UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

JAVIER FARAGO ESCOBAR

A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIOMASSA FLORESTAL PARA ENERGIA NO BRASIL: O CASO DOS PELLETS DE MADEIRA.

SÃO PAULO
2016

JAVIER FARAGO ESCOBAR

A PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIOMASSA FLORESTAL PARA ENERGIA NO BRASIL: O CASO DOS PELLETS DE MADEIRA.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: *Prof. Dr.* José Goldemberg

Versão Corrigida

SÃO PAULO
2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Escobar Farago, Javier.

A produção sustentável de biomassa florestal para energia no Brasil: O caso dos pellets de madeira. / Javier Farago Escobar; orientador José Goldemberg – São Paulo, 2016.
122 f.:il.: 30 cm.

Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

5. Biocombustíveis sólidos. 2. Eucalyptus ssp. 3. Pellets de madeira. 4. Sustentabilidade. I. Título.

Nome: ESCOBAR FARAGO, Javier.

Título: A produção sustentável de biomassa florestal para energia no Brasil: O caso dos pellets de madeira.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências.
Orientador: Prof. Dr. José Goldemberg

Aprovado em: 09/12/2016

Banca Examinadora

Prof. Dr.: José Goldemberg — Instituição: PPGE-IEE/USP
Presidente: Aprovado

Profª. Drª.: Suani Teixeira Coelho — Instituição: PPGE-IEE/USP
Julgamento: Aprovado

Dr.: José Dilcio Rocha — Instituição: EMBRAPA, Bioenergia
Julgamento: Aprovado

Prof. Dr.: Carlos Alberto Labate — Instituição: ESALQ/USP
Julgamento: Aprovado

Prof. Dr.: Jivaldo do Rosario Matos — Instituição: IQ/USP
Julgamento: Aprovado

DEDICATÓRIA

A todos aqueles que acreditam que nada é impossível...

AGRADECIMENTOS

A família, minhas irmãs Mariana e Luciana e aos meus pais Neiva e Javier Escobar, pelas sábias tomadas de decisões ao longo da vida e pelos valores induzidos que forjaram o meu caráter, que no geral, foi à base de tudo isso.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Goldemberg, pela confiança e permanente colaboração.

A professora Suani T. Coelho e a todos os colegas do (Cenbio) – Centro Nacional de Referência em Biomassa, atual (Gbio) – Grupo de Pesquisa em Bioenergia.

Aos professores, funcionários e amigos do IEE/USP – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

Aos colegas e amigos externos da instituição que de alguma maneira fizeram parte deste estudo.

Ao PRH-4 da Petrobras pelo financiamento do Doutoramento.

...Vencer pequenas metas
é a chave do presente
que abre portas para o futuro...

Javier Farago Escobar

RESUMO

ESCOBAR, J. F. **A produção sustentável de biomassa florestal para energia no Brasil: O caso dos pellets de madeira**. 2016. 122 p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo - PPGE.

Com os planos de descarbonização de diversos países do mundo, o contínuo crescimento do mercado mundial dos pellets de madeira tende a aumentar, e para atender a demanda será necessário à inclusão de países emergentes dos quais revelam potencial o Brasil, dado que possui grande vocação na produção sustentável de florestas para produção de madeira do gênero Eucalyptus ssp., que apresenta produtividade entre 30% a 50% superior a qualquer pais do mundo, tornando-se a espécie ideal para produção em escala de biomassa para energia. O problema central consiste em viabilizar a produção sustentável de pellets de madeira, que possam atender a demanda nacional e internacional. Contudo este estudo inicialmente identificou a oferta e demanda de madeira para energia por tipo e fonte, posteriormente foram levantados os potenciais produtivos de florestas energéticas de curta rotação, para atender a iminente demanda nacional e internacional de madeira para energia, e finalmente foram detectados os problemas presentes na biomassa sólida vegetal do gênero Eucalyptus ssp., no Brasil. Como resultado este estudo mostra o potencial de produção sustentável de eucalipto de curtas rotação a 150 km dos portos brasileiros para produção e exportação de pellets, como também tem como resultado uma patente de invenção (BR 10 2016 023862 5) que resulta na extração a níveis aceitáveis pelas normas ENplus e semelhantes das emissões de cloro da madeira, e de metais alcalinos, fator limitante para o uso da biomassa na produção de pellets combustível. Evitando assim a formação de dioxinas, e organoclorados que prejudicam a saúde humana e propiciando também redução da formação de cinzas, diminuindo a corrosão dos equipamentos de combustão para produção de energia através de biocombustíveis sólidos.

Palavras-chaves: biocombustíveis sólidos, *Eucalyptus ssp*., pellets de madeira, sustentabilidade.

ABSTRACT

ESCOBAR, J. F**. Sustainable wood production for energy in Brazil. The case of wood pellets**. 2016. 122 p. Doctoral Thesis - Graduate Program in Energy at the University of São Paulo - PPGE.

The decarbonization plans worldwide, the world market of wood pellets tends to increase, and to meet the world demand it will be necessary to include emerging countries which show potential such as Brazil, as it has a great vocation in sustainable production of Eucalyptus wood and has higher productivity than any other country in the world, it is the ideal forest species for wood pellets production for energy in Brazil. The central problem is to enable the sustainable production, which can meet domestic and international demand of woody biomass for energy. This study initially identified the wood supply and demand for energy by type and source, and it was later raised to the productive potential of energy forests; finally it was detected the problems in solid biomass in Brazil. Results of this study show the sustainable production potential of short rotation Eucalyptus in range of (150 km) of Brazilian ports, aiming to pellets export, as well as this study has resulted in a patent, number: (BR 10 2016 023862 5), resulting in reduced to acceptable levels (ENplus), by the relevant rules of chlorine emissions, thus preventing the formation of dioxins, and allowing removal of alkali metals thereby reducing the formation of ash and decreasing the corrosion of combustion systems for energy production by solid biofuels**.**

Keyword: solid biofuels, *Eucalyptus ssp*., wood pellets, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produtividade das florestas plantadas brasileiras comparada com outros paises.....**26**
Figura 2. Matriz Energética Nacional.....**32**
Figura 3. Potência Instalada no Brasil a partir de Biomassa (MW)..... **33**
Figura 4. Representação da madeira e derivados na oferta interna de energia no Brasil..... **34**
Figura 5. Terras aráveis no Brasil.....**43**
Figura 6: Desflorestamento de (florestas naturais) no Brasil em %.....**45**
Figura 7. Zoneamento Ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais.....**47**
Figura 8. Zoneamento Agroambiental de São Paulo.....**48**
Figura 9. Zoneamento Agroecológico de cana de açúcar para o Brasil..... **49**
Figura 10. Zoneamento Agroecológico do dendê para as áreas desmatadas da Amazônia Legal.....**50**
Figura 11. Cenários de produção mundial de pellets de madeira (2000/2020)..... **56**
Figura 12: Instalações da termoelétrica Drax no Reino Unido..... **58**
Figura 13. Fluxo de pellets de madeira dos provedores atuais e emergentes.....**59**
Figura 14. Mercado global de biomassa lignocelulósica para energia..... **59**
Figura 15: Produção de pellets de madeira por continente (2010/2015/2020).....**60**
Figura 16: Consumo de pellets de madeira por continente (2010/2015/2020).....**60**
Figura 17: Projeção da produção mundial de pellets por região (2010/2015/2020).....**61**
Figura 18. Projeção do consumo mundial de pellets por região (2010/2015/2020).....**62**
Figura 19. Produção e consumo de pellets de madeira na Europa (2008/2020).....**62**
Figura 20. Fabricas de pellets no Brasil.....**66**
Figura 21. Esquema para exemplificar a conformação do espaçamento entre plantas para um plantio tradicional típico para Eucalipto e para o plantio de curta rotação.....**70**
Figura 22. Zonas climáticas.....**75**
Figura 23. Caracterização da biomassa de eucalipto de curta rotação para uso energético **78**
Figura 24. Representação do condicionamento da biomassa e da aplicação do método..... **79**
Figura 25. Representação da eliminação do cloro da biomassa, por teste qualitativo com Ag^+..... **80**
Figura 26. Calculo de calibração para determinação do cloreto presente na madeira.....**81**
Figura 27. Curvas TG/DTG obtidas a 10ºC min^{-1} e sob atmosfera dinâmica de ar da amostra de biomassa original.....**82**
Figura 28. Curvas TG/DTG obtidas a 10ºC min^{-1} e sob atmosfera dinâmica de ar da amostra de biomassa tratada..... **83**
Figura 29. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas a 10ºC min^{-1} e sob atmosfera dinâmica de ar das amostras de biomassa original e tratada.....**84**
Figura 30. Áreas potenciais para produção de pellets a partir de florestas energéticas.....**89**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área de florestas plantadas no Brasil por espécie.....24
Tabela 2. Cenários para 2020 da área total plantada de eucalipto e pinus por região e estado considerando as políticas atuais.....25
Tabela 3. Estimativa de produção de madeira em tora de eucalipto, pinus e outras espécies no Brasil, 2014.....27
Tabela 4. Consumo brasileiro de madeira em tora de florestas plantadas em (Mm^3) por segmento em 2014..... 28
Tabela 5. Consumo brasileiro de madeira em tora de florestas plantadas em (Mt) por segmento em 2014..... 28
Tabela 6. Consumo de lenha entre 2010 e 2015..... 31
Tabela 7. Oferta interna de energia em 2015.....33
Tabela 8. Consumo de madeira para fins energéticos por setor e por fonte no Brasil.....35
Tabela 9. Setores industriais que utilizam madeira para energia.....35
Tabela 10. Estimativa da quantidade de resíduos de madeira gerados no Brasil..... 36
Tabela 11. Operações florestais e geração de resíduos (% da madeira residual).....37
Tabela 12. Potencial técnico de madeira seca residual de florestas plantadas de pinus e eucalipto no Brasil..... 39
Tabela 13. O uso do solo no Brasil..... 42
Tabela 14. Mitos do Eucalipto no Brasil..... 46
Tabela 15. Valor energético e preço por combustível..... 54
Tabela 16. Teor de cinzas cloro e enxofre aceitáveis na norma internacional ENplus para o mercado de bicombustível solido na forma de pellets.....64
Tabela 17. Capacidade instalada e produção de pellets de madeira no Brasil.....65
Tabela 18. Capacidade instalada e produção de pellets de madeira no Brasil 2011 a 2015.....67
Tabela 19. Taxa de produção de floresta de eucalipto com plantio tradicional e de floresta energética de curta rotação para energia.....70
Tabela 20. Teor de cinzas em biomassa sólida vegetal.....71
Tabela 21. Comparação do pellet brasileiro de pinus e eucalipto com as normas internacionais para uso residencial e industrial.....72
Tabela 22. Legenda dos dados de aptidão e uso da atual da terra..... 87
Tabela 23. Potencial disponível para produção de florestas energéticas no Brasil.....90
Tabela 24. Área de potencial para produção de biomassa para pellets de madeira a 150 km do porto.....91
Tabela 25. Área de potencial para produção de biomassa para pellets de madeira a 300 km do porto.....92
Tabela 26. Área de potencial para produção de biomassa para pellets de madeira sem restrições logísticas de acesso ao porto.....92

LISTA DE SIGLAS

a.a	Anual
ARA	Amsterdã – Roterdã – Antuérpia
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CEN	Comitê Europeu de Normalização
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CIF	Custo, Seguros e Frete
Cofiring	Combustão com dois carburantes diferentes
COP21	Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas
DEPI	Instituo Alemão de Pellets GmbH
DTG	Termogravimetria Derivada
ENplus	Selo de qualidade para fornecimento de pellets de madeira
EPC	Concelho Europeu de Pellets
FOB	Livre a Bordo
FPF	Floresta Pública Federal
GEE	Gás de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IMA	Incremento Médio Anual
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Intelectual
ISO	Organização Internacional de Normalização
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MDF	Medium Density Fiberboard
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MDP	Medium Density Particleboard
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
PCI	Poder Calorifico Inferior
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PROPFLORA	Programa Comercial Florestal
RC	Resíduo de Construção
SAF	Sistema Agroflorestal
SIG	Sistema de Informação Geográfica
Spot	Mercado de Curto Prazo
ssp.	Espécie
TG	Termogravimetria
TIMO's	Organização de Investimentos em Madeira
UE	União Europeia
US PTO	Oficina de Patente Norte-americana
WIPO	Organização Mundial da Propriedade Intelectual
ZAE	Zoneamento Agroecológico de Cana de Açúcar
ZEE	Zoneamento Agroecológico

LISTA DE SÍMBOLOS

Ag^+	Prata
AgCl	Cloreto de prata
B	Boro
°C	Graus Celsius
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
CaO	Óxido de cálcio
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
(E)	Exponencial
Fe_2O_3	Óxido de ferro
GWh	Giga-watt-hora
ha	Hectare
HNO_3	Ácido Nítrico
H_2O	Água
kcal	Quilocaloria
kcal/kg	Quilocaloria por quilograma
kg	Quilograma
km	Quilômetro
km^2	Quilômetro quadrado
K_2O	Óxido de potássio
KWh	Quilowatt-hora
l	Litro
m	Massa
m^3	Metro cúbico
m^3/há	Metro cúbico por hectare
m^3/ha/ano	Metro cúbico por hectare ano
min^{-1}	Minuto
mm	Milímetro
mm/ano	Milímetro por ano
M	Mil
MM	Milhão
Mm^3	Mil metro cúbico
MMha	Milhão de hectare
MgO	Óxido de magnésio
MW	Mega-watt
MWh	Megawatt-hora
MWh/ano	Megawatt-hora por ano
MJ	Megajoule
MJ/kg	Megajoule por quilo
Mt	Mil toneladas
MMt	Milhões de toneladas
MMtep	Milhões de toneladas equivalente de petróleo
NaCl	Cloreto de sódio
Na_2O	Óxido de Sódio
NPK	Nitrogênio – Fósforo – Potássio
PJ	Pentajoule
P_2O_5	Pentóxido de fósforo

Pt	Platina
Zn	Zinco
R$	Reais
t	Toneladas
T	Tempo
tep	Tonelada equivalente de petróleo
US$	Dólares
%	Porcentagem
10^3	Mil
10^3t	Mil toneladas
10^6	Milhão
10^9	Bilhão
Δ	Delta

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....17

OBJETIVOS.....21

CAPITULO I - O uso da madeira para energia produzida de forma sustentável no Brasil. Panorama atual.....23

1. Situação da produção de florestas plantadas (*Eucalyptus*, *Pinus* e espécies não convencionais).....23
   1.1 Cenários da plantação de madeira para 2020.....24
2. A demanda de madeira de reflorestamento no Brasil e as taxas de consumo interno.....26
   2.1 Produção de madeira em tora de florestas plantadas.....26
   2.2 Consumo de madeira reflorestada em tora.....27
      2.2.1 Celulose e Papel.....28
      2.2.2 Produtos sólidos da Indústria madeireira.....29
      2.2.3 Painel de madeira reconstituído.....30
      2.2.4 Biomassa para bioenergia (lenha e carvão vegetal).....30
3. Participação da biomassa sólida vegetal na matriz energética nacional.....32
4. Os resíduos de madeira no cenário energético.....36
   4.1 Estimativas de alocações dos resíduos de madeira gerados.....38
5. A regulamentação brasileira e a sustentabilidade na produção de biomassa.....41
   5.1 Leis ambientais aplicáveis na produção de bioenergia.....41
   5.2 O uso da terra e biodiversidade.....42
   5.3 Os mitos dos impactos negativos do eucalipto.....45
   5.4 Zoneamentos ambientais e agroecológicos.....46
6. Situação atual da exportação de madeira para fins energéticos no Brasil.....51
7. Os sistemas de financiamento no setor florestal.....51

CAPITULO II - Oportunidades e desafios da biomassa sólida vegetal para produção de pellets de madeira no Brasil.....54

1. Introdução.....54
2. Panorama do mercado internacional dos pellets de madeira na UE e no mundo. O potencial para exportação.....55
   2.1. Normas e padrão de qualidade para biocombustível sólido vegetal na forma de pellets.....63
3. Situação atual dos pellets combustível no Brasil.....64
4. O potencial das florestas energéticas do gênero Eucalyptus ssp. no Brasil.....68

CAPITULO III - Produção de biocombustível sólido com baixo teor de cloro dentro dos padrões internacionais.....74

1. Introdução.....74
2. Remoção de cloreto e compostos inorgânicos na madeira.....76
3. Estado da arte de patentes de processo de extração de inorgânicos e/ou cloro para biomassa sólida vegetal.....77

4. Material e Metodologia aplicada para a eliminação do cloro e dos compostos inorgânicos da biomassa sólida.....77
4.1. Material de estudo.....77
4.2. Condicionamento do material.....78
4.3. Termogravimetria (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG).....81
5. Resultados.....84

CAPITULO IV - Mapeamento das áreas potenciais para produção sustentável de pellets de madeira a partir de florestas energéticas no Brasil, com potencial para exportação.....86

1. Introdução.....86
2. Abordagem metodológica.....86
3. Resultados e discussões.....90

CONCLUSÕES.....94

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....98

ANEXOS.....107

INTRODUÇÃO

Os impactos das mudanças climáticas causadas pela ação humana, especialmente devido ao consumo de combustíveis fósseis e o descomicionamento necessário das usinas nucleares, tem incentivado esforços ambiciosos de diversos países do mundo especialmente da União Europeia - UE, para reduzir as emissões de gases de efeito estufa até 2030, através da substituição gradativa de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, especialmente a biomassa sólida, fato que foi ratificado na COP 21 em 2015.

Estima-se que a maior parte da demanda de biomassa na UE até 2050 seja abastecida por biomassa sólida vegetal, com 4.996 PJ, seguido de outros biocombustíveis com 1.216 PJ, e o biogás com 887 PJ. (Scarlat, et.al., 2015)

Nesse contexto o consumo de pellets de madeira em países da UE apresentou crescimento significativo, em função de políticas que visam à redução da dependência dos combustíveis fósseis. Por um lado, a substituição do petróleo e gás natural - GN visa o aumento da segurança de suprimento energético. Por outro, os países europeus têm feito esforço para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), através da substituição gradativa de combustíveis fósseis por fontes alternativas e renováveis de energia.

O mercado de pellets combustíveis pode ser dividido em dois segmentos preferenciais, o uso residencial e o uso industrial, aí incluído o uso em termoelétricas. Em ambos os segmentos os pellets concorrem com combustíveis tradicionais, geralmente derivados de fontes fósseis, como o óleo combustível, o gás natural, o carvão mineral e, no caso da calefação, a energia elétrica.

Estudo desenvolvido pela Biotrade2020plus, (2016) apresentou estimativas do consumo de pellets de madeira para a UE, com projeções de curto prazo, das quais segundo Pöyry, (2011), estima um consumo de 24,6 milhões de toneladas - MMt de pellets de madeira, a AEBIOM, (2008) estima 60-80 MMt, e REN21, (2014) 50-80 MMt. Outras estimativas variam entre 30-55 MMt (ENVIVA, 2013). Para preencher a lacuna estimada entre produção e consumo, estimasse um déficit mundial de 55-85 MMt de pellets de madeira, embora o volume de importação para 2020 esta estimado em 11 MMt (PÖYRY, 2012).

Há um potencial significativo de biomassa que precisa ser explorado. A importação de biomassa sólida será vital para equilibrar a oferta e a procura de biomassa em diferentes regiões da Europa. Devido às condições edafoclimáticas e restrições à disponibilidade de

terras, muitos países não produzem volumes de biomassa sólida vegetal suficiente para abastecer o mercado interno. Por conseguinte, o comércio internacional de pellets vem crescendo e os países produtores são mais propensos a fazer parte do mesmo.

Apesar da incerteza no volume dos fluxos de comércio de pellets de madeira para 2020/2030, fica evidente que a UE não é capaz de produzir o suficiente para atender suas demandas. Esta lacuna deve ser preenchida com as importações que poderiam fornecer uma parcela importante dessa demanda.

O Brasil, por suas características naturais, apresenta-se como um agente de abastecimento promissor a partir de 2020. Tendo em conta a dimensão e os volumes de produção agrícolas e florestais no Brasil, assume-se que o país será responsável por uma grande parte deste potencial (ESCOBAR, 2015).

No entanto, há uma preocupação crescente, especialmente de países importadores, quanto à sustentabilidade da produção de biomassa sólida. A UE tem um sistema de certificação uniforme, chamado "ENplus" (uso residencial) e a ISO18122 (uso industrial), para transações dentro da Europa, como para importações, sendo principalmente restrito para o mercado de pellets residencial.

