for a sustainable environment**, London: Earthscan, 2007, 276 p.

ROSSATO, M. S. Climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências, Tipologia. **Tese**, Doutorado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-graduação em Geografia. Porto Alegre, 2011, 253 p.

SANDER, R. Viabilidade de implantação de unidade produtora de pellets no Extremo Sul da Bahia. **Dissertação**, Mestrado em Gestão Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011, 38 p.

SELIC. Consulta a taxa Selic. Disponível em:
<http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp>. Acesso em: 21 de setembro de 2014.

SERRANO, D. M. C. Avaliação do Potencial de Produção e Exportação de Pellets Combustível no Polo Florestal da Região Sul do Brasil, **Dissertação**, Mestrado, Campinas, 104p. 2009.

SIKKA, M.; THORNTON, T. F. **Sustainable wood-biomass energy systems: climate and development solutions for forest communities**. The University of Oxford, dez. 2012.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. L. **Economia florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002.178p.

SILVA, M. L. da; et al.. Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **Rev. Árvore**, Viçosa, vol.31 no, nov. - dec. 2007.

SILVA, M. L. da; FONTES, A. A. Discussão Sobre os Critérios de Avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) E Valor Esperado Da Terra (VET). **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.931-936, 2005.

SILVEIRA, R. L. L. da. Rede Agroindustrial do Tabaco e Território: Mudanças na Dinâmica Espacial Urbana e Regional do Vale do Rio Pardo – RS. **Anais... XIV Encontro Nacional da Anpur**. Rio de Janeiro, 2011.

SINDITABACO. **Trabalho no Sul do Brasil**: tradição e renda. Relatório Institucional Sinditabaco. 2014, 15p.

SINDUSCON-RS. **Evolução do CUB versão/2006** (NBR 12.721/2006). Disponível em: <http://www.sinduscon-rs.com.br/wp-content/uploads/2014/09/valores.pdf>. Acesso em: 27 de outubro de 2014.

SBS, SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e Números do Brasil Florestal**. São Paulo, dez. 2008, 92 p.

TAYLOR, E. R., et al.. Global Wood Pellet Outlook. **Wood Markets**. Vancouver, v. 17, n. 9, nov. 2012.

THEK, G.; OBERNBERGER, I. Wood pellets production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions. **Biomass & Bioenergy**, Graz, Austria, n.27, 671–693, jul. 2003.

VIDAL, A. C. FOSTER; HORA, A. B. da. **Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia**. BNDES Setorial 33, p.261-314, 2014.

APÊNDICES

Apêndice A - Base de dados para a avaliação financeira de uma planta de produção de pellets na BHRP – RS.

Categoria	Item	Modo/tipo	Preço/valor	Unidade	Manutenção	Fonte
Planta peletizadora	Equipamentos e utensílios (impostos, serviços e treinamentos inclusos)	Recepção e classificação; armazenagem da matéria prima; secagem; classificação dos finos; moagem; armazenagem; peletização; resfriamento; classificação dos pellets; reaproveitamento dos finos; armazenamento dos pellets.	4.000.000,00	R\$	2%	Lippel (2014)
	Edificação de alvenaria	Custo do CUB (GI - Galpão Industrial) projetado para agosto de 2014.	619,68	R\$	na	SINDUSCON - RS (2014); (NBR 12.721/2006).
		Custo do metro quadrado do terreno	130,00	R\$	na	Pesquisa de mercado
		Área externa não construída	500,00	m ²	na	Lippel (2014)
	Área total construída (estrutura de fábrica, armazém de biomassa e pellets e adm.)	1.700,00	m ²	1%	Lippel (2014)	
Custos de operação e matéria prima	Biomassa	Cavacos (combustível para a secagem)	40,00	R\$. (m ³) ⁻¹ posto	na	Pesquisa de mercado
		Serragem (matéria prima para os pellets)	50,00	R\$. t ⁻¹ posto	na	Pesquisa de mercado
	Tarifa de energia	Tarifário industrial sem ICMS	0,34	R\$. kWh ⁻¹	na	AES sul (2014)
	Administração e serviços gerais	Um funcionário em regime CLT com salário de R\$2500 mês e 1 funcionário com salário de R\$750 por mês	73.937,50	R\$. ano ⁻¹	na	Estimativa
	Operação de maquinário	1 funcionário com salário de R\$ 1500 mês e regime CLT	34.125,00	R\$. ano ⁻¹	na	Estimativa
Parâmetros técnicos	Biomassa na cura	Consumo de cavacos	2,50	m ³ .h ⁻¹	na	Lippel (2014)
		Consumo de serragem	0,65	t.h ⁻¹	na	Lippel (2014)
	Operação da planta	Horas trabalhadas	2016,00	h.ano ⁻¹	na	8 horas por dia, 252 dias por ano
	Consumo de energia	Energia elétrica	85,71	kW.t ⁻¹	na	Serrano (2009)
	Produção	Volume de biomassa seca (10% umidade)	6,00	t.hora ⁻¹	na	Lippel (2014)
Capacidade da planta	Produção considerando 3% de perdas	11.733,12	t.ano ⁻¹	na	Lippel (2014) e Serrano (2009)	
Venda	Preço do pellet	Granel no pátio da fábrica	333,19	R\$.t ⁻¹	na	Rasga (2013) acrescido de 30%
Outros parâmetros	Depreciação	Edificações	2,50	%	na	Refeita Federal (2014)
		Máquinas	10,00	%	na	Refeita Federal (2014)
	Taxa de Juros	Taxa Selic em 12 de setembro de 2014	10,90	%	na	Banco Central do Brasil (2014)