Os pellets podem ser produzidos com diversas matérias primas, porém as restrições de cinzas, e taxas de inorgânicos restringem a maioria das biomassas sólidas vegetais disponíveis. Entre as diferentes matérias primas, a madeira é a biomassa mais eficaz para produção de pellets, por suas características físico-químicas (ENplus, 2015).

A chave para o futuro da bioenergia sólida vegetal está fortemente vinculada às plantações florestais brasileiras, e somente os resíduos agrícolas ainda apresentam dificuldades importantes relacionadas à logística e questões econômicas de escala. O montante de resíduos de madeira no Brasil é de aproximadamente 30 milhões de toneladas (t), que é deixado no campo ou aproveitado energeticamente, quando próximo da demanda, de forma geral este material apresenta inúmeras dificuldades por estar disperso e descentralizado, considerando mais de 5.000 municípios em uma área de cerca de 850 milhões de hectares (8.500.000 km^2), (IBGE, 2017). O acesso e a centralização destes resíduos no vasto território nacional tornam-se inviáveis para atingir escala produtiva e uniformidade, apresentando barreiras logísticas, econômicas e em muitos casos socioambientais.

O crescimento da agricultura brasileira levanta preocupações sobre a disponibilidade e limitações de áreas de cultivo adequadas. Ele também levanta questões sobre as tendências

futuras de expansão e seus impactos sobre a biodiversidade. Duas questões surgem a partir deste questionamento: o desmatamento e o uso da terra para zoneamento agrícola.

O Brasil tem 105 milhões de hectares de áreas degradadas disponíveis para o cultivo de florestas energéticas, bem como para outros usos. Existem espécies de eucalipto que podem ser cultivadas em áreas degradadas ou consideradas inadequados para a produção de outras culturas.

As práticas florestais são regulamentadas pelo Novo Código Florestal (Lei 12727/2012). O desmatamento, no entanto, está ligado à Política Nacional do Meio Ambiente como um todo e os principais mecanismos que regulam as práticas de compensação de terra são aqueles relacionados com unidades de conservação, a reserva legal e outras áreas protegidas. Segundo o IBGE, (2015) o desmatamento de florestas naturais ocorre principalmente em função da expansão agrícola e pecuária, em contra partida esse percentual é insignificante com a atual produção de florestas plantadas, resultante de 0,01 %. As áreas de expansão florestal brasileira na atualidade não apresentam intervenção com a agricultura familiar ou à produção de alimentos, utilizando como no caso do Eucalipto, maiormente áreas reguladas ou áreas degradadas da pecuária como solos pobres de baixo custo.

Sendo assim, o Brasil é o maior produtor de madeira de florestas plantadas principalmente de eucalipto. Atualmente o reflorestamento tornou-se um processo viável tecnologicamente, economicamente e ambientalmente, cuja finalidade é a produção de matérias-primas para várias indústrias que dependem de madeira. Outro ponto a ser observado é que o gênero Eucalyptus ssp. está sendo estudado no Brasil desde 1960, e foi o determinante para desenvolvimento e a produção atual de área plantada de 7.185.943 hectares, especialmente para o forte setor de papel e celulose. (FOELKEL, 2005)

Do ponto de vista produtivo comparando com o resto do mundo, as florestas plantadas tradicionais de Eucalyptus ssp no Brasil tem uma produtividade média de 287 m^3/ ha, em 7 anos, em torno de 25 toneladas por hectare ano, enquanto na Suécia, para obter essa mesma produção, exigiria 10,2 ha. Na atualidade o uso da madeira de florestas plantadas (atualmente destinadas para atender os setores de celulose e painéis de madeira, entre outros setores produtivos) não atingem custos de produção competitivos no mercado de biomassa para uso energético como também para a produção de pellets de madeira. (ABRAF, 2013); (ESCOBAR, 2015).

A solução é a produção de florestas energéticas de curta rotação, que com o mesmo custo produtivo das florestas plantadas tradicionais, permite atingir rendimentos de até 45

toneladas de massa seca por hectare em ciclos de 1,0 anos (o dobro da produtividade por hectare do plantio tradicional). Este fato ocorre com o aumento do número de plantas por hectare visando à maior produção de biomassa em menor área útil. (GARCIA, 2010); (EUFRADE, et al., 2016).

Nesse contexto, as florestas plantadas para fins energéticos poderiam apresentar um cenário bastante positivo, em termos mundiais, para auxiliar na produção de biomassa sólida para pellets de qualidade para exportação.

A produção sustentável de floresta de curta rotação no Brasil, de forma geral, apresenta vantagens comparativas que o tornam líder na produção de biomassa o qual poderia atender a demanda do mercado energético nacional e a demanda de pellets de madeira para aquecimento e para eletricidade em países da UE.

Em contra partida a dificuldade é que a biomassa sólida vegetal produzida em regiões tropicais como o Brasil contém concentrações de cloro e outros inorgânicos, que são superiores às taxas permitidas internacionalmente como ENplus e semelhantes para produção de biocombustíveis sólidos. (STUMM & MORGAN, 1970); (MELLO, 2001); (ENplus, 2015).

O desafio central é adequar a biomassa brasileira e às diversas caraterísticas técnicas da UE, para entrar no mercado residencial ou atingir escala produtiva acima de 1,0 milhão de toneladas por ano, para poder participar no mercado termoelétrico, que comparado com o mercado residencial, exige qualidade e custo inferior para comercialização.

Outros desafios pertinentes se referem à necessidade de atender a demanda nacional de madeira para energia, onde a produção de florestas de curta rotação (com as características favoráveis de produção florestal brasileira) apresenta grande potencial para atender o mercado mundial de biocombustíveis sólidos, que por suas características particulares apresenta um caso exclusivamente nacional. Neste contexto a tese analisa o uso da madeira como energia no Brasil e suas características atuais de expansão florestal de forma sustentável, destacando os potenciais e desafios para produção de biomassa lenhosa, que possibilite o atendimento ao mercado mundial de pellets de madeira.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo central discutir potenciais e barreiras existentes para expansão e da produção de madeira para energia no Brasil, além das oportunidades de produção de biomassa florestal de curta rotação de Eucalyptus ssp., para o fornecimento sustentável dos setores industriais nacionais, bem como, para a produção de pellets de madeira para exportação. Os resultados estão separados por capítulos individuais que, subsequentemente, dependem dos resultados entre si.

Inicialmente, a tese apresenta uma visão do Brasil como um caso importante e estratégico para a matriz energética do país, abordando as oportunidades e os desafios na produção nacional de madeira para energia, referindo-se à cadeia produtiva de forma sustentável, argumentando os seguintes pontos:

• Visão geral sobre o Brasil, e o potencial da bioenergia sólida, com informações gerais sobre madeira para energia, incluindo a situação atual das plantações florestais e os cenários para 2020.

• Discussão da demanda por bioenergia sólida vegetal e tendências de consumo no mercado interno.

• Análise de regulação e de sustentabilidade para a bioenergia brasileira, incluindo legislação ambiental e as políticas recentes, tais como o zoneamento agroambiental, e perspectivas futuras.

• Em seguida o trabalho analisa a remoção do cloro e componentes inorgânicos da madeira de Eucalyptus ssp. para viabilizar a produção de biomassa sólida livres de dioxinas e compostos corrosivos resultante da combustão, tais como cloro e metais alcalinos presentes na biomassa brasileira, com a finalidade de permitir a produção de biocombustíveis sólidos na forma de pellets e outras, que atendam as normas Enplus e semelhantes, permitindo assim a sua comercialização no mercado internacional e principalmente da UE.

• Finalmente, é calculado e mapeado o potencial para a produção de pellets para exportação no Brasil, utilizando o Sistema de Informação Geográfica – SIG, restringindo regiões destinadas a outras culturas, ou atividades agrícolas, considerando apenas áreas improdutivas e degradadas no Brasil para limitar as áreas ideais para plantação de florestas energéticas. Foi adotados valores de raio mínimo de 150 km, 300 km, e acima de 300 km dos portos marítimos nacionais, em função da informação logísticas para escoamento no território nacional.

Contudo, espera-se que a seguinte tese possa colaborar para a viabilidade na produção em escala de pellets de madeira no Brasil servindo como suporte para futuros investimentos neste biocombustível, visando sua utilização como alternativa de energia renovável no âmbito nacional e internacional, consequentemente, incentivando a redução de gases do efeito estufa e auxiliando na redução da dependência de combustíveis fosseis na matriz energética mundial.

CAPITULO I. O uso da madeira para energia produzida de forma sustentável no Brasil: Panorama atual.

1. Situação da produção de florestas plantadas no Brasil (*Eucalyptus, Pinus* e espécies não convencionais)

O Brasil é o um dos maiores produtores de madeira proveniente de florestas plantadas com mais de 7,74 milhões de hectares, ocupando 1% do território nacional (IBGE, 2017), destacando-se na produção do Eucalyptus ssp. Na atualidade o reflorestamento tornou-se um processo economicamente, ambientalmente e tecnologicamente viável, cuja finalidade é a produção de matérias-primas (madeira) para atender a demanda de diversos setores industriais (Tabela 6), como também, apresenta potencial na contribuição de serviços ambientais: evitando o desmatamento de habitats naturais, protegendo assim a biodiversidade; preservam o solo e as nascentes de rios; recuperando áreas degradadas; são fontes de energia renovável e contribuem para a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa por serem estoques naturais de carbono. (COUTO & DUBÉ, 2001); (ABRAF, 2013); (IBÁ, 2015).

As espécies de pinus e eucalipto abastecem 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no país; papel e celulose, painéis de madeira reconstituída, pisos laminados, painéis compensados e moveis, os demais 9% vem de florestas nativas legalmente manejadas.

Outro ponto a ser observado é que principalmente o gênero Eucaliptos está sendo estudado no Brasil desde a década de 1950, tendo obtido incentivos fiscais para suprir a necessidade de lenha, postes e dormentes das estradas de ferro na região Sudeste, e, ao longo do tempo, passou a ser usado como matéria prima no abastecimento das fábricas de papel e celulose (MAPA, 2002); (ABRAF, 2013).

Com a estabilização da curva de aprendizado no melhoramento genético e a permanente otimização do manejo florestal, o eucalipto se tornou uma espécie que pode ser produzida em diversas regiões e condições do país, fato determinante das altas taxas de desenvolvimento e produção nos dias de hoje. (MACEDO, 2001); (ESCOBAR, 2013).

A área total de plantações florestais no Brasil supera os sete milhões de hectares sendo 71,8% de eucalipto, 20,5% de pinus e 7,6 % de outras espécies florestais, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Área de florestas plantadas no Brasil por espécie.

Espécie	Área de Plantios Florestais (ha)		
	2013	**2014**	**%**
Eucalyptus	5.102.030	5.560.000	71,8
Pinus	1.562.782	1.590.000	20,5
Outros	521.131	590.000	7,6
Total	7.185.943	7.740.000	100

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (ABRAF, 2013); (IBÁ, 2015).

Segundo a Tabela 1, em 2014, a área plantada com eucalipto atingiu 5,56 milhões de hectares - MMha, apresentando um aumento de 8,2% (457.588 ha) em relação ao ano anterior. O principal fator responsável por esse crescimento foi à produção de novas plantações em antecipação da demanda futura de projetos industriais no setor de celulose e papel.

As áreas plantadas com pinus totalizaram 1,59 MMha em 2014, apenas 1,7% superior a 2013. Esse resultado mostra a tendência de expansão das plantações de eucalipto. A área ocupada por plantações de espécies não convencionais, como a Teca, Acácia, Araucária, Populus, Seringueira, Paricá entre outros, foi de 0,59 milhões de hectares em 2014 e com relação ao ano anterior, estas espécies tiveram um aumento de 11,6%. Este fato é decorrente principalmente do setor de látex derivado do plantio de seringueira e da Acácia.

Os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul se destacam neste setor; juntos produzem 87 % do total da área plantada. Isto é devido à localização das grandes unidades industriais nos segmentos de papel e celulose, painéis de madeira industrializados, setor siderúrgico, madeira processada mecanicamente entre outros.

Quanto ao crescimento das áreas plantadas, o estado que apresenta maior expansão nos últimos cinco anos é o Mato Grosso do Sul (18,4%). Isso se deve a consolidação dos estados como um dos principais polos para produção de madeira sustentável para os próximos anos (ABRAF, 2013).

1.1 Cenários da plantação de madeira para 2020

Ao longo dos próximos quatro anos, vários projetos estão programados no Brasil para a produção de celulose, aglomerado, painéis de madeira reconstituída (MDF/MDP), carvão e para fins energéticos, o que deverá induzir um aumento nas florestas de área plantada. A crescente participação no mercado internacional influencia grandes investimentos no setor,

tanto para a expansão da área plantada como também para o manejo das florestas naturais para as indústrias de processamento de madeira (IBÁ, 2015).

Nas condições atuais, a área de florestas plantadas no país poderia aumentar de 7,7 milhões de hectares para mais de 12 milhões de hectares até 2020, principalmente a partir de áreas degradadas de pastagens, o que exigiria investimentos do setor privado, gerando 200 mil postos de trabalho em áreas rurais (STCP, 2011). A Tabela 2 mostra a projeção das florestas plantadas de eucalipto e pinus para cada estado brasileiro para o período atual até 2020.

De acordo com a Secretaria de Assuntos Estratégicos do Governo Federal (SAE, 2011), se uma política nacional for aprovada para incentivar a plantação florestal esse número poderia aumentar até 16 MMha em 2020, o qual representa um acréscimo de 21%.

Tabela 2. Cenários para 2020 da área total plantada de eucalipto e pinus por região e estado considerando as políticas atuais.

Região */ Estado*	*2014*	*2020*
Sudeste	**4.092**	**5.146**
Minas Gerais	2.241	3.007
São Paulo	1.526	1.739
Espírito Santo	321	363
Rio de Janeiro	4	38
Nordeste	**1.378**	**1.747**
Bahia	899	1.065
Maranhão	317	433
Piauí	142	195
Outros	20	54
Sul	**874**	**1.104**
Paraná	267	258
Santa Catarina	169	260
Rio Grande do Sul	438	586
Centro-Oeste	**736**	**1.045**
Mato Grosso do Sul	533	702
Mato Grosso	112	189
Goiás	92	154
Norte	**615**	**831**
Pará	229	323
Amapá	115	161
Tocantins	117	272
Outros	154	74
Total Eucalyptus sp.	7.694	9.873
Total Pinus sp.	2.240	2.127
Total	9.934	12.000

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (SAE, 2011); Dados em 1000 ha.

Apesar do fato de que os cenários mostrados na Tabela 2 sejam para pinus e eucalipto, deve-se notar que as plantações de pinus ocorrem principalmente no Sul do Brasil. Na verdade, há uma tendência para a expansão de plantações de eucalipto, porque as áreas de pinus apresentam uma retração ao longo dos últimos anos, exceto na região sul do país.

2. A demanda de madeira de reflorestamento no Brasil e as taxas de consumo interno.

2.1. Produção de madeira em tora de florestas plantadas

As condições edafoclimáticas, aliadas a investimento em pesquisa e desenvolvimento do setor privado, verticalizou diversos setores que dependem da madeira no seu processo industrial, proporcionando maior produtividade por hectare e, consequentemente, menor ciclo de colheita para os plantios florestais estabelecidos no Brasil, que possuem um Incremento Médio Anual – IMA, entre 30 % e 50% superiores comparados ao resto do mundo, como ilustra a Figura 1 (ABRAF, 2013); (IBÁ, 2015).

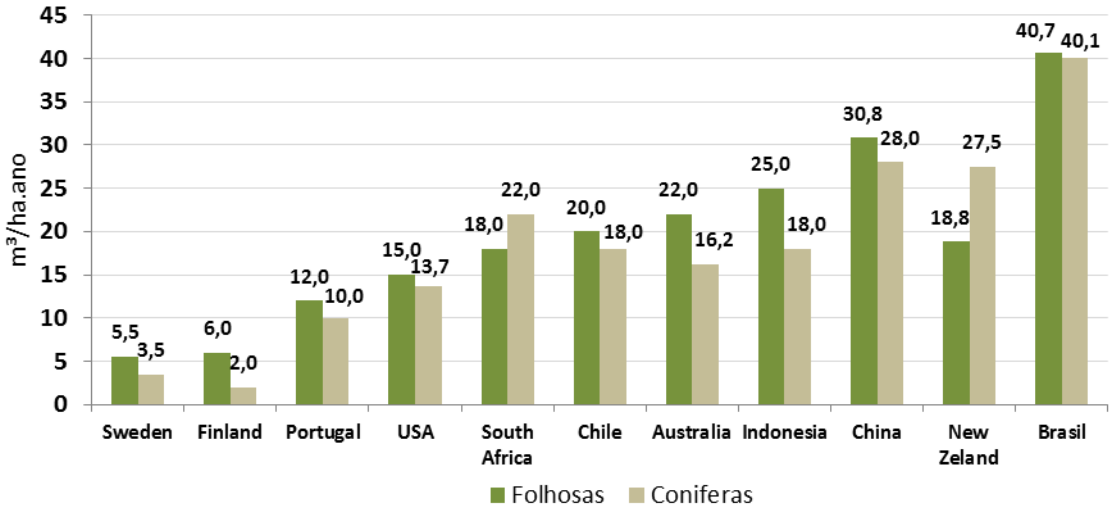


Figura 1. Produtividade das florestas plantadas brasileiras comparada com outros paises.
Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (ABRAF, 2013); (IBÁ, 2015).

Estima-se que a produção média de madeira sustentável no Brasil é de cerca de 288,7 milhões de m^3/ano, considerando a atual área de plantações florestais e o (IMA nacional), a produtividade média ponderada dos plantios de Eucalyptus ssp., em função da área plantada, atinge 40,1 m³/ha.ano. Da mesma forma, a produtividade média dos plantios de Pinus ssp., e outras espécies também atingem de 35,9 e 15,0 m³/ha.ano, respectivamente. Se considerado o

(IMA regional) de estados como Bahia, São Paulo e Matogrosso do Sul, chegam a atingir IMAs de até 80 m³/ha.ano em plantios de Eucalyptus ssp. (IBÁ, 2015).

Do total estimado, 77% correspondem ao Eucalyptus ssp. e 20% de Pinus ssp. As outras espécies já representam 3% da produção total (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativa de produção de madeira em tora de eucalipto, pinus e outras espécies no Brasil, 2014.

Espécie	Área Plantada (ha)	IMA	Produção (m^3/ano)	%
Eucalyptus	5.560.000	40,1	222.956.000	77,2
Pinus	1.590.000	35,9	57.081.000	19,8
Outros	590.000	14,7	8.673.000	3,0
Total	7.740.000	-	288.710.000	100

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (ABRAF, 2013); (IBÁ, 2015).
IMA = Incremento médio anual (m3/ha. ano). O (IMA) ponderado foi adotado (em vista da área plantada) de eucalipto, pinus e "outras" plantações; a produção em (m^3/ano) foi calculado multiplicando-se área plantada pelo (IMA) ponderado de cada espécie.

Esta estimativa representa a oferta de madeira disponível no período considerado, desde a idade de plantio até o ponto ótimo de corte, variando o ciclo de produção total dependendo da espécie. O espaçamento comercialmente utilizado é de 3m x 3m (metros entre linha de plantio), podendo variar dependendo do destino final da produção florestal.

2.2 Consumo de madeira reflorestada em tora

O consumo de madeira de florestas plantadas em 2014 no país foi de 190 milhões de m^3, o segmento de celulose e papel destaca-se como o principal consumidor com 37% do total. Os demais segmentos, indústria madeireira, painéis reconstituídos e outros consumiram, respectivamente, 17%, 7% e 2% do total de madeira produzida. Os restantes 38% foi destinado para (lenha e carvão vegetal), que somados, representam o maior consumo para fins energéticos. As Tabelas 4 e 5 mostram o consumo brasileiro de madeira em tora por segmento e gênero, representado, respectivamente, em m^3 e em toneladas.

Tabela 4. Consumo brasileiro de madeira em tora de florestas plantadas em (Mm^3) por segmento em 2014.

Segmento	Consumo de Madeira (Mm^3)				Total
	Eucalyptus	Pinus	Outros	Total	(%)
1. Celulose e Papel	61.820	8.080	10	69.910	37
2. Lenha industrial	**42.710**	**1.830**	**4.300**	**48.840**	**26**
3. Industria Madeireira	7.030	24.420	350	31.800	17
4. Carvão	**22.240**	-	-	**22.240**	**12**
5. Painéis de Madeira reconstituido	6.490	7.330	400	14.220	7
6. Madeira Tratada	1.820	-	-	1.820	1
7. Outros	1.100	100	-	1.200	1
Total	**143.210**	**41.760**	**5.060**	**190.030**	**100**

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (IBÁ, 2015)

Tabela 5. Consumo brasileiro de madeira em tora de florestas plantadas em (Mt) por segmento em 2014.

Segmento	Consumo de Madeira (Mt)*			
	Eucalyptus	Pinus	Outros	Total
1. Celulose e Papel	27.819	3.878	6	31.703
2. Lenha	**19.220**	**878**	**2.494**	**22.592**
3. Industria Madeireira	3.164	11.722	203	15.088
4. Carvão	**10.008**	**-**	**-**	**10.008**
5. Painéis de Madeira Industrial	2.921	3.518	232	6.671
6. Madeira Tratada	819	-	-	819
7. Outros	495	48	-	543
Total	**64.445**	**20.045**	**2.935**	**87.424**

A obtenção dos valores em toneladas esta representada em função da densidade aparente média por espécie. eucalipto: 450 Kg/m³*; pinus*: 480 Kg/m³*; outros: *580 Kg/m³*.
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (IBÁ, 2015).

Para monitorar os mercados de produtos de florestas plantadas e seu crescimento, devem ser considerados os comportamentos dos quatro segmentos principais: celulose e papel; madeira serrada e outros produtos sólidos de madeira; painéis de madeira; e biomassa para energia, incluindo lenha e carvão vegetal, apresentado a seguir.

2.2.1 Celulose e Papel

De acordo com a Bracelpa, (2013) existem 222 empresas do segmento de papel e celulose em operação em 18 estados brasileiros. No mercado internacional, o país é o líder entre os produtos de celulose.

A produção nacional de celulose em 2014, considerando-se fibra curta (eucalipto) e longa (pinus) e pasta de alto rendimento, foi de 16,46 milhões de toneladas, totalizando um consumo de 69,9 milhões de m^3 de madeira em tora, sendo 100% de florestas plantadas.

A produção de celulose destina-se, prioritariamente, ao mercado externo, 64% é exportado, e 36% são usados para consumo próprio na fabricação de papel no mercado interno (IBA, 2015). Com esse resultado, o Brasil manteve-se no quarto lugar no *ranking* dos países produtores de celulose de todos os tipos e como primeiro produtor mundial de celulose de eucalipto.

A celulose é a matéria-prima mais importante da floresta em termos de valor de produção de cerca de 120 bilhões de dólares ao ano, tendo em vista seu alto valor específico em comparação com os outros produtos florestais. (SAE, 2011)

Em termos de valores de energia o licor negro recuperado (subproduto do processo de fabricação de celulose) gera 198 x (10^9) MJ representando 46,6% da demanda de energia no processo industrial (BEN, 2015).

A produção brasileira de papel totalizou 10,40 milhões de toneladas em 2014, situando-se entre os nove principais países produtores, a maioria da produção é destinada ao setor interno com 82%, somente 18 % e comercializado no mercado internacional. (IBÁ, 2015)

2.2.2 Produtos sólidos da indústria madeireira

O setor de madeira processada mecanicamente compreende as indústrias que produzem madeira serrada, compensados, laminados e outros produtos de maior valor agregado, como portas, janelas, quadros e pisos, entre outros produtos processados.

A estrutura produtiva do setor é bem distribuída, geralmente constituída por um grande número de empresas de pequeno porte. Os principais segmentos consumidores do mercado brasileiro são móveis e construção civil.

Em 2014, o setor de serrados de árvores plantadas consumiu cerca de 31.8 milhões de m^3 de madeira em tora, e atingiu uma produção de 9.23 milhões de metros cúbicos, o consumo esta basicamente no mercado interno da construção civil e de embalagens sendo para exportação somente 13% do total produzido.

O setor de compensados e laminados produziu 2.40 milhões de m^3, este setor sofre relevante impacto da demanda externa, destinando 47,6% da produção total.

Embora o setor de madeira processada utilize grande parte da matéria prima de florestas plantadas, é importante resaltar que parte desse setor, em especial de madeira serrada, ainda utiliza florestas nativas no seu processo.

2.2.3 Painel de madeira reconstituído

O setor de painéis de madeira compreende as indústrias que produzem painéis de MDP – *Medium Density Particle*, MDF – *Medium density Fiber*, entre outros. Neste segmento as indústrias são importantes fornecedoras de matérias-primas ao mobiliário, construção civil, pisos, embalagens, indústrias de painéis eletrônicos automotivos e elétricos. Existem no Brasil 18 unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída e/ou pisos laminados, sendo que a maior parte esta localizada nas regiões Sul e Sudeste do país.

Este setor consome 14,2 milhões de m^3 de madeira em tora. A produção anual de painéis de madeira reconstituído em 2014 foi de 7,98 milhões de m^3, com um crescimento médio de 9% ao ano (ABIMCI, 2015). As perspectivas para esse mercado são altamente favoráveis, uma vez que conta com grande tecnologia no parque industrial (fornecimento de novos produtos e melhoria da qualidade) além do apelo para a sustentabilidade no uso de 100% de fontes de madeira de reflorestamento. O segmento de painéis de madeira demanda um volume menor de matéria prima no produto final, aproximadamente 2/3 do volume total de madeira consumida comparada a madeira sólida. O setor de painéis de madeira do Brasil está entre os principais produtores, fornecendo 95% do mercado interno, e somente 5% do mercado externo. Neste setor posiciona-se entre os sete principais países produtores.

2.2.4 Biomassa florestal para bioenergia (lenha e carvão vegetal)

A lenha é uma importante fonte de energia térmica. Sua importância no Brasil é percebida na indústria, comércio e domicílios (principalmente rurais).

Em 2014 o Brasil produziu 71 milhões de m^3 de madeira de florestas plantadas para uso na produção de lenha e carvão vegetal, o que representa 37% de toda a produção brasileira de floresta plantada, maior fatia da produção total.

Embora o consumo de lenha pelas famílias seja tradicionalmente um indicador de subdesenvolvimento econômico regional, como discutido em Coelho et.al., (2017), o incremento resulta principalmente do crescimento industrial (metalurgia, agroindústria, cerâmica e indústria de alimentos), que utiliza a maior parte da energia da madeira. A Tabela 6 mostra o consumo de lenha total no Brasil por setor.

Tabela 6. Consumo de lenha entre 2010 e 2015.

	2010	2015	% 10/15
Lenha	82.579	79.768	-3,52%
Principais Aplicações			
Produção de carvão vegetal	27.860	24.773	-12,46%
Industrial	23.108	25.112	7,98%
Residencial	23.471	19.705	-19,11%
Rural	8.140	8.650	5,89%

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em BEN (2015); valores representados em 1,000 t.

O maior consumidor de lenha é o setor industrial, especialmente (cerâmica vermelha, bebidas/alimentos e celulose), empregado para atender a demanda térmica consome 25.1 milhões de toneladas de lenha, seguido do carvão vegetal que consumiu 24.773 toneladas de lenha em 2015, para produzir aproximadamente 6,301 milhões de toneladas de carvão/ano (BEN, 2015). (Atuando como substituto do carvão mineral na produção do ferro gusa e/ou ferro liga no processo de oxirredução do aço). Estima-se que a indústria de aço brasileira é o maior produtor de carvão vegetal do mundo. (BRITO, 2007); (UHLIG, et.al., 2008). A terceira parte de lenha é destinada ao uso residencial, agregado ao setor rural para cocção que é majoritariamente proveniente de floresta nativa. Cerca de 40 anos atrás, lenha e carvão vegetal representaram mais de 80% do consumo de energia residencial, levando a um progressivo desmatamento perto das áreas mais povoadas e consequentemente o aumento do custo. Atualmente a infraestrutura de distribuição de Gás Liquefeito de Petróleo - GLP é altamente desenvolvida em todas as regiões, incluindo as zonas rurais, diminuindo assim a participação do uso total da madeira nesse setor, que na atualidade consome 19.7 milhões de toneladas de madeira apresentando uma diminuição significativa nos últimos cinco anos. Os fogões a lenha tradicionalmente utilizado nos lares, na sua maioria foram substituídos por GLP ou, em alguns casos, eles coexistem com fogões a GPL. (COELHO, S. & GOLDEMBERG, J, 2013).

É importante ressaltar que 40% do total de 79.7 milhões de toneladas de lenha para energia é proveniente de reflorestamento. Neste contexto, as florestas plantadas apresentam um cenário muito positivo, como fonte renovável, podendo contribuir ainda mais para o desenvolvimento de energia sustentável.

Estimativas existentes indicam que para suprir de forma sustentável a atual demanda do setor siderúrgico e industrial, seria necessário de 2 a 3 milhões de hectares de florestas plantadas por ano, dependendo das condições de plantio (AMS, 2009); (ESCOBAR, 2013).

Segundo (SAE, 2011) o consumo de bioenergia a partir de madeira pode triplicar em menos de 20 anos, chegando a gerar 2,931 x $(10)^9$ MJ (70 MMtep) e 3,768 x $(10)^9$ MJ (90 MMtep) em 2030, se a eficaz intensificação de políticas públicas de produção de carvão vegetal já existentes, formular política similar para introduzir a biomassa produzida de forma sustentável na geração de eletricidade, principalmente em sistemas isolados, substituindo diesel e óleo combustível.

3. Participação da biomassa sólida vegetal na matriz energética nacional

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2015) a biomassa representa cerca de 27% da oferta interna de energia primaria utilizada no pais, a cana de açúcar com o etanol e o bagaço de cana representa 15,7% do total, a madeira e seus derivados (lenha, carvão vegetal e lixívia) representa 9,9%, e as demais biomassa 0,8%, incluída em outras renováveis, como observado na Figura 2. Cabe ressaltar que nos dados originais do BEN (2015), a madeira para energia esta representada somente como lenha e carvão vegetal com 8,1%, neste caso a lixivia (resíduo da madeira no processo de produção de celulose – licor negro) corresponde a um derivado da madeira, e foi contabilizado e incluído nesta tese como lenha, carvão vegetal e lixivia.

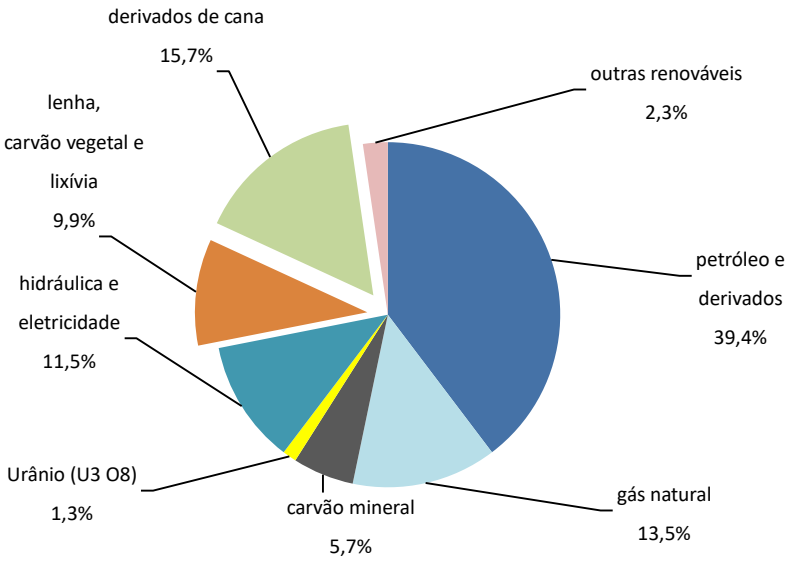


Figura 2. Matriz Energética Nacional.
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (BEN, 2015).

Do total de energia elétrica gerada por meio de usinas termoelétricas, a biomassa

atualmente representa 7%. O bagaço da cana de açúcar é responsável por 82% dessa energia, a biomassa de base florestal (cavaco, licor negro e carvão vegetal) representa 17%, outros tipos de biomassa como casca de produtos agrícolas e o capim elefante, biogás e óleo de palma representam 1% e já contribuem para a geração de energia elétrica brasileira. A potência instalada esta em torno de 12.000 MW (Figura 3).

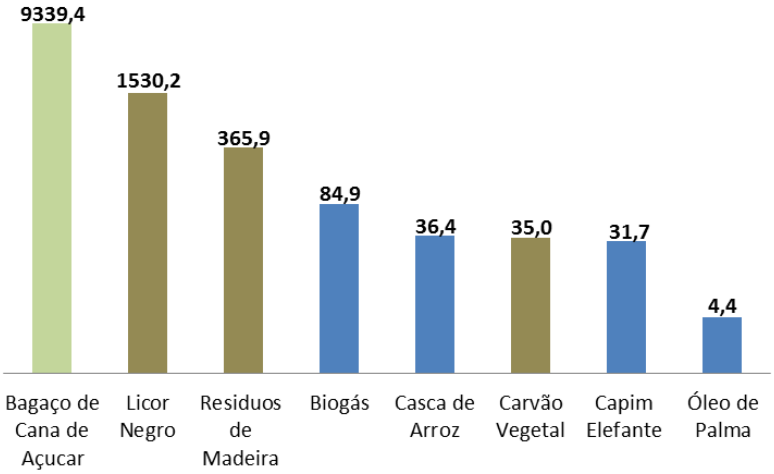


Figura 3. Potência Instalada no Brasil a partir de Biomassa (MW).
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (MME, 2016).

A madeira e seus derivados no ano de 2015 foram responsáveis, de forma geral, pela produção de 30.16 milhões de toneladas equivalentes de petróleo - tep, quantidade da mesma ordem de grandeza das demais fontes renováveis em termos nacionais (Tabela 7). Na Figura 4 observa-se a representação percentual da madeira e seus derivados na oferta interna de energia.

Tabela 7. Oferta interna de energia em 2015.

	Mtep
Fonte	*2015*
RENOVÁVEIS	**120.489**
Energia hidráulica	35.019
Biomassa de cana	48.128
Lenha, Carvão Vegetal e Lixívia	30.160
Outras renováveis	7.182
NÃO RENOVÁVEIS	**185.100**
Petróleo	120.327
Gás natural	41.372
Carvao mineral e coque	17.551
Urânio (U_3O_8)	4.036
Outras não renováveis	1.814

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (BEN, 2015).

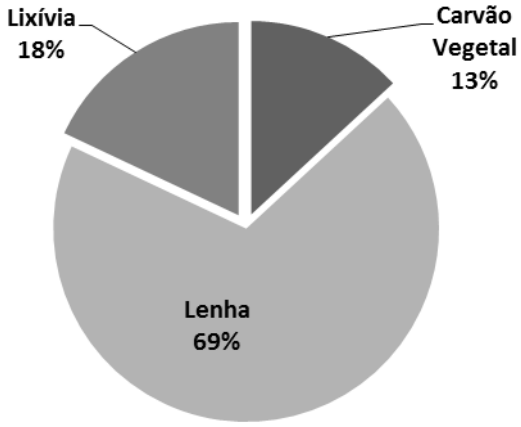


Figura 4. Representação da madeira e derivados na oferta interna de energia no Brasil.
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (BEN, 2015).

É inegável que a madeira ainda ocupa um importante papel estratégico para a produção e uso de energia firme no país. Entretanto, a produção e utilização como biomassa moderna (como pellets de madeira, briquetes, jetfuel entre outras transformações termomecânicas/químicas) ainda é incipiente.

Ao longo dos últimos dez anos, cerca de um terço da madeira para energia no país foi destinada a uso doméstico e agropecuário, a maior parte destinando-se a usos industriais nos setores de alimentação e bebidas, celulose e papel, ferro-gusa, ferro- ligas e cerâmica vermelha (BEN, 2015).

Dentre estes setores a indústria de celulose utiliza seus próprios resíduos de processo proveniente da madeira de florestas plantadas de eucalipto, para produzir vapor e eletricidade em sistemas de cogeração de alta eficiência, somente a lixívia substitui 46 % do consumo térmico do setor sendo necessária a complementação com queima de madeira in natura ou outro combustível. A indústria siderúrgica que emprega o carvão vegetal como termo-redutor no processo industrial e os setores de (alimentos, cerâmica vermelha e gesseira) usam diretamente a biomassa para produzir calor; são usados resíduos agro-florestais, mas em alguns casos inclusive de florestas naturais, apesar da proibição da legislação vigente. Na Tabela 8 observa-se o consumo de madeira para energia por setor e por fonte no país. Cabe ressaltar que pela carência de dados oficiais a representação por fonte (nativa ou plantada) foi agregada para o setor (industrial, residencial, rural e elétrico), embora pontual, para o carvão vegetal no setor siderúrgico.

Tabela 8. Consumo de madeira para fins energéticos por setor e por fonte no Brasil.

Lenha para Energia		**Floresta Nativa**		**Floresta Plantada**	
	(10^3 t)	**(10^3 t)**	**%**	**(10^3 t)**	**%**
Produção de carvão vegetal	24.773	14.765	60	10.008	40
Industrial	25.425	32.403	59	22.592	41
Residencial	19.705				
Rural	8.650				
Elétrico	1.215				
Total	**79.768**	**47.168**	**59**	**32.600**	**41**

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (BEN, 2015); (IBÁ, 2015).

Na Tabela 8, observa-se que o consumo de madeira para energia no Brasil é de 32% industrial (principalmente para produção de calor no setor de cerâmica, celulose e alimentos), 31% para carvão (setor de ferro gusa/aço), 25% do setor residencial, 10% na agricultura (principalmente para fins térmicos), e para transformação de energia elétrica 2%.

Entretanto, atualmente 59% da madeira destinada para uso energético no Brasil ainda é proveniente de florestas nativas, contribuindo para o desmatamento no país. Como resultado a participação da madeira renovável na geração total de energia é de 31,1 milhões de toneladas de madeira consumida a partir de floresta plantada, apresentando assim um déficit de 51,5 milhões de toneladas de madeira proveniente de florestas nativas.

A lenha transformada em carvão vegetal, destinada ao setor siderúrgico ainda é proveniente de florestas nativa com 60%, embora diversos relatórios do setor apontem um panorama diferente, o relatório de florestas plantadas valida os resultados obtidos (IBÁ, 2015).

O maior consumo de lenha para energia é o setor industrial que esta subdividida principalmente em três grandes segmentos, como observado na Tabela 9.

Tabela 9. Setores industriais que utilizam madeira para energia.

Lenha para Energia	
Setor Industrial	**(10^3 t)**
cerâmica	8.571
Bebida e alimentos	7.258
Celulose	5.525
Outros	4.071
Total	25.425

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (BEN, 2016).

Se os restantes 22,592 milhões de toneladas de lenha disponíveis de florestas plantadas (Tabela 8) fossem utilizados somente para atender a demanda industrial, ainda existiria um déficit de 11% de florestas nativas aproximadamente; incluindo o setor residencial, rural e elétrico esse déficit aumentaria para 59 %.

Contudo podemos observar que a maior demanda de madeira sustentável (lenha in natura) para energia encontra-se no setor industrial para atender a demanda térmica do processo, seguido do setor residencial e rural respectivamente.

A demanda da madeira para geração de energia térmica e elétrica tende a continuar crescendo nos setores energo-intensivos, principalmente para abastecimento de caldeiras na queima direta da madeira. Entretanto, o desafio encontra-se em utilizar tecnologias mais eficientes como a carbonização ou a compactação mecânica (briquetes e/ou pellets) buscando melhorar o aproveitamento energético da madeira.

4. Os resíduos florestais e da indústria de base florestal no cenário energético

As estimativas da disponibilidade de resíduos de madeira e resíduos florestais são incertas e dependem das circunstâncias locais. Apesar da pouca informação disponível sobre estes parâmetros, decorrente principalmente na dispersão deste material no vasto território nacional, sabe-se que as oportunidades estão inicialmente concentradas no aproveitamento dos resíduos dentro dos setores industriais que dispõem da matéria prima sem necessidade de transportá-la.

Os resíduos de madeira gerados anualmente no Brasil correspondem a 30 milhões de toneladas, o que equivale a 11,5 milhões de tep; a principal fonte de resíduos é a indústria da madeira, que contribui para 91% dos resíduos gerados, seguindo os resíduos de madeira de construção (3%) e finalmente resíduos de áreas urbanas (6%). (MMA, 2009); (SAE, 2011). A (Tabela 10) mostra a quantidade total de resíduos de madeira gerados anualmente no Brasil.

Tabela 10. Estimativa da quantidade de resíduos de madeira gerados no Brasil.

Setor	resíduos de madeira 10^3 t/ano	%
Indústria madeireira	27.750	90,7
Construção civil	923	3,0
Áreas urbanas	1.930	6,3

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (MMA, 2009); (SAE, 2011).

As principais fontes desses recursos são as indústrias de base florestal com resíduos de processamento de madeira (serrarias, fábricas de folheados emoldurados, painéis, etc.) junto a resíduos de reflorestamento (gerados no campo após a colheita) e finalmente a exploração de florestas nativas na região amazônica (resíduos gerados no manejo florestal).

Apenas uma parte do volume do resíduo gerado chega a ter aproveitamento econômico, social e/ou ambiental. A maioria dos resíduos de madeira gerados na região amazônica é simplesmente abandonada. No entanto, nos últimos anos, parte do potencial residual de madeira a partir do manejo sustentável de florestas na Amazônia Brasileira, está sendo utilizada para produção de carvão vegetal por empresas da indústria madeireira da região. De acordo com Silva & Numazawa, (2007); Numazawa, (2009), cada 1,0 m^3 de madeira removido para processamento na Amazônia gera até 8,0 m^3 de resíduos (incluindo o processo de extração do campo e serraria). Este excedente poderia ser melhor aproveitado, aumentando o acesso à energia em comunidades isoladas, onde esse material se encontra.

Por outro lado, tal situação é diferente quando se tratam de resíduos de madeira industrial gerados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Neste caso, os resíduos industriais de madeira são utilizados principalmente para a fabricação de produtos reconstituídos (celulose e painéis de madeira) e para geração de energia (térmica/elétrica), ou muitas vezes deixados diretamente no local de origem; em torno de 10% a 20% dos resíduos de madeira permanecem no campo, sob a forma de ramos e restos de tronco após o corte das árvores, na qualidade de nutrientes para o solo (HORA e VIDAL, 2011). Um caso característico é nas plantações de eucalipto das indústrias de celulose e de painéis, que dispõe toda a casca do eucalipto no campo como fonte de cálcio para o solo, diminuindo assim até 30% dos custos de calcário no plantio seguinte. A Tabela 11 mostra a disponibilidade de resíduos de madeira provenientes de florestas nativas e plantadas.

Tabela 11. Operações florestais e geração de resíduos (% da madeira residual)

Operação (%)	Floresta Natural		Floresta Plantada	
	Produto	Resíduo	Produto	Resíduo
Corte	30-40	60-70	80-90	10-20
Processamento primário e secundário	10-20	10-20	30-40	40-50
Total	**10-20**	**80-90**	**30-40**	**60-70**

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (FAO, 2007).

Estes resíduos são utilizados para fins diferentes dependendo da região e quantidade onde se encontram, a utilização direta ou indireta destes resíduos de madeira (lascas, restos de

serraria, carvão vegetal e licor negro) são aproveitados em sistemas de co-geração, em usinas e refinarias de biomassa.

A utilização dos resíduos de madeira ainda é uma opção pouco explorada no Brasil, especialmente porque grande parte encontra-se na região amazônica resultado da indústria madeireira. Existem inúmeras barreiras que não permitem sua recuperação como subproduto, como logística, manuseio, transporte, tecnologia especifica para aproveitamento e a inexistência de um mercado interno adequado para resíduos de madeira. É importante destacar a necessidade de políticas específicas para o aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos no Brasil.

4.1 Estimativas da Alocação dos resíduos de madeira gerados

- *Resíduo da indústria madeireira*

O descarte de resíduos de madeira gerados pela indústria é diversificado. No geral, o destino dado aos resíduos industriais de madeira está associado a um número de fatores, como:

(i) o tipo de matéria-prima (madeira de floresta nativa ou plantações florestais),

(ii) o tamanho da indústria da madeira , e

(iii) a localização da indústria em relação aos centros de consumo.

Se fossem utilizados os 30 milhões de toneladas de resíduos de madeira gerados anualmente no Brasil para geração de energia elétrica, estima-se que seria possível obter capacidade cerca de 1.300 MW, o que equivale a uma produção de energia elétrica de 12.000 GWh/ano, o que representaria quase toda a eletricidade consumida na região Norte do Brasil. (MMA, 2009)

Entretanto apenas 10% do volume de resíduos de madeira gerados por empresas do setor da madeira na região amazônica são usados para geração de energia elétrica (fonte de co-geração). (MMA, 2009)

Para exemplificar este potencial, há os municípios de Portel e Melgaço ambos no Pará, que apresentam IDH menor a 0,5 e estão localizados na Floresta Nacional de Caxiuanã. Esta Floresta Pública Federal – FPF foi colocada à concessão pelo Governo Federal no inicio de 2015 e tem uma área de 322 mil hectares, com um plano de manejo aprovado de 184 mil hectares, o qual representa em termos conservadores, um potencial médio de 566 mil toneladas de resíduos de madeira por ano, somente na gestão desta Concessão Nacional de FPF a partir da biomassa residual gerada de forma sustentável. Considerando um ciclo

rankine com um rendimento de 12% seria possível produzir aproximadamente 253 mil MWh/ano. Cabe ressaltar que o plano de manejo aprovado para esta FPF tem um ciclo de aproveitamento de 30 anos. Se considerarmos uma demanda de energia elétrica de 100 kWh/habitante/ano para usos básicos residenciais e de processos, o consumo chegaria ao máximo a 10 mil MWh/ano para ambas cidades, menos de 5 % do potencial anual disponível. Existem diversas outras FPF sendo aprovadas e concedidas na Amazônia Legal, com as quais seria possível, substituir grande parte da demanda do sistema isolado nacional, usando biomassa residual que é inevitavelmente gerada no manejo destas áreas, que origina um recurso que por lei pertence à união apresentando um enorme potencial energético e estratégico para o país.

Ao contrario da região amazônica, na região Sul, Sudeste e parte do Centro Oeste e Nordeste, os resíduos florestais são na sua maioria gerados no centro dos estados (Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Santa Catarina) ou na costa (Bahia, Espírito Santo e Rio Grande do Sul), próximos dos centros industriais de produção florestal e da indústria madeireira, 83% são gerados na produção de papel e celulose, em serrarias, painel de madeira e fábricas de móveis, serragem, casca, maravalha, nós, e aparas. Apenas 17% dos resíduos são provenientes do processo florestal, que consiste em casca e pequenos ramos de pinus e eucalipto. Totalizando em torno de 16 milhões de toneladas, o qual representa em torno de 30% do consumo brasileiro de madeira em tora de florestas plantadas para o setor industrial (Biotrade2020, 2016). Tabela 12.

Tabela 12. Potencial técnico de madeira seca residual de florestas plantadas de pinus e eucalipto no Brasil.

Residuos		Rio Grande do Sul	Santa Catarina	Paraná	São Paulo	Minas Gerais	Espírito Santo	Bahia
Eucalipto & Pinus	Campo	0,36	1,00	1,41	1,21	0,59	0,22	0,63
	Processo Ind.	0,84	1,98	3,33	2,22	1,28	0,24	0,62
	Total (Mt)	1,20	2,98	4,74	3,43	1,87	0,46	1,25

Fonte: Elaboração própria com base em (Biotrade2020, 2016).

Os resíduos de campo ficam 100% na floresta por razões de sustentabilidade, mas também porque a colheita dos resíduos não é economicamente viável. Os resíduos de processamento industrial na sua maioria são reutilizados para atender o uso térmico de processo. Em alguns casos, os resíduos de madeira também são reprocessados e

transformados em briquetes ou pellets, entre outros produtos, basicamente dependendo da disponibilidade na região onde se encontra.

- *Resíduo de construção*

Os resíduos de construção civil - RC são predominantes nos resíduos sólidos urbanos produzidos em cidades brasileiras e sua geração é altamente dispersa.

A alocação de RC varia significativamente entre as cidades. Os destinos mais comuns são aterros ou lixões. A maioria dos municípios brasileiros dispõe este resíduo de forma inadequada e irregular (MMA, 2009). O baixo ou nulo aproveitamento dos resíduos de madeira de construção ocorre em função da contaminação por prego, tinta, cola entre outros agentes que após a combustão são prejudiciais para saúde humana, limitando seu uso energético.

- *Resíduos de Ambiente Urbano (poda)*

De acordo com pesquisa realizada pelo CENBIO, (2008) junto a uma das principais concessionárias de energia elétrica no país, constatou que em 16 municípios em todo o país, cerca de 70% descartam os resíduos de poda urbana em lixões ou aterros. Este estudo também analisou diferentes maneiras para destinar estes resíduos na forma de compostagem (CORTEZ, 2011).

O Estado de São Paulo gera aproximadamente 70 mil toneladas por ano de poda urbana, somente o município de São Bernardo do Campo gera em torno de 1.500 toneladas/ano. Estima-se que o custo médio para a disposição em aterros sanitários no Estado de São Paulo é de R$ 80,00 a 120,00 (reais) por tonelada disposta.

É importante ressaltar que com a nova Lei nº 12.305/10 da Politica Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que institui a responsabilidade de gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos urbanos tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável os gestores destes resíduos deveram se ocupar do descarte dos mesmos. Esta lei tem como objetivo instituir a gestão de resíduos sólidos com ordem de prioridade para não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final adequada dos mesmos, evitando a disposição dos resíduos em aterros sanitários (MMA, 2010).

5. A regulamentação brasileira e a sustentabilidade na produção de biomassa

5.1 Leis ambientais aplicáveis na produção de bioenergia

A Constituição Federal brasileira (promulgada 05 de dezembro de 1988) incluiu o artigo 225, contendo diretrizes e princípios ambientais, a fim de lidar com os impactos, controle de poluição, licenciamento, preservação e proteção dos recursos naturais, educação, conscientização e transparência. A Constituição define o meio ambiente como um bem de uso comum do povo e um direito das gerações futuras. Entre as leis infraconstitucionais mais importantes na área ambiental devem ser citados:

a. A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6938/1981, com definições importantes sobre o meio ambiente, impacto e degradação da qualidade ambiental, poluição e recursos ambientais);

b. Ação Civil Pública (Lei 7347/1985), que defendem os valores ambientais, disciplinando a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico;

c. A Lei do Ambiente Crime (Lei 9605/1998) torna possível incriminar indivíduos, institutos de co- responsabilidade;

d. Novo Código Florestal (Lei 12727/2012) e do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (" Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC “, a Lei 9985/2000);

e. Os Decretos Legislativos 1/ 1994 e 144/2002, através do qual o país aderiu à Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e ratificou o Protocolo de Kyoto, respectivamente;

f. Decreto Legislativo 2/1994, que ratifica a Convenção da Biodiversidade da ONU;

g. Decreto Legislativo 34/1992, que ratifica a Convenção de Basiléia (sobre o Controle de Resíduos Perigosos);

h. O Código de Águas (Decreto 24643/1934) e da Lei da Água (Lei 9433/1997), base da Política Nacional de Recursos Hídricos;

i. Padrões do ar e da água (controle de qualidade) do CONAMA Resoluções 3/1990 e 20/ 1998, respectivamente;

j. Lei 8723/1993 e suas alterações (incluindo as seguintes resoluções do CONAMA), veículo novo modelo (incluindo etanol) limites de emissão;

k. Lei 9795/1999, a Política Nacional de Energia;

l. Lei 8974/1995, a Lei de Biossegurança;

m. Lei 8171/1991, a Política Agrícola;

n. Decreto 49974-A/1961, Código Nacional de Saúde.

Em relação à biomassa para bioenergia, algumas das leis ambientais aplicáveis mais relevantes são aquelas relacionadas ao licenciamento ambiental de empreendimentos industriais; proteção das florestas e dos recursos hídricos; limites de emissão de caldeiras a vapor, pesticidas prescritos; limites de produtividade delimitando as práticas de colheita e zoneamento territorial para setores específicos.

5.2 O uso da terra e biodiversidade

O crescimento da agricultura brasileira levanta preocupações sobre sua sustentabilidade em particular a disponibilidade e limitações de áreas de cultivo adequadas. Ele também levanta questões sobre as tendências futuras de expansão e seus impactos sobre a biodiversidade. Duas questões surgem a partir deste questionamento: o desmatamento e uso da terra no zoneamento agrícola.

Nesse contexto, o Brasil tem 105 milhões de hectares de áreas degradadas disponíveis para o cultivo de florestas energéticas, bem como para outros usos. Existem espécies de eucalipto que podem ser cultivadas em áreas degradadas ou consideradas inadequadas para a produção de outras culturas. A Tabela 13 apresenta dados sobre o uso da terra no Brasil.

Tabela 13. O uso do solo no Brasil

Milhões de hectares (2015/2016)	
Brasil	851
terras aráveis	354,8
1. Área total cultivada	**84,2**
Soja	33,2
Milho	15,2
Outros grãos	10,1
Citrus	9,3
Cana de Açucar	8,6
Produção Florestal	7,8
2. Pastagem (produtiva e degradadas)	**168,0**
3. Áreas degradadas	**140,0**

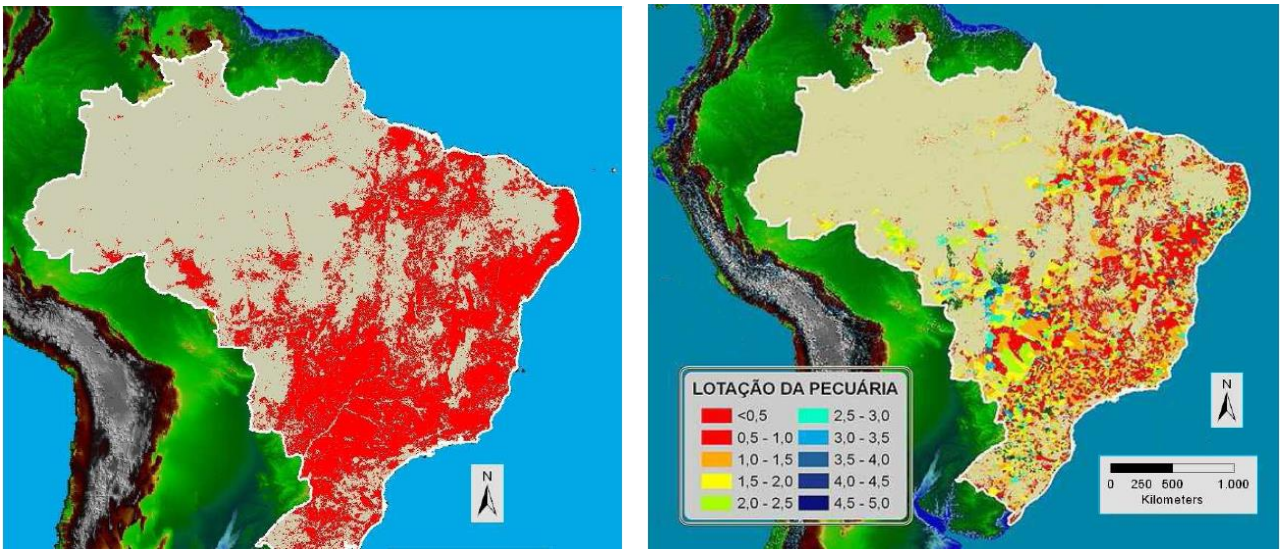
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (IBGE, 2017); (FEAP, 2017); (FUNDECITRUS, 2017); (CONAB, 2016a); (CONAB, 2016b).

A intensa incidência solar e a abundância de recursos hídricos são vantagem para a grande quantidade de terra que já está disponível para o plantio de novas florestas que irá agregar milhões de hectares no aumento da produtividade agrícola nos próximos 20 anos.

Esta é uma questão importante, porque o aumento na disponibilidade de terreno só é possível, se as áreas já em uso se adéquam as melhores condições, por exemplo, a pecuária de uma maneira ineficiente utiliza (1,0 cabeça por hectare) podendo ser utilizado de uma maneira mais eficaz, por exemplo, até 1,6 ou 1,8 cabeças por hectare, buscando a otimização da área, como aconteceu no Estado de São Paulo (GOLDEMBERG et.al., 2008).

Dos 851 milhões de hectares do país, 350 milhões são terras aráveis (38%), mais de três quintos da área (62%) estão bem preservados como floresta amazônica entre outros biomas restritos, e devem permanecer dessa forma (IBGE, 2017).

As regiões Sul e Sudeste possuem o maior potencial de geração de energia a partir de biomassa devido à alta concentração de plantios florestais e de cana-de-açúcar, regiões que possuem potencial para a geração de energia a partir da biomassa, porque a extensão agrícola permanece em regiões especificas para sua produção como observado na Figura 5. Do total de terras aráveis, 170 milhões de hectares é ocupado por pecuária, predominantemente extensivo, como mostrado na Figura 5(a).



(a)

Figura 5. Terras aráveis no Brasil
Fonte: SAE (2011)
Nota: figura * (a) escala representa o número de cabeças por hectare.

Nos cenários realizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para o futuro do setor da pecuária, espera-se a intensificação da mesma e a aplicação de novas técnicas de criação que irão aumentar consideravelmente a produtividade, aumentando a produção de carne em áreas concentradas, até 2030. Assim, a partir dos 168 milhões de hectares utilizados para pastagem em 2015/2016, poderiam estar disponíveis até 70 milhões

de hectares para outros fins. De acordo com este estudo a partir desses 70 milhões de hectares, 10 milhões seriam ocupados por soja e outros grãos, 5,0 milhões para atender às necessidades de agricultores familiares e 25 milhões para as culturas energéticas (cana de açúcar, óleo de palma, capim-elefante, etc.), sem qualquer desmatamento. A partir desta perspectiva, ainda restariam ainda 30 milhões de hectares sujeitos a ocupação com outras culturas, por exemplo, alimentos, plantio de florestas energéticas entre outros.

Portanto, essas novas plantações não demandariam novas áreas, e poderiam auxiliar na prevenção do desmatamento.

As práticas florestais atuais são estabelecidas pelo Novo Código Florestal (Lei 12727/2012). O desmatamento, no entanto, está ligado à Política Nacional do Meio Ambiente como um todo. Os principais mecanismos que regulam as práticas de compensação da terra são aqueles relacionados a unidades de conservação, a Reserva Legal e outras áreas protegidas.

Este ato de lei estabelece as regras gerais relativas à proteção da vegetação Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal Florestal. Também define a oferta de matéria-prima florestal, a origem dos produtos florestais, bem como o controle e prevenção dos incêndios florestais, e fornece instrumentos econômicos e financeiros para alcançar seus objetivos.

Segundo o ultimo relatório do IBGE, (2015) a mudança da cobertura do uso do solo no Brasil no período de 2001 e 2012, aponta progressiva redução das florestas naturais predominantemente (Mata Atlântica e Amazônia). O desflorestamento destas áreas ocorre principalmente em função da expansão agrícola com (314.207 km²) e pela expansão de pastagem para pecuária com (159.396 km²), representando 65% e 33%, consequentemente. O desflorestamento pela expansão da silvicultura (eucalipto e pinus) é de somente 2% do total nacional com (7.204 km²), o qual comparado à produção atual de 7.185.943 hectares de florestas plantadas, esse percentual é insignificante de 0,01 %, Figura 6.

As áreas de expansão da silvicultura brasileira na atualidade não apresentam intervenção com a agricultura familiar ou a produção de alimentos, utilizando, preferencialmente áreas reguladas ou áreas degradadas da pecuária como solos pobres de baixo custo.

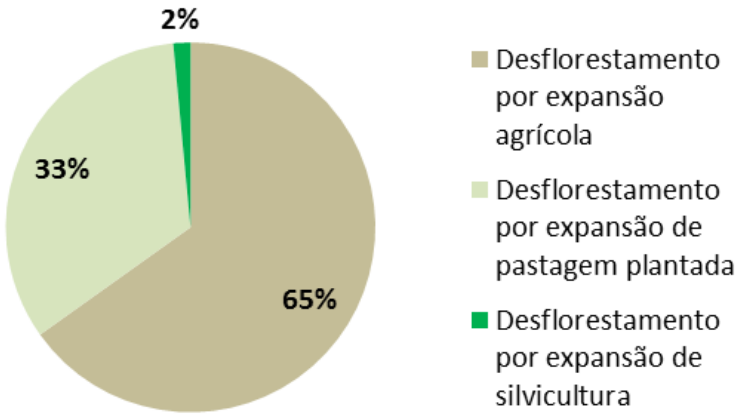


Figura 6. Desflorestamento de (florestas naturais) no Brasil em %.
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (IBGE, 2015).

É importante notar que, neste contexto, a expansão das plantações florestais sustentáveis poderia garantir a futura demanda de madeira de setores energo-intensivos nacional, com possível expansão para atender o mercado mundial.

5.3 Os mitos dos impactos negativos do eucalipto

As plantações florestais de eucalipto têm estado no meio de grandes controvérsias quanto aos seus impactos no meio ambiente. Entretanto, deve-se notar que, atualmente, as plantações de eucalipto estão presentes nas mais diversas regiões do mundo, localizadas em diferentes altitudes, diferentes tipos de solo, sob diferentes regimes pluviométricos. São frequentes, em qualquer região do Brasil, as críticas sem maiores fundamentos técnicos e científicos a respeito da eucaliptocultura. Atualmente o que se questiona a respeito da é o impacto ambiental causado pelas florestas de eucalipto, como a degradação do solo (empobrecimento e erosão), alteração na biodiversidade (fauna e flora) e, por último, o impacto sobre a umidade do solo (aqüíferos e lençóis freáticos), (BNDES, 2007). A Tabela 14 esclarece as principais divergências construídas em torno deste assunto.

Tabela 14. Mitos do Eucalipto no Brasil.

Mitos do Eucalipto	
O eucalipto seca os rios e o lençol freáticos? **O eucalipto prejudica o solo?** **O eucalipto prejudica a biodiversidade?**	• A faixa pluviométrica média para a plantação de eucalipto no Brasil equivale de 800 a 1200 mm/ano, o ressecamento do solo em florestas de eucalipto depende não somente do consumo de água pelas plantas, mas também da precipitação da região de cultivo. Segundo Poore & Fries, (1985); Lima, (1990); Foelkel, (2005b), somente em áreas de precipitação inferior a 400 mm/ano, pode ressecar o solo, por receberem mais água do que consomem as plantações de eucalipto não ressecam o solo (DAVIDSON, 1993). • Segundo Silva, et.al., (2004) a estrutura anatômica do eucalipto apresenta mecanismos que economizam água, tais como a presença do tecido foliar coriáceo, alinhamento vertical das folhas, fechamento rápido dos estômatos, baixas taxas de transpiração e elevada razão raiz/parte aérea. As raízes do eucalipto apresentam até 2,5 m de profundidade, por isso não alcançam os lençóis freáticos, retirando do solo uma quantidade de água próxima à consumida por árvores de florestas nativas. • Além do aproveitamento muito eficiente da água, o eucalipto consome menos agua/volume do que outras monoculturas, como cana-de-açúcar ou soja. (CALDER, 1992); (NOVAIS, 1996); (LIMA, 2010). • A floresta de eucalipto adapta-se facilmente em áreas degradadas, e o plantio respeita segundo legislação, reservas legais e áreas de preservação permanente. Quando o eucalipto é colhido sua casca, galhos e folhas são deixados na própria floresta, protege o solo da erosão, e quando decomposta, reincorpora os nutrientes do solo. (SCOLFORO e MAESTRI, 1998).

5.4 Zoneamentos ambientais e agroecológicos

Devido à expansão da produção de cana de açúcar e outros biocombustíveis, nos últimos anos, as preocupações com os impactos das mudanças de uso da terra, levaram o governo federal e estadual a adotar políticas destinadas a determinar as áreas apropriadas para estas culturas. Isso pode ser considerado também em plantações para bioenergia lenhosa no Brasil. Nesta seção o zoneamento existente para os biocombustíveis (cana e óleo de palma), o que também poderia ser implementado para biomassa de madeira, mas no momento isso não é uma realidade.

Zoneamento ambiental é uma recente e importante política que esta relacionada ao uso da terra para cada setor produtivo. O Estado de Minas Gerais – MG foi o pioneiro neste processo e lançou o seu Zoneamento Ecológico-econômico em 2007 (Figura 7). O zoneamento foi baseado em dados sociais, econômicos e ambientais que mostram as características regionais, potencialidades e vulnerabilidades. É uma ferramenta orientadora que pode apoiar as decisões políticas e empresariais em diferentes setores. (MMA, 2002)

Este “Zoneamento Ecológico-Econômico” (ZEE) do Estado de MG, a partir das orientações metodológicas propostas pelo Ministério do Meio Ambiente, de acordo com as diretrizes da legislação ambiental e das políticas ambientais do estado, foi orientado pelas seguintes questões: (i) em relação às unidades regionais. (Copam - Conselho Estadual de

Minas Gerais de Política Ambiental), (ii) a respeito das Bacias Hidrográficas do Estado, (iii) referindo-se a meso e microrregiões, e (iv) para o conselho de planejamento (ZEE, 2007).

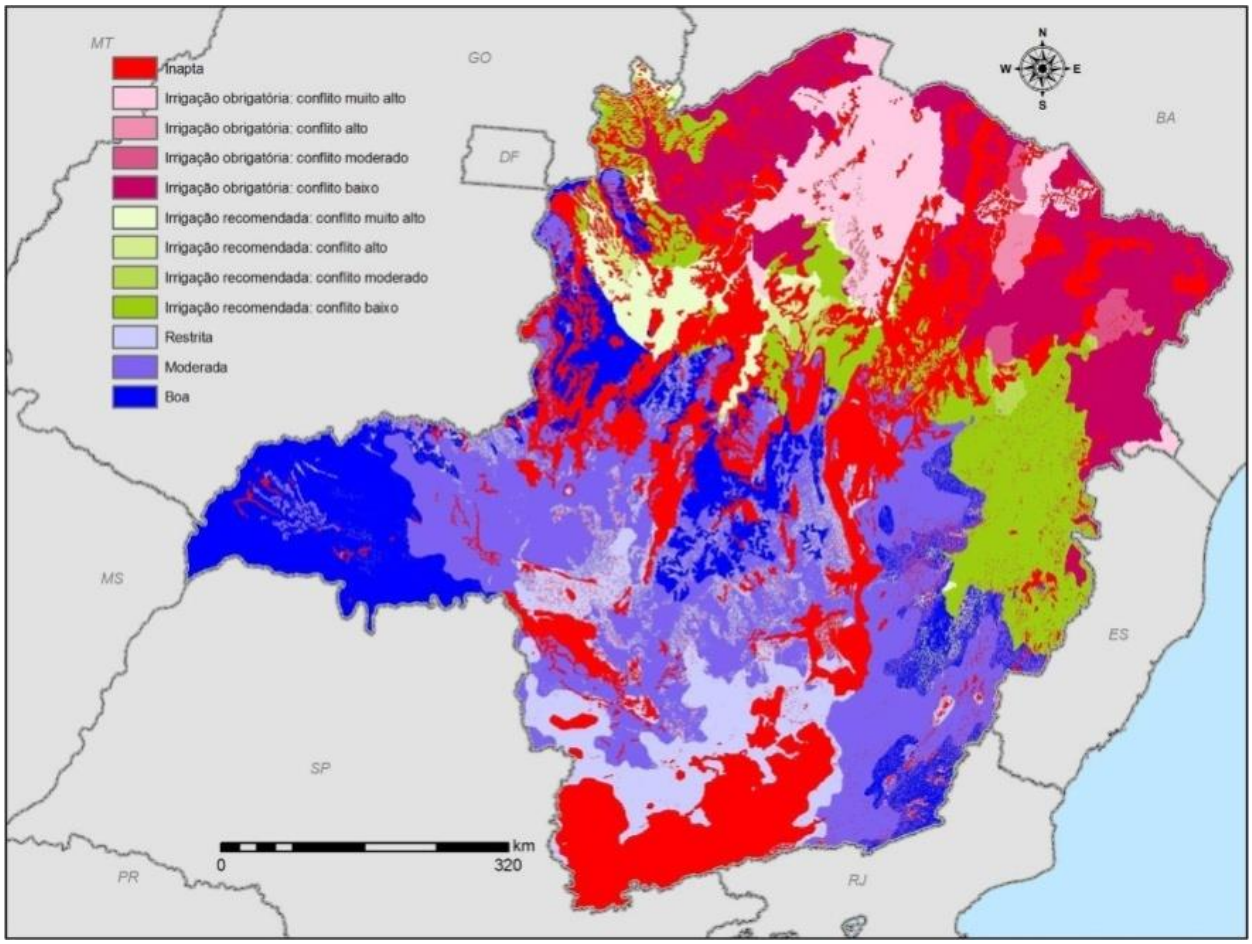


Figura 7. Zoneamento Ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais
Fonte: (ZEE, 2007)

No Estado de São Paulo, o "Zoneamento Agro-ambiental" foi lançado em setembro de 2008, realizado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente em parceria com a Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento com o objetivo de disciplinar e organizar a expansão e uso do solo pelo setor de cana (sucroalcooleiro) além de subsidiar políticas públicas. (SMA, 2008)

Este zoneamento compreende informações sobre solo e clima potenciais, disponibilidade de água de superfície, a vulnerabilidade das águas subterrâneas, as restrições à colheita mecanizada, áreas de proteção da biodiversidade, a conectividade da biodiversidade, a importância da proteção da biodiversidade e unidades de proteção integral. Toda a informação foi consolidada em mapas temáticos que determinam a adequação de áreas específicas para o cultivo da cana no Estado, (Figura 8).

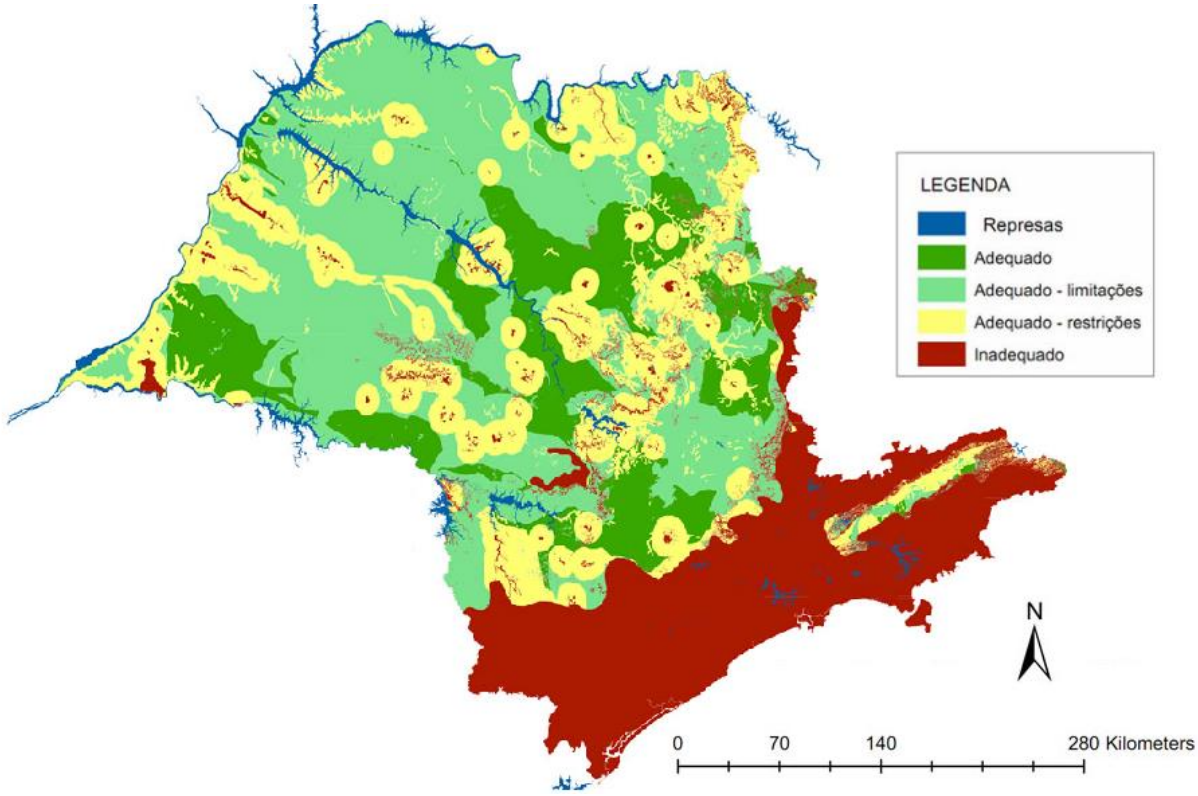


Figura 8. Zoneamento Agroambiental de São Paulo
Fonte: (SMA, 2008)

A Resolução SMA 88/2008, que define os parâmetros e diretrizes para o licenciamento ambiental das instalações de cana foi com base nas informações do zoneamento agro-ambiental. Por exemplo, os pedidos de licenciamento na área vermelha do mapa (Figura 8) não são sequer aceitos. Cada área do mapa tem requisitos específicos a serem cumpridas pelos empreendedores do setor. Os parâmetros (consumo de água, emissões de poluentes atmosféricos, conservação bioma existentes, solo e restrições topográficas, entre outros estabelecidos na resolução devem ser cumpridos), além disso, o protocolo visa à proteção e recuperação das matas ciliares e nascentes de água em plantações de cana de açúcar; controlar a erosão e o conteúdo do escoamento de água; estipula a gestão adequada dos agrotóxicos; e incentiva a redução da poluição do ar e resíduos sólidos a partir de processos industriais.

Visando à expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no território brasileiro, o "Zoneamento Agroecológico de cana de açúcar para o Brasil" (EMBRAPA, 2009), considera algumas regras para tornar o mapeamento do território nacional (Figura 9). É uma iniciativa importante e inovadora por considerar não só os aspectos ambientais, mas critérios tecnológicos de produtividade. As diretrizes estabelecidas são:

- Exclusão de áreas com vegetação nativa, proibindo em todo o território nacional para a expansão do cultivo;

- Exclusão de áreas para cultivo na Amazônia, Pantanal e na Bacia do Alto Paraguai;

- Identificação de áreas com potencial agrícola, sem necessidade de irrigação plena, para selecionar as áreas em que usa o menor volume de água possível;

- Identificação de áreas com declividade inferior a 12 %, que permitem o uso de máquinas na colheita;

- Respeito à segurança alimentar orientando a expansão da produção, de modo a evitar qualquer tipo de risco para a produção de alimentos ou para a segurança alimentar;

- Priorização de áreas degradadas ou de pastagens, indicando terra atualmente subutilizada ou ocupada por gado ou pastagens degradadas.

Figura 9. Zoneamento Agroecológico de cana de açúcar para o Brasil
Fonte: (EMBRAPA, 2009)

Da mesma forma a Embrapa também desenvolveu o “Zoneamento Agroecológico do dendê para as áreas desmatadas da Amazônia Legal” (Figura 10). Este trabalho possibilitou conhecer e espacializar o potencial agroecológico da produção da cultura do dendezeiro, visando à produção de óleo da palma para alimentação humana e para biocombustível de forma sustentável e com impacto reduzido sobre a biodiversidade da região, que resultou em 30 milhões de hectares (300 mil km^2) disponíveis para produção, que estão livres de impactos indesejáveis, (EMBRAPA, 2010). O estudo abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins, parte do Maranhão e cinco municípios de Goiás, compreendendo cerca de 60% do território brasileiro.

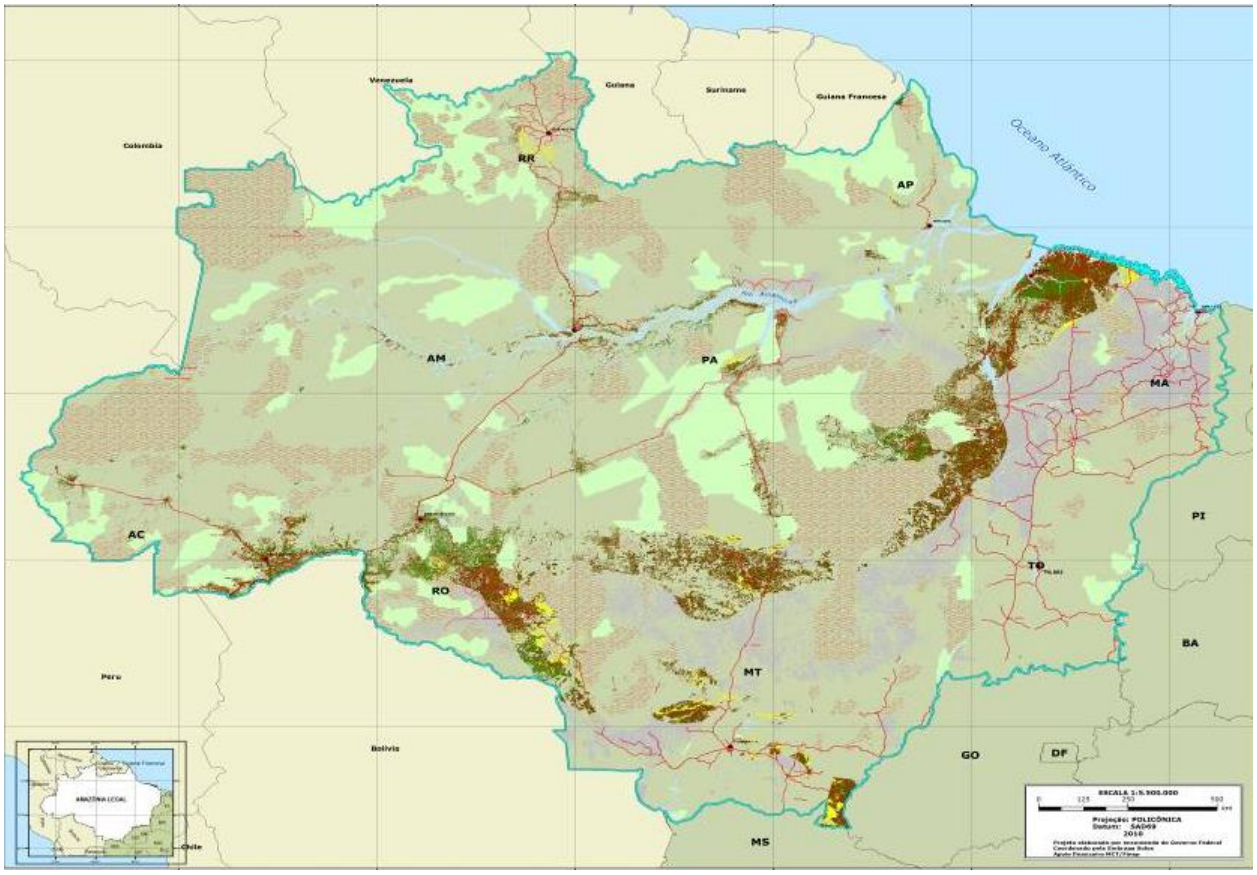


Figura 10. Zoneamento Agroecológico do dendê para as áreas desmatadas da Amazônia Legal
Fonte: (EMBRAPA, 2010)

Outros Estados como Mato Grosso do Sul lançaram seu próprio zoneamento econômico ambiental, não apenas para a cana, mas também para plantações de eucalipto para celulose e carvão vegetal, que são permitidas, principalmente em áreas degradadas que foram anteriormente utilizadas pela pecuária. De fato, o Zoneamento de Eucalipto em Minas Gerais,

foi o primeiro zoneamento a ser implementado no Brasil que inclui plantações de eucalipto. Na atualidade o estado de Minas Gerais detém a legislação ambiental mais rigorosa para o plantio de madeira no Brasil (EMBRAPA, 2007).

6. Situação atual da exportação de madeira para fins energéticos no Brasil

Entorno 700 milhões de cavaco de Acácia ssp., são exportados pelo Estado do Rio Grande do Sul, e aproximadamente 500 milhões de cavaco de Eucalyptus ssp., pelo Estado do Amapá. As exportações de cavaco de madeira no Brasil superam 1,2 milhões de toneladas, tendo como destino principalmente Japão e China. (AMCEL, 2017); (TANAC, 2017).

A participação do Brasil nesse mercado, no entanto, tem sido bastante modesta, já que comercializa apenas 2% de toda a madeira proveniente do setor florestal e 4,5% quando se trata da comercialização de madeira de florestas tropicais. Não existe, portanto, uma significativa participação do Brasil no mercado global de madeira, fato contrastante em relação ao tamanho de seu território. (OMACHI, 2004)

Na atualidade alguns portos brasileiros precisam se adequar para exportar biomassa. As condições de armazenagem ainda não são apropriadas para este mercado, outros obstáculos também são econômicos, financeiros e/ou jurídicos. Em primeiro lugar, é preciso um esforço especial e investimento público suficiente para superar as deficiências da infraestrutura de transporte. Em segundo lugar, estímulo ao financiamento de longo prazo para a criação de dispositivos legais que abordem a importância sócio-econômica das florestas plantadas.

Os sistemas de financiamento existentes no Brasil, como discutido a seguir, podem ser importantes para aumentar os investimentos para as exportações brasileiras. Este tema será retomado adiante nesta tese.

7. Os sistemas de financiamento no setor florestal

Ao lado do financiamento com recursos próprios, as empresas de base florestal passaram a investir mais nas chamadas TIMO’s - Timber Investment Management Organization, criado nos Estados Unidos e introduzida no Brasil na última década na forma de participação de fundos de investimento privado. Na atualidade existem cerca de 10 projetos de desenvolvimento na área florestal, que capta recursos no Brasil e no exterior. Esta nova forma de captação de recursos com base em incentivos fiscais poderia ter obtido maior sucesso, principalmente para fins florestais, no entanto, houve várias questões jurídicas no

governo relacionadas com a restrição sobre a aquisição de terras por estrangeiros que não contribuiu para a expansão do mesmo.

Existem linhas de financiamento público para pequenas e microempresas que queiram investir na plantação de florestas, embora relativamente escassos em recursos. Foram de grande importância para o desenvolvimento do setor florestal, entre 1965 e 1987. Durante esse período de incentivos fiscais e de crédito para reflorestamento, houve considerável expansão das áreas plantadas, e enorme desenvolvimento da indústria florestal, principalmente nos setores de carvão vegetal e celulose (SAE, 2011).

Na atualidade o governo federal oferece atualmente três linhas de financiamento em todo o país voltado ao para o reflorestamento e para o setor de madeira que são: PRONAF Florestal e Eco PRONAF, Propflora e BNDES Florestal. (BNDES, 2013)

Vários projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL para plantações de floresta existem no Brasil, mas o baixo custo de créditos de carbono não contribui para implementá-lo ainda mais. Também há propostas do Governo brasileiro para a proteção de florestas nativas em discussão no Fórum das Nações Unidas.

- *PRONAF Florestal e Eco PRONAF:*

É uma iniciativa do Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) que propôs, em 2002 e 2007. Resoluções do Banco Central do Brasil, as linhas de crédito do PRONAF Floresta e do Eco PRONAF são principalmente para os agricultores familiares. Os investimentos são focados em sistemas agroflorestais (SAF), os principais objetivos são de reflorestamento florestal para produtos madeireiros e não-madeireiros, energia renovável e de recuperação de áreas de preservação permanente - APP.

- *PROPFLORA:*

Originalmente chamado de Programa Comercial Florestal foi criado em julho de 2002 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da Resolução 2.992 do Banco Central do Brasil. Os recursos são do BNDES. O financiamento destina-se a plantar florestas, principalmente para uso industrial. Visa também a restauração e manutenção de áreas de preservação e reserva legal.

- *BNDES Florestal:*

Tem como objetivo apoiar as atividades de reflorestamento, e de conservação de áreas degradadas, e para o manejo florestal sustentável em áreas nativas. O financiamento pode ocorrer de duas maneiras: (i) o financiamento do plantio de espécies florestais para

empreendimentos que causem externalidades ambientais positivas (caso energético), e (ii) o financiamento do reflorestamento de áreas degradadas ou convertidas para o manejo florestal. Existem grandes incentivos do BNDES para o financiamento de florestas para energia.

Dentre as ações do governo brasileiro direcionadas à diversificação da matriz energética nacional, destaca-se o projeto de lei 3.529/2012, que instituirá a política nacional de geração de energia elétrica a partir da biomassa, estabelecendo a obrigatoriedade da contratação da bioenergia na composição nacional. Com a sanção desta lei, a geração de energia a partir da biomassa será inevitável e a participação da madeira como energia será ainda maior.

CAPITULO II – Oportunidades e desafios da biomassa sólida vegetal para produção de pellets de madeira no Brasil.

1. Introdução

O pellet é um biocombustível sólido resultado do tratamento industrial e da compactação – peletização da biomassa lignocelulósica. Devido a suas características de alta densidade, é um biocombustível com alto valor energético aproximadamente PCI (>4600 kcal/kg), baixa umidade (7 a 10%), diâmetro de 6 a 18 mm, facilidade de manuseio, transporte e armazenamento, ocupando menos espaço físico no armazenamento e no transporte. É um biocombustível com alto valor energético aproximadamente 18 MJ/kg. A combustão é altamente eficiente com reduzidas emissões de compostos químicos ou compostos orgânicos voláteis, tornando assim, os pellets uma das formas de aquecimento menos poluente que os resíduos lignocelulósicos ou de lenha natural (FAO, 1990). Surge, portanto uma alternativa para substituição da biomassa in natura e de outros combustíveis, obtendo como resultado à uniformidade operacional, ganho em rendimento térmico e segurança no suprimento de energia. Na Tabela 15 observa-se a comparação do valor energético de vários combustíveis.

Tabela 15. Valor energético e preço por combustível.

Combustível	**Poder Calorífico Inferior - PCI***		**Preço combustível**
	(MJ)	(kcal)	(R$)
cavaco de madeira (kg)	13	3100	0,35
pellets de madeira (kg)	18	4800	0,50
gás natural (m^3)	35	8447	1,05
etanol (l)	22	5100	1,90
óleo diesel (l)	38	9160	2,50

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (ANP, 2016); (MME, 2007).
*Quantidade de energia liberada por unidade de massa.

Como mostra a Tabela 15, o PCI dos pellets é superior ao da madeira. Além disso, os pellets correspondem a uma alternativa viável na redução de custos de grandes consumidores de energia térmica, que não se encontram próximos da fonte de biomassa in natura. Devido à redução de custos relacionados ao manuseio e transporte, no mercado internacional tradicionalmente este biocombustível é utilizado para aquecimento residencial e industrial para geração termoelétrica, substituindo combustíveis fosseis (FAO, 1990).

Basicamente o desenvolvimento do mercado de pellets de madeira está relacionado principalmente à demanda térmica do setor comercial e industrial, que no Brasil, poderiam absorver aproximadamente 21 milhões de toneladas de pellets por ano, substituindo combustíveis fosseis tradicionais em diversos setores produtivos, chegando a obter até 35% de economia (ESCOBAR, 2013). Porém, o maior potencial esta em atender a iminente demanda mundial de pellets de madeira combustível, como descrito a seguir.

2. Panorama do mercado internacional dos pellets de madeira na União Europeia e no mundo. O potencial brasileiro para exportação.

A partir de 2010 o consumo de pellets na UE apresentou crescimento significativo, em função de políticas que visam à redução da dependência dos combustíveis fósseis. Por um lado, a substituição de combustíveis fósseis, principalmente petróleo, visa o aumento da segurança de suprimento energético e a minimização dos impactos da elevação de seus preços. Países desenvolvidos, principalmente da UE têm feito esforços para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, através da substituição gradativa de combustíveis fósseis por fontes alternativas e renováveis de energia, como a biomassa sólida vegetal, principalmente em função da possibilidade de substituição de combustíveis fosseis de base, diferentemente das outras renováveis intermitentes. (IEEP, 2011); (EUROPEAN PARLIAMENT, 2015).

A Comissão Européia surge neste âmbito também com a elaboração de documentos e planos de ação vinculados à concretização das metas estabelecidas na Diretivas 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, e também para a COM, (2008) conhecida por Pacote Energia Clima 20-20-20. No relatório COM, (2010) estima-se que provavelmente a maior contribuição para o aumento do desenvolvimento da bioenergia provirá da biomassa sólida, fato que foi ratificado em 2015 na COP 21 em Paris. Além disso há países da EU que não conseguiram, até então, atingir as metas de redução de emissões, por conta do carvão das termoelétricas. A Alemanha desde 2009, esta produzindo eucalipto para pellets em Madagascar, após obter pouca redução na matriz interna de energia com fontes renováveis intermitentes como solar e eólica (GTZ, 2009); (BMZ, 2011); (COELHO & ESCOBAR, 2013).

O mercado de pellets combustíveis pode ser dividido em dois segmentos preferenciais, o uso residencial e o uso industrial, aí incluído seu uso em termoelétricas.

Em ambos os segmentos os pellets concorrem com combustíveis tradicionais, geralmente derivados de fontes fósseis, como o óleo combustível, o gás natural, o carvão mineral e, no caso da calefação, a energia elétrica (derivada de fosseis).

No caso do setor residencial, os pellets competem diretamente com o óleo combustível, o gás natural e a energia elétrica, nos usos finais de aquecimento de água e calefação.

Segundo Rakos (2007); há dois cenários para o crescimento da produção mundial, sendo que a partir de 2010, a taxa de crescimento pode sair de 18% a.a. e saltar para 25% a.a. (Figura 11), pois a demanda, principalmente na Europa, tem se mostrado firme, observado entre as curvas verde e vermelha.

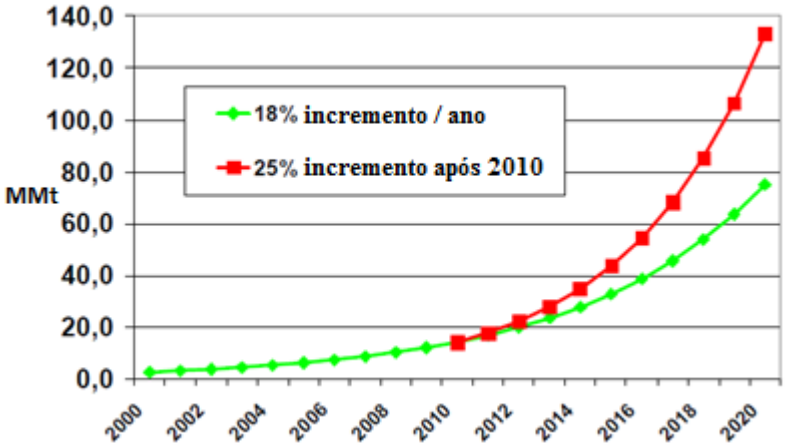


Figura 11. Cenários de produção mundial de pellets de madeira (2000/2020)
Fonte: (RAKOS, 2007)

Segundo (FAO, 2015); (AEBIOM, 2015); (REN21, 2016) as taxa de crescimento ao longo dos últimos quatro anos do mercado global de pellets de madeira são mais conservadoras que Rakos, (2007), cerca de 12% por cento ao ano, sua produção total foi cerca de 16,0 milhões de toneladas em 2010, e atingiu aproximadamente 28,0 milhões de toneladas em 2016; para ambos os setores (doméstico e industrial) que dividem o consumo entre 13,0 a 14,0 milhões de toneladas em 2016; Segundo a WPAC, (2017) que avaliou projeções de diversas fontes (FAO, 2015); (AEBIOM, 2015); (REN21, 2016) espera-se crescimento do mercado mundial de pellets de 15% ao ano nos próximos 10 anos, atingindo em 2025 aproximadamente de 43,0 milhões de toneladas.

A União Europeia destaca-se como o maior mercado produtor e consumidor de pellets (uso doméstico) para aquecimento. Na maior parte da Europa, onde muitos países têm altos

impostos sobre combustíveis derivados de petróleo para aquecimento, a demanda de pellets hoje é impulsionada pela mudança do clima do que pelos preços do petróleo. O desafio em curto prazo é o custo do combustível para aquecimento alternativo. Da mesma forma o segmento de geração termoelétrica, pois muitas companhias de geração de energia estão reduzindo suas emissões de dióxido de carbono a partir de substituições parciais de combustíveis em sua matriz energética, predominantemente fóssil. (WPAC, 2017)

O aumento da demanda dos pellets na UE ocorreu devido a conflitos que comprometiam a estabilidade da segurança energética regional. No inicio de 2009, a companhia russa Gazprom interrompeu totalmente o fornecimento de gás para a Ucrânia e seu transporte rumo à Europa, considerando que grande parte do gás é utilizada para aquecimento residencial. A partir desse momento observa-se um incremento exponencial desde 2009 dos pellets de madeira que assumindo o papel de substituto direto principalmente para aquecimento residencial (KOVACEVIC, 2009).

Outro fator relevante, no mesmo ano, foi a concretização das diretrizes de metas para redução de gases de efeito estufa na UE (COM, 2008). Os planos de substituição de combustíveis fosseis, o consequente acidente de Fukushima e o descomisionamento das nucleares em alguns países da Europa Wittneben, (2012), foram os fatores responsáveis pelo aumento progressivo do consumo de pellets de madeira na UE até os dias de hoje.

O maior uso desse bicombustível está sendo em sistemas *co-firing* (adição de pellets junto à queima de carvão). É nesse cenário que o mercado europeu de pellets tem crescido, e tende a crescer ainda mais, tanto na geração de eletricidade quanto no setor residencial.

O Reino Unido e Alemanha estão incentivando o uso exclusivo dos pellets para geração de energia; GTZ, (2010) a seguir, alguns exemplos recentes.

A Drax é a maior geradora de energia a carvão do Reino Unido com 4000 MW de potência instalada. Utiliza mais de 10 milhões de toneladas de combustível sólido por ano para fornecer 7% da eletricidade total gerada no país (Figura 12).

Figura 12: Instalações da termoelétrica Drax no Reino Unido
Fonte: Drax, (2013).

A Drax tem expectativas de gerar energia predominantemente por biomassa; os incentivos são do programa do Departamento de Energia e Mudanças Climáticas do Reino Unido, que em abril de 2013 concluiu a primeira unidade por pellets de madeira, com expectativas de ampliação das demais usinas até 2020 (Figura 12). O Governo britânico pretende expandir o programa até 2050.

Para atender à demanda de biocombustível sólido somente para a Drax, serão necessários 2,3 milhões de toneladas de pellets ao ano, que reduziram até 70% do CO_2 gerado até o momento, obtendo assim uma energia de base sustentável e apresentando uma grande oportunidade para o mercado mundial de pellets.

Prevê-se que a procura futura no Reino Unido e na UE se estabilize até 2020. Contudo, espera-se um grande crescimento no Japão e na Coreia a partir de 2020. A Coréia do Sul é o maior importador de pellets de madeira da Ásia-Pacífico. De acordo com a Korea Forest Biomass Association, suas importações podem subir de 1.5 milhão de toneladas em 2015 para mais de 8.5 milhões de toneladas em 2022. (WPAC, 2017)

Os fluxos de biomassa atuais são baseados principalmente em locais de produção maduros como Canadá e os Estados Unidos que já exportam pellet para a Europa. A necessidade de novos mercados é cada vez maior. Alguns países africanos como já ocorre em Madagascar e o Brasil situa-se como potenciais exportadores da demanda de pellets para a Europa, podendo em médio prazo incentivar a produção de pellets em países do sudeste asiático (Figura 13,14).

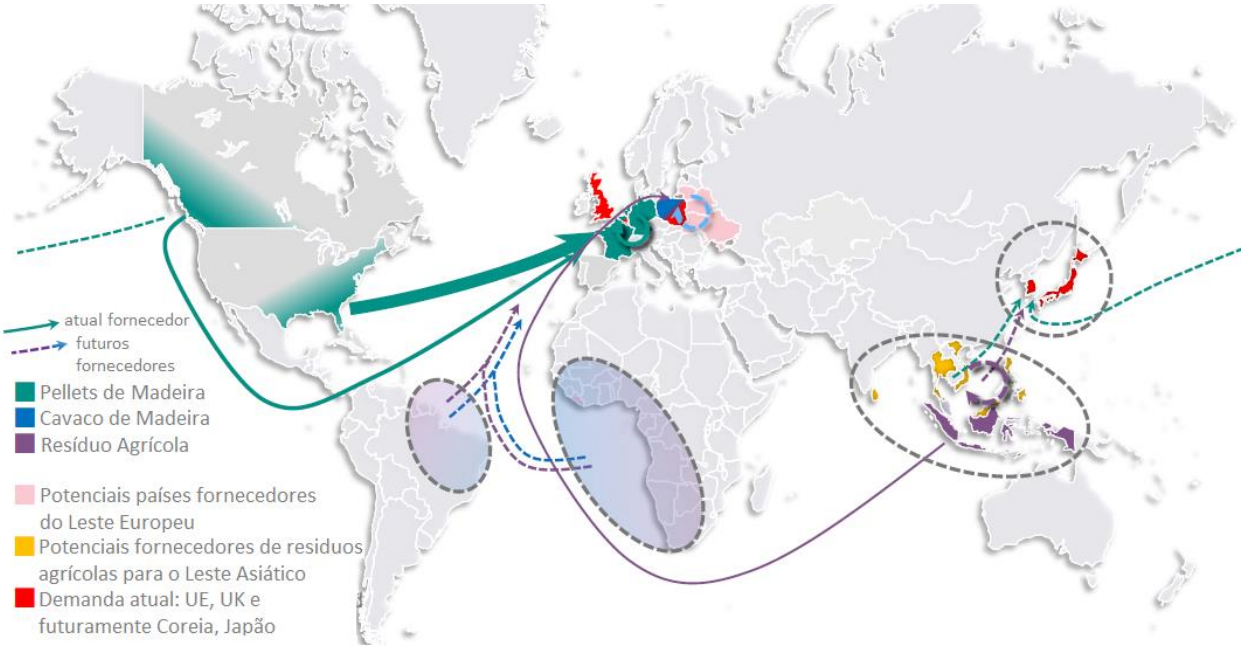


Figura 13. Fluxo de pellets de madeira dos provedores atuais e emergentes
Fonte: GDF SUEZ, (2013).

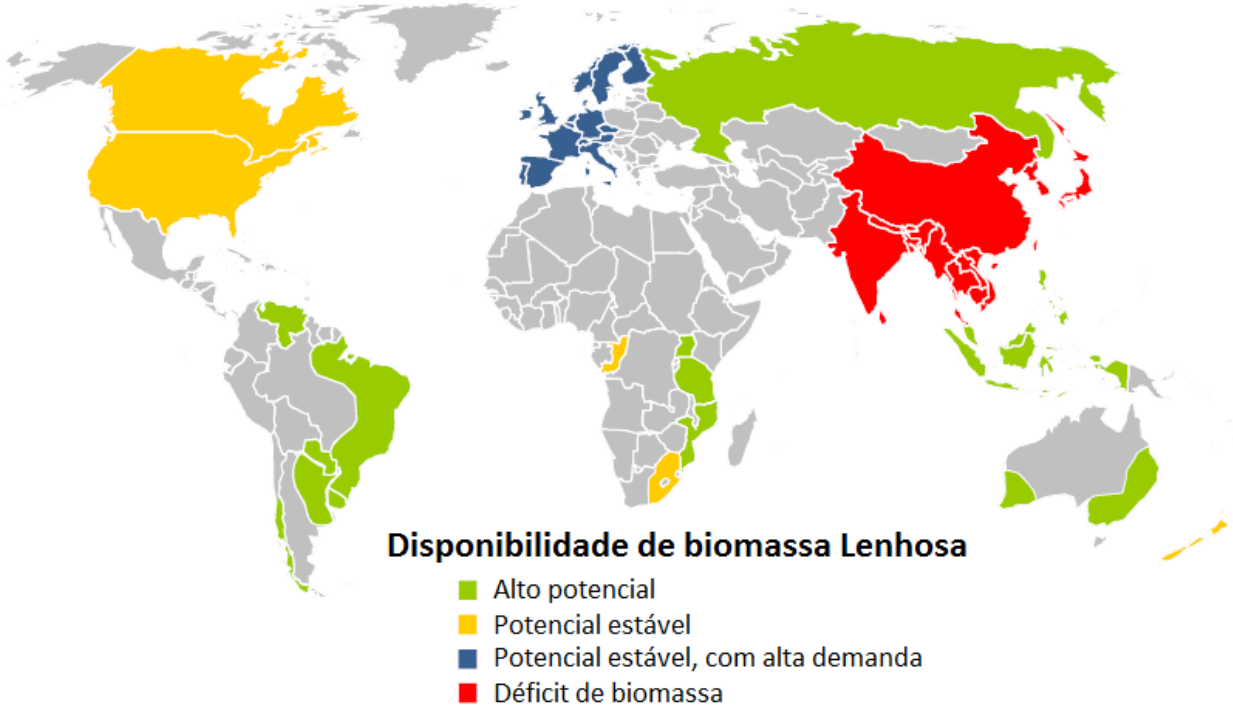


Figura 14. Mercado global de biomassa lignocelulósica para energia
Fonte: Pöyry, (2010).

Segundo a Pöyry Management Consulting, haverá fluxos bem definidos entre regiões quanto ao comércio internacional de pellets, com evidenciação de alguns países que deverão liderar este mercado nos próximos anos, principalmente na Europa e na China.

A origem da produção e do consumo dos pellets combustível, desde 2010 até 2020, pode ser observado nas Figuras 15 e 16, respectivamente.

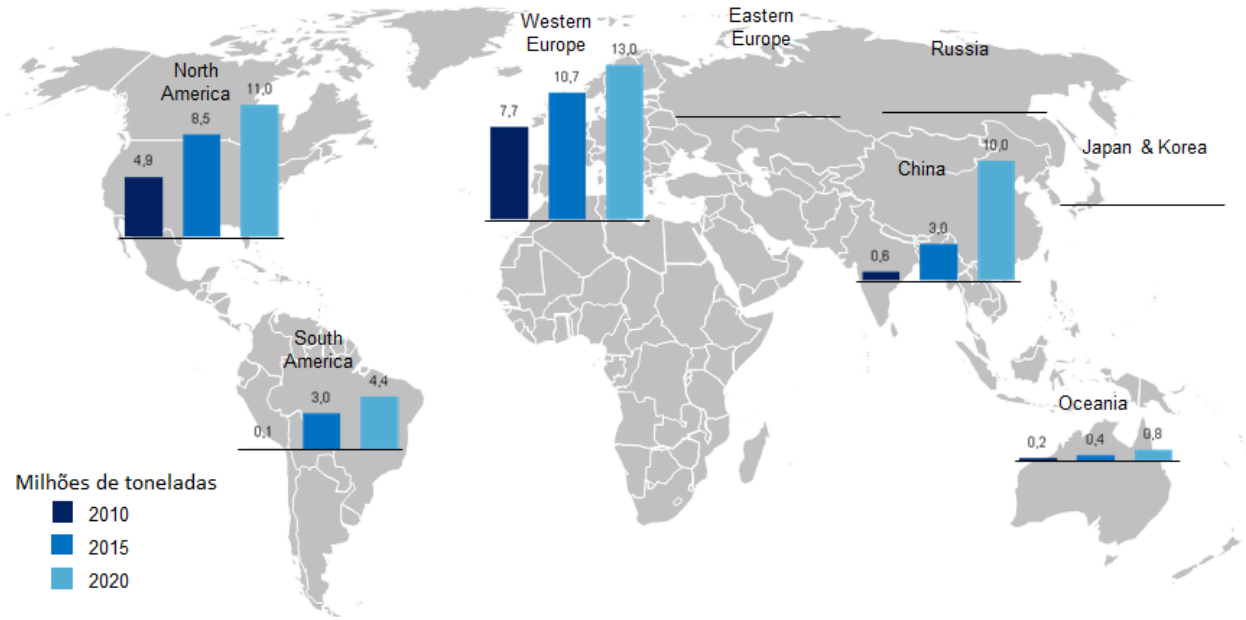


Figura 15: Produção de pellets de madeira por continente (2010/2015/2020)
Fonte: Pöyry, (2010).

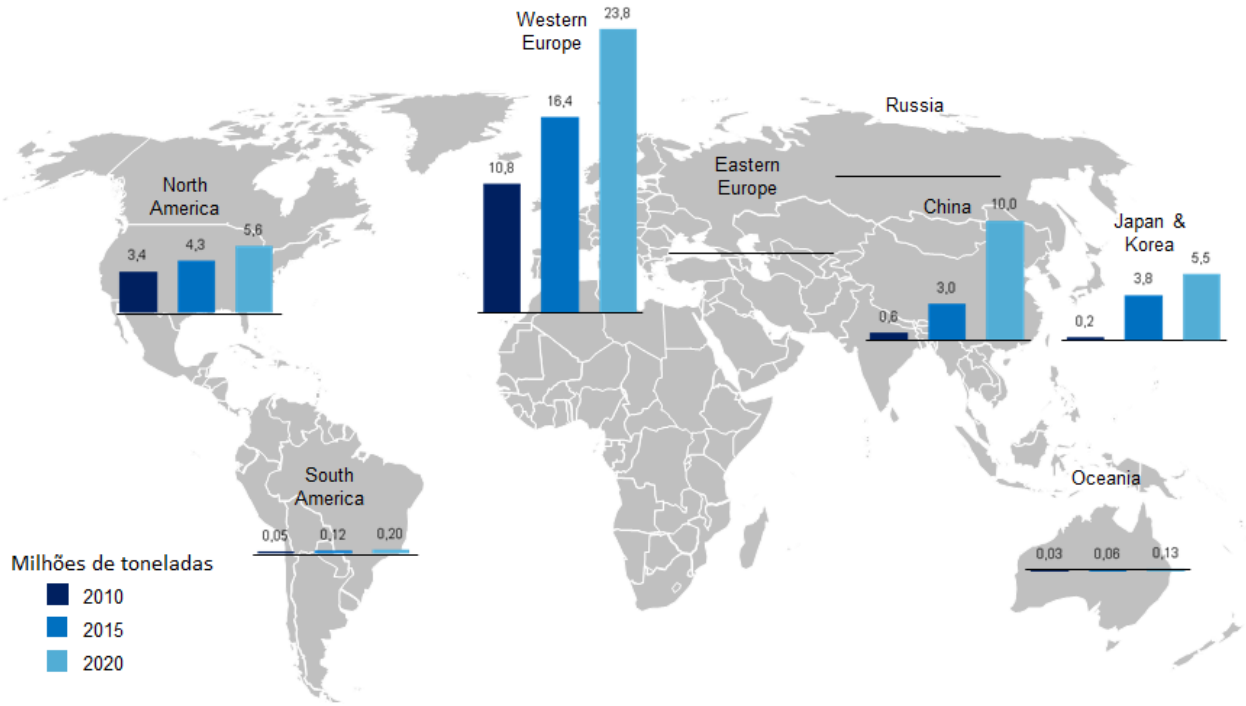


Figura 16: Consumo de pellets de madeira por continente (2010/2015/2020)
Fonte: Pöyry, (2010).

Os pellets representam menos de 1% do consumo mundial de bioenergia. (Biotrade2020, 2016). Quase 50% da produção é contabilizada pela UE, seguida pela

América do Norte com 33%; países como China e Rússia atuam com uma fatia menor do mercado que de forma conjunta é de cerca de 13% (REN21, 2016), (Figura 17). Isto indica que a América do Sul, e especialmente o Brasil, com grande potencial de produção de biomassa, não tem ainda uma parte significativa da produção mundial de pellets de madeira (Biotrade2020, 2016).

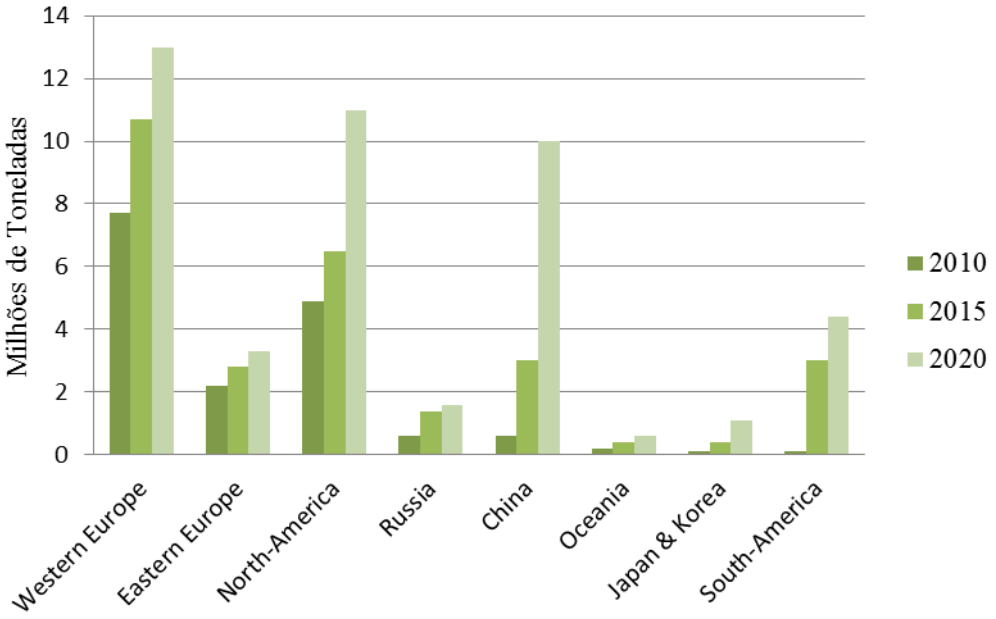


Figura 17. Projeção da produção mundial de pellets por região (2010/2015/2020)
Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (Biotrade2020, 2016).

Com relação os fluxos de consumo e de comércio de pellets de madeira (Figura 18) há uma clara tendência de que a UE consome, de longe, o maior volume 10,8 MMt em 2011 (Pöyry, 2011) e 15 MMt em 2015 (REN21, 2016), e o maior fluxo de importação vem com navios graneleiros norte-americanos para a UE. Dentro da UE, existe um fluxo de comércio interno dos países bálticos e da Finlândia no sentido da Suécia, Dinamarca, Bélgica, Holanda e Reino Unido (ALAKANGAS et al., 2012).

Antes de 2011, não existia comércio de pellets de madeira na América do Sul para a UE ou de qualquer outro continente. No entanto, o mercado de pellets de madeira na América do Sul, especialmente no Brasil, podem crescer rapidamente, os fluxos comerciais estão emergindo e o Brasil pode se tornar um importante fornecedor de pellets de madeira para a UE (HABERL et al, 2010); (COCCHI et al, 2011); (PÖYRY , 2011, 2012, 2013); (ABIPEL, 2013); (LAMERS et al, 2014); (Biotrade2020, 2016).

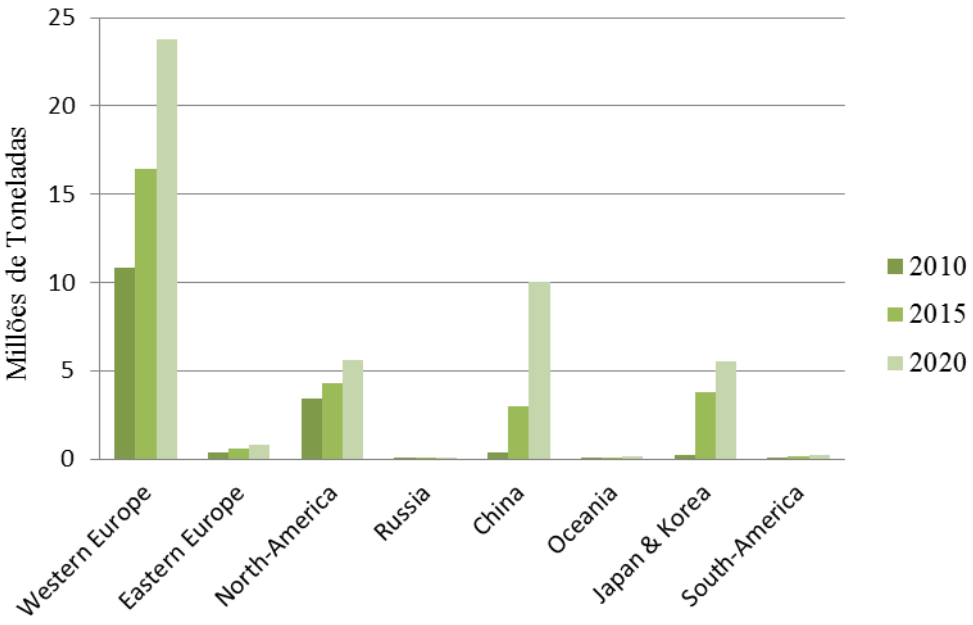


Figura 18. Projeção do consumo mundial de pellets por região (2010/2015/2020)
Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de (Biotrade2020, 2016).

A Figura 19, mostra a evolução histórica da produção e do consumo de pellets na União Europeia, no período de 2008 a 2010, mostrando seu crescimento exponencial (E), que justifica as projeções para 2015 e 2020 elaboradas pela Biotrade2020, (2016) de 10,7 e 13,0 milhões de toneladas para a produção e de 16,4 e 23,8 Mt para o consumo, respectivamente, e aponta para uma expressiva demanda por importações nesse continente (IEA, 2011).

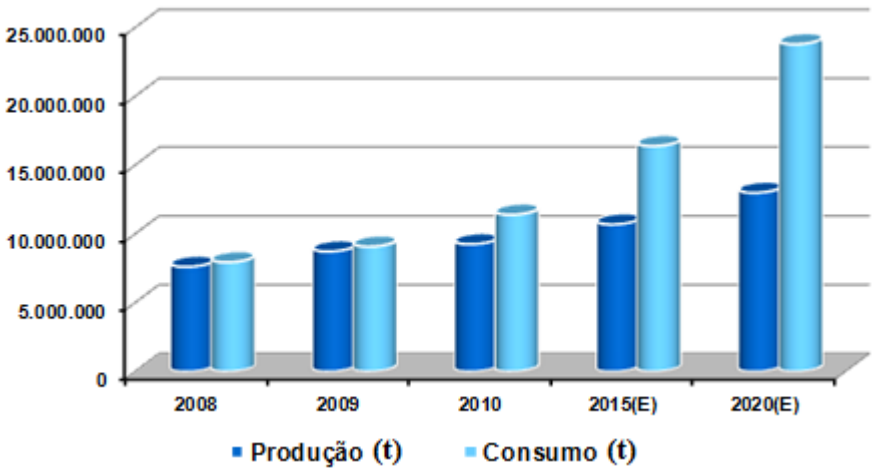


Figura 19. Produção e consumo de pellets de madeira na Europa (2008/2020)
Fonte: Adaptado de IEA, (2011).

Segundo o último relatório de pellets de madeira da Argus Biomass Markets, (2016) o preço médio *spot* (mercado disponível de transação imediata) para o terceiro trimestre de

2016 é de (CIF) US$ 127,17 por tonelada, tendo como referência os portos de Amsterdam-Roterdã-Antuérpia (ARA). Entretanto os preços variam dependendo da qualidade do pellets, porto (CIF) ou (FOB) e do mercado a ser atingido para uso residencial ou industrial, a granel ou ensacado, o que varia em média para o ano de 2016, entre US$ 97,00 a 200,00.

2.1 Normas e padrão de qualidade para biocombustível sólido vegetal na forma de pellets

No mercado dos pellets a normalização é utilizada, cada vez mais, como um meio, como em todos os mercados, para se alcançar qualidade. A UE através da CEN (Comitê Europeu de Normalização) estabeleceu, desde 1995, todas as propriedades relevantes dos combustíveis sólidos que incluem as informações normativas de análise para a forma, classe, propriedade, e características físico-química e mecânica que devem ser fornecidas, como (densidade, umidade durabilidade, largura, cinzas e finos, como taxas de nitrogênio, cloro e enxofre e outros metais pesados se existente). Além disso, deve garantir a qualidade de toda a cadeia de produção do biocombustível, transporte, armazenamento e distribuição. Com isso, o European Pellets Council - (EPC) é responsável pela implementação de ENplus, foi originalmente concebido em 2010 pelo Deutsches Pelletinstitut GmbH (DEPI) para padronizar a qualidade do sistema de certificação dos pellets de madeira no mercado energético. (PELLCERT, 2016).

Os produtores seguem um código de boas práticas que especifica dois tipos de combustível: Premium e Standard. O primeiro, para uso no aquecimento residencial; e o segundo, para uso comercial e industrial (VERHOEST e RYCKMANS, 2012).

No mercado internacional são definidas estas duas classes para os pellets de madeira: uma com qualidade superior *premium* e outra considerada *padrão*. A única diferença está no teor-limite de cinzas inorgânicas. A norma ISO 17225-2 divide os pellets de madeira em três classes de qualidade para o uso residencial, sendo a ENplus-A1 considerada *premium*, a ENplus-A2 uma classe intermediária, e a EN-B menos restritiva na maioria das características dos pellets de madeira. (HAHN, 2004). Da mesma forma a ISO 18122 existe para uso industrial. Os compostos mais controlados são os teores de cloro e o enxofre, pela formação de gases mutagênicos como dioxinas e furanos, e, o teor de cinzas (abrasivo e prejudicial ao processo termodinâmico).

A Tabela 16 apresenta os valores máximos permitidos pela ENplus e ISO 18122 para teor de cinzas (composta por inorgânicos presentes na biomassa) e para teor de cloro (em função da formação de dioxinas - organoclorados) e de Enxofre (formação de furanos).

Tabela 16. Teor de cinzas cloro e enxofre aceitáveis na norma internacional ENplus para o mercado de bicombustível sólido na forma de pellets.

Norma e Padrão do pellets combustível		Unidade	Cloro (Cl)	Enxofre (S)	Teor de cinzas
Uso residencial	*(Enplus)*-A1	w-%	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,7
	(Enplus)-A2	w-%		≤ 0,05	≤ 1,2
	(Enplus)-B	w-%	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 2,0
Uso industrial	*(ISO18122)*-I1	w-%	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 1,0
	(ISO18122)-I2	w-%	≤ 0,05		≤ 1,5
	(ISO18122)-I3	w-%	≤ 0,06		≤ 3,0

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (ENplus, 2015); (ISO18122).

O sistema de certificação "ENplus" e semelhantes é aplicado tanto nas operações na Europa como para as importações e é válido para os mercados de pellets para a energia.

No Brasil ainda não existe nenhuma norma para a padronização de combustíveis sólidos como os pellets, isso porque a maioria da biomassa utilizada nas fábricas é residual, o qual não atinge a qualidade e escala necessária para atender o mercado internacional. Em alguns casos utiliza-se a biomassa nobre deslocada do setor produtivo (celulose, painéis, carvão vegetal, etc.), com alto preço de mercado, dificultando nesse caso atingir competitividade comercial.

De forma geral a biomassa brasileira, na sua maioria apresenta altas taxas de cloro, Keene et.al., (1986); Mello, (2001) o qual inviabiliza o enquadramento nas normas internacionais. A formação de dioxinas em função do cloro é a problemática central do uso da biomassa brasileira no mercado mundial de pellets de biomassa, tema que será apresentado e discutido nos capítulos seguintes.

3. Situação atual dos pellets combustível no Brasil

Na atualidade no Brasil, existem apenas 13 fábricas de pellets operando, com uma produção total de 75.000 toneladas/ano, utilizando somente 37% do total da capacidade instalada de 200.750 toneladas/ano, como apresentado na Tabela 17.

Tabela 17. Capacidade instalada e produção de pellets de madeira no Brasil

Nº	Indústria	Cidade/UF	Capacidade (t/ano)	Produção (t/ano)	Biomassa	Início (ano)	Situação Atual
1	Briquepar	Telêmaco Borba/PR	7.000	4.800	pinus	2004	On
2	PelletsBraz	Porto Feliz/SP	12.000	4.800	pinus	2004	On
3	Energia Futura	Benedito Novo/SC	9.000	4.800	pinus	2007	On
4	BR Biomassa	Maringá/PR	22.500	0	pinus	2008	Off
5	Ecopel	Itaju/SP	22.500	0	pinus	2008	Off
6	Koala Energy	Rio Negrinho/SC	60.000	30.000	pinus	2008	On
7	Línea Paraná	Sengés/PR	30.000	0	pinus	2008	Stand by
8	Wood Tradeland	Tunas/PR	24.000	0	pinus	2009	Off
9	Ecoxpellets	Bandeirantes/PR	37.500	0	pinus	2010	Off
10	Piomade	Farroupilha/RS	3.750	2.400	pinus	2010	On
11	Biopellets	Lins/SP	30.000	2.000	pinus	2010	On
12	Timber S.A.	Piên/PR	45.000	6.000	pinus	2012	On
13	Resisul Pellets	Itapeva/SP	3.000	2.400	pinus	2012	On
14	Iemol Pellets	S.João B. Vista/SP	3.000	2.000	pinus	2014	On
15	ARAUPEL pellets	Quedas Iguaçú/PR	6.000	5.000	pinus	2014	On
16	Vale Tibagi	Telêmaco Borba/PR	7.000	5.000	pinus/eucaliptos	2014	On
17	Chamape Pellets	Vale Real/RS	3.000	1.800	pinus	2014	On
18	Tanac Pellets	Rio Grande/RS	80.000	0	acácia-negra	2015	Projeto
19	Pellets Nordeste	Recife/PE	60.000	0	capim elefante	2015	Projeto
20	Raízen pellets	Jaú/SP	120.000	0	bagaço de cana	2015	Stand by
21	Forespel	São José Ausentes/RS	100.000	0	pinus	2015	Projeto
22	Incobio pellets	Concórdia/SC	12.000	4.000	pinus	2015	On
23	Cosan	Jaú/SP	175.000	0	palha/bagaço	2015	Stand by
Total			**200.750**	**75.000**			

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (Dorival et.al, 2016).

Observa-se que há 10 fábricas que estão desligadas, paradas ou em projeto para operação. A produção de pellets é inferior à capacidade devido ao uso, na sua maioria, de biomassa residual, ou de biomassa nobre de pinus/eucalipto, com custos pouco competitivos, o que impede a produção em maior escala.

Atualmente, a maioria da produção das indústrias de pellets brasileira (aproximadamente 81%), está concentrada na Região Sul, distribuídos pelos estados de Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, maiormente utilizando resíduos de serrarias ou de cavaco de pinus concorrendo com outros setores que demandam madeira. E o restante (19%) é produzido no estado de São Paulo (Região Sudeste), onde ocorre a maior concentração de plantio de pinus e eucalipto no país, e concentram também 73% dos resíduos das indústrias de madeira provenientes de florestas plantadas. A região sudeste, embora apresente maior disponibilidade de resíduos de florestas plantadas, o mesmo, fica no campo como adubo para o próximo plantio, a madeira retirada da floresta é destinada para abastecer

o setor de celulose, painéis entre outros. Na Figura 20 segue a distribuição das fábricas de pellets no Brasil.

Figura 20. Fábricas de pellets no Brasil.
Fonte: Elaborado pelo autor.

No momento, três empresas que exportam pellets de resíduo de pinus o qual atinge a qualidade internacional, porém dificilmente atinge preço e escala necessária para começar a ter uma participação significativa no mercado internacional de pellets de madeira.

Atualmente o preço de venda dos pellets de biomassa no mercado interno brasileiro varia de R$ 450,00 a R$ 600,00 por tonelada (FOB). No processo de fabricação, o alto custo da produção é um dos desafios; no geral, essas fábricas são de pequeno porte, com baixa

eficiência produtiva e, consequentemente, alto custo de produção, com equipamentos que produzem de 0,5 a 4,0 t/h. (Dorival et.al, 2016).

No Brasil o custo de produção por tonelada de pellets de madeira de uma fabrica padrão esta entorno de R$ 380,00 o qual equivale a 50% da capacidade instalada - operação e manutenção, e 50% na aquisição da biomassa residual.

De fato, o setor dos pellets brasileiro ainda se desenvolve lentamente. Existe pouca informação e em geral sua produção é em pequena escala, destinada principalmente ao mercado térmico ou doméstico (até mesmo como granulado higiênico para gatos, desaproveitando assim, o seu uso energético). (ABIPEL, 2013).

O uso exclusivo da biomassa residual inviabiliza a escala produtiva que é decorrente de diversos fatores, como a descentralização dos resíduos agrícolas, a falta de incentivos fiscais específicos para a produção de biomassa para fins energéticos.

A baixa produção nos últimos anos prova a realidade do mercado interno, e a carência de informação dos potenciais usos dos pellets combustível como biomassa moderna no Brasil, (Tabela 18).

Tabela 18. Capacidade instalada e produção de pellets de madeira no Brasil 2011 a 2015.

Indústria de Pellets no Brasil	2011	2012	2013	2014	2015
Capacidade Instalada (t)	222.375	232.600	218.650	176.640	200.750
Produção de pellets agroflorestal (t)	50.080	56.580	61.500	49.390	75.000

Fonte: Elaborado pelo autor com base em (Dorival et.al, 2016)

A capacidade das plantas instaladas de peletização deve aumentar de acordo com a expansão estimada da capacidade de peletização no mundo, que é de 14,1% ao ano entre 2015 e 2023 de acordo com um relatório publicado pela Transparency Market Research, (2017). Supõe-se que esta taxa de crescimento continue até 2030. A capacidade de usinas de peletização atualmente existentes é adequada para pellets de biomassa florestal exclusivamente, por suas características discutidas anteriormente.

Os pellets agrícolas têm diversas desvantagens em comparação com pellets florestais, tais como menor teor energético e maiores taxas de enxofre, nitrogênio, cloro e sílica, que após a combustão estas substâncias atuam como abrasivos corrosivos e mutagênicos (VISASPACE, 2011); (WPAC, 2017). Supõe-se que até 2020 toda capacidade instalada da usina de peletização será para uso apenas com biomassa lenhosa. Em 2030, 30% da

capacidade adicional deverá ser de biomassa agrícola para pelletização, e 70% continuaria para a biomassa lenhosa. (Biotrade2020, 2016).

4. O potencial das florestas energéticas do gênero Eucalyptus ssp. no Brasil.

A chave para o futuro da bioenergia sólida vegetal no Brasil parece estar fortemente vinculada às plantações florestais. Há duas opções para alcançar grandes produções de pellets: aproveitamento de resíduos de biomassa lignocelulósica e plantações destinadas a uso energético.

As características de produção e acesso de cada uma destas possibilidades são muito variáveis. As estimativas da disponibilidade de resíduos de madeira e resíduos florestais são incertas e dependem das circunstâncias locais. Considerando mais de 5.000 municípios em uma área de cerca de 850 milhões de hectares (8.500.000 km^2), o acesso e a centralização destes resíduos no vasto território nacional torna-se inviável atingir escala produtiva e uniformidade do combustível sólido vegetal, pois apresenta barreiras logísticas, econômicas e em muitos casos socioambientais. (ESCOBAR, 2015)

Apesar da pouca informação disponível sobre estes parâmetros, principalmente devido à dispersão deste material no campo entende-se que as oportunidades são inicialmente concentradas no uso de resíduos de biomassa de fácil acesso sem a necessidade de transportá-lo, fato que o torna disponível.

No entanto, a situação (promissora) do potencial energético das plantações florestais para impulsionar o mercado de pellets no Brasil merece uma atenção especial.

O caso brasileiro para o cultivo da espécie Eucalyptus ssp., com longa tradição no país, poderia ser projetado para fornecer madeira para geração exclusiva de energia, principalmente para os setores energo-intensivos que já utilizam madeira na sua matriz energética de processo.

Como já foi discutido, o Brasil é o maior produtor de madeira de florestas plantadas principalmente de eucalipto. Atualmente o reflorestamento de madeira tornou-se um processo tecnológica, econômica e ambientalmente viável, cuja finalidade é a produção de matérias-primas para várias indústrias que dependem de madeira no processo. Outro ponto a ser observado é que o gênero Eucalyptus ssp. está sendo estudados no Brasil desde 1960, e foi o determinante para desenvolvimento e a produção atual.

Atualmente com os avanços conquistados tanto na área de geração termoelétrica quanto na área da silvicultura no Brasil, tornam promissoras as expectativas quanto ao uso da

biomassa florestal como insumo para geração de energia, para a substituição de combustíveis tradicionais, não somente por suas características energéticas, mas também pelo potencial de redução dos gases de efeito estufa. (ESCOBAR, 2015); (EUFRADE, 2016).

Outro ponto a ser destacado é que a principal espécie utilizada para a sua produção, como o eucalipto, pode ser cultivado em áreas degradadas ou consideradas impróprias para o cultivo de outras espécies, fato que o converte em possível líder no mercado da biomassa para bioenergia.

O país conta com 105 milhões de hectares de áreas degradadas disponíveis para diferentes usos, principalmente para o cultivo de florestas energéticas, sendo o eucalipto a principal espécie em potencial. O zoneamento agro-ecológico da cana, como visto, também aponta potencial para 70 milhões de hectares de áreas degradadas disponíveis com a intensificação de pastagens (pecuária), dos quais 30 milhões de hectares possíveis de serem usados para florestas energéticas (EMBRAPA, 2009).

A perspectiva é utilizar estas áreas para garantir uma futura demanda de madeira de alto valor agregado, parte da qual poderia servir para atender o mercado energético de lenha, carvão vegetal e dos pellets de madeira, podendo assim diminuir o atual déficit de madeira nativa utilizada para energia no país, como discutido na Tabela 8 desta tese.

Vale ressaltar que a produção de floretas plantadas tradicionais de eucalipto com espaçamentos de 3x2 e 3x3 metros de plantio entre plantas, com ciclo produtivo de 5 a 7 anos apresenta um custo médio de produção final (muda, plantio, custo do terreno, adubação, colheita e transporte) em torno R$ 160,00 a 180,00 por tonelada. Apresentando Incremento Médio Anual – IMA (nacional – 41 m^3/há/ano); (IBÁ, 2015) em torno de 25 toneladas de massa seca por hectare ano. Nessas condições, a produtividade da madeira é capaz de atender somente a demanda nacional do setor madeireiro (celulose, painéis, etc.) sendo na maioria dos casos inviável economicamente para uso energético.

A solução seria em produzir florestas energéticas de curta rotação, que com o mesmo custo produtivo das florestas plantadas tradicionais, permite atingir rendimentos de 45 - 55 toneladas de massa seca por hectare em ciclos de 1,0 anos (o dobro da produtividade por hectare ano do plantio tradicional), como exemplificado na Figura 21.

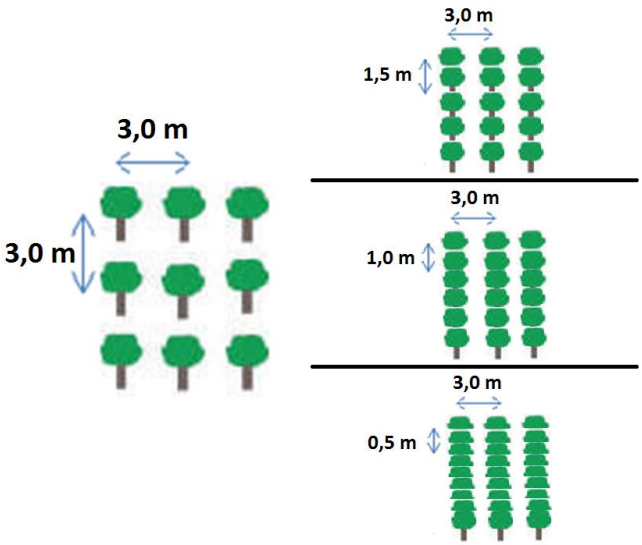


Figura 21. Esquema para exemplificar a conformação do espaçamento entre plantas para um plantio tradicional típico para eucalipto e para o plantio de curta rotação.
Fonte: Elaborado pelo autor

Com o aumento do número de plantas por hectare ocorre uma maior produção de biomassa em menor área útil, assumindo espaçamentos variáveis de (3x0.5, 3x1,0 e 3x1.5 metros); após a colheita do primeiro ano, ainda é possível retirar dois ciclos de rebrota, dependendo do tipo de equipamento para colheita e ciclos de adubação (GUERRA et al., 2012), (EUFRADE, et al., 2016) (COUTO e MÜLLER, 2006) (GARCIA, 2010).

A Tabela 19, compara as diferentes taxas de produção. Cabe ressaltar que para tingir colheitas de segunda e terceira rotação, deve-se ter cuidado no momento da colheita, que é mecanizada, para evitar o rompimento do meristema cambial da madeira, o qual inviabiliza a rebrota, consequentemente a viabilidade econômica da floresta de curta rotação para energia, caso que ainda deve adequar-se um modelo de colheita para este tipo de trato silvicultural (ESCOBAR, 2013).

Tabela 19. Taxa de produção de floresta de eucalipto com plantio tradicional e de floresta energética de curta rotação para energia.

Espécie	**Rotação (corte) (anos)**	**Espaçamento entre arvores (m)**	**Plantio (n. árvore/ha)**	**Produção (t MS/ha.ano)***
Eucalyptus spp. pantio tradicional	5 a 7	3x2 / 3x3	1111 / 3333	20 / 25
Eucalyptus spp. curta rotação	2 a 3	3x0,5 / 3x1,0 /3x1,5	2222 / 6666	40 / 55

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (EUFRADE, 2016)
*toneladas de massa seca por hectare ano.

Nesse contexto as florestas plantadas para fins energéticos apresentam um cenário bastante positivo para o cenário internacional de biomassa sólida para energia.

Atualmente no Brasil não existem dados de produção comercial destes sistemas florestais de curta rotação para energia, e os valores obtidos até agora são representados em escala experimental. Porém, os resultados obtidos até o momento somado as características produtivas, demostra o enorme potencial de produção de biomassa para energia no Brasil. (COUTO e MÜLLER, 2006) (GARCIA, 2010), (GUERRA et al., 2012), (EUFRADE, et al., 2016).

Outras espécies como o bambu e o capim elefante produzem entre 35 a 80 toneladas de massa seca por hectare ano. Em contra partida estas espécies apresentam altas taxas de sílica (GOMIDE, et. al., 1981); (ANDREÃO e CORDEIRO, 2012). A sílica, quando presente na combustão, apresenta problemas de craqueamento na superfície da caldeira diminuindo o rendimento térmico que podem levar a desfluidização do leito (HUANG, et, al., 2001). O bambu e o capim elefante, entre outra biomassa sólida vegetal, pode ser peletizado, porém dificilmente se enquadrariam no padrão de qualidade exigido por apresentar (após a queima) altas taxas de cinzas de 2% para o Bambu e 5% para o Capim Elefante, comparados com o Eucalyptus e o Pinus que geram 0.5% e 0.25% de cinzas consequentemente (STANISLAV et.al., 2010), A Tabela 20 apresenta teores de cinza nos diferentes tipos de biomassa agrícola e lenhosa.

Tabela 20. Teor de cinzas em biomassa sólida vegetal.

Tipo de Biomassa	**Média do teor de cinzas (%)**
Pellets Madeira Pinus	0,3
Pellets madeira eucalipto	0,5
Pellets de bagaço de cana	2,0
Pellets de (palha/ponta) de cana	10,0
Pellets bambu	2,0
Pellets casca de arroz	17,0
Pellets de palha de milho	6,0
Pellets de casca de amendoim	6,0
Pellets de fibra de coco	2,5

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (HUANG, et, al., 2001); (ABIPEL, 2013); (STANISLAV et.al., 2010); (JONES, 2014).

A quantidade máxima de cinzas permitida para pellets segundo as normas europeias *ENplus-A1, PellCert e ENplus-A2* é de 1% (PELLCERT, 2016).

Nesse contexto o Brasil apresenta grande potencial para participação do mercado de pellets de madeira. Entretanto, apesar das características produtivas para geração, ainda existem barreiras técnicas, econômicas e logísticas para a produção de pellets de madeira em grande escala no Brasil, que devem ser bem avaliados, como discutidos a seguir.

A UE tem um sistema de certificação uniforme, chamado "ENplus", tanto para transações dentro da Europa, como para importações, sendo bastante restrito para o mercado de pellets residencial. Além das rígidas restrições de GEE, este mercado representa uma maior demanda, com aceitação de volumes flexíveis para participação, no qual seria uma vantagem para pequenos produtores no Brasil. (ENPLUS,2015); (ISO18122).

O maior potencial brasileiro se encontra na produção dedicada de eucalipto de curta rotação, mas, apresenta um entrave no mercado residencial por apresentar altas taxas de cloro entorno de 0,1%, em comparação as taxas permitidas pela "ENplus", de 0,02 a 0,03% para uso residencial, e de no máximo 0,06% para uso industrial, a Tabela 21 compara os valores permitidos para cada composto por classe de uso.

Tabela 21. Comparação do pellet brasileiro de pinus e eucalipto com as normas internacionais para uso residencial e industrial.

Norma e Padrão do pellets combustível		Unidade	Cloro (Cl)	Enxofre (S)	Teor de cinzas
Uso residencial	*(Enplus)*-A1	w-%	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,7
	(Enplus)-A2	w-%		≤ 0,05	≤ 1,2
	(Enplus)-B	w-%	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 2,0
Uso industrial	*(ISO18122)*-I1	w-%	≤ 0,03	≤ 0,05	≤ 1,0
	(ISO18122)-I2	w-%	≤ 0,05		≤ 1,5
	(ISO18122)-I3	w-%	≤ 0,06		≤ 3,0
Pellets de madeira brasileiro	*Pinus ssp.*	w-%	≤ 0,02	≤ 0,04	≤ 0,3
	Eucalyptus ssp.	w-%	0,02 ≥ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,5
	short rotation Eucalyptus ssp.	w-%	0,02 ≥ 0,1	≤ 0,05	≤ 2,7

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (ENplus 2015); (ISO18122).

Na Tabela 21 observa-se que os pellets de pinus atingem as taxas de cloro, enxofre e cinzas permitidas para o mercado residencial, o qual esta sendo produzido no Brasil, porém o pinus não atinge o mesmo rendimento técnico econômico, muito menos o potencial de escala produtiva comparado com o caso do eucalipto de curta rotação, proposto e discutido nesta tese (que poderia atingir taxas de produtividade e custo de produção da biomassa ideal para atender o mercado internacional de pellets residencial).

O cenário de produção de eucalipto de curta rotação poderia abastecer também o

mercado internacional de pellets industrial (termoelétricas), o qual apresenta restrições normativas menos rígidas comparadas com o mercado residencial, porém demanda uma produção de 1,0 milhão de toneladas por ano (escala mínima para atingir viabilidade econômica no mercado internacional de pellets industrial termoelétrico).

Embora o eucalipto de curta rotação apresente um cenário promissor de (escala e produtividade) o pellet brasileiro apresenta taxas de cloro e de cinzas até cinco vezes superiores ao permitido pelas normas internacionais.

O desafio central encontra-se em reduzir as taxas de cloro e outros inorgânicos presentes na madeira de eucalipto para possibilitar a penetração dos pellets de madeira brasileiro no mercado internacional. Assunto discutido no seguinte capítulo desta tese.

CAPITULO III. Produção de biocombustível sólido com baixo teor de cloro dentro dos padrões internacionais.

1. Introdução

O alto preço dos combustíveis fósseis no mundo e o interesse em substituir fontes fósseis de energia por outros com base em recursos renováveis, levou a um aumento dramático na demanda para biomassa peletizada que pode ser queimada para uso doméstico, principalmente para o aquecimento residencial ou para a substituição de carvão em outros combustíveis fosseis em termoelétricas.

Na UE encontra-se o maior mercado mundial de pellets de madeira e sua produção concentra-se principalmente nestes países europeus, seguidos dos EUA, Canada e Rússia; nessas regiões onde se produz pellets de madeira, a precipitação pluvial é majoritariamente proveniente de água doce de geleiras. A chuva e a neve europeia originam-se da evaporação do ártico - clima frio com baixa evaporação de compostos de cloro e sublimação do gelo que rejeita o sal na sua solidificação (STUMM & MORGAN, 1970); (HOLLEMAN-WIBERG'S, 1995). Nestas condições, as espécies de madeira e as demais biomassas são produzidas com baixas taxas do elemento cloro e compostos inorgânicos, enquadrando-se facilmente nas normas Enplus ou semelhantes, a serem atendidas para a produção pellets de madeira.

Considerando as metas 20/20/20 e os planos de descarbonização da UE, verifica-se o crescimento contínuo do mercado mundial dos pellets de madeira, e para atender a demanda, será necessária, a inclusão de países emergentes dos quais revelam potencial os países da Oceania, da África e da América Latina, principalmente o Brasil, dado que o Brasil possui grande vocação na produção sustentável de florestas para produção de madeira do gênero Eucalyptus ssp. No Brasil a produtividade destas espécies é entre 30% a 50% superior a qualquer país do mundo, tornando a espécie ideal para produção em escala de pellets de madeira para energia.

O problema central consiste em que estes países, diferentemente dos atuais produtores principais, estão localizados na zona tropical do planeta e, embora evidenciem condições edafoclimáticas favoráveis para produção de biomassa, apresentam precipitação de água proveniente majoritariamente dos oceanos com alta evaporação - com concentrações molares de íons inorgânicos dissolvidos na chuva de até 85%, contendo o elemento cloro, em suas altas taxas de (NaCl), além de outros compostos inorgânicos que se depositam no solo, sendo absorvidas nas biomassas em seu processo de crescimento, consequentemente também na

madeira do Eucalyptus ssp. (STUMM & MORGAN, 1970); (RILEY & CHESTER, 1971); (KEENE et.al., 1986); (MELLO, 2001). A Figura 22 ilustra as zonas climáticas no planeta.

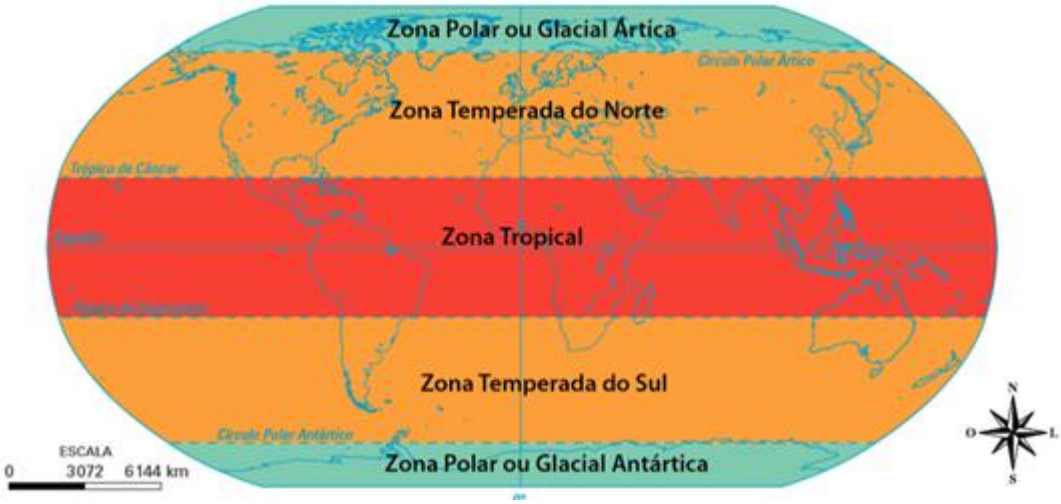


Figura 22. Zonas climáticas.
Fonte: Atlas Geográfico, IBEP,2012.

Em consequência, durante a combustão da biomassa em sua forma natural, formam-se gases poluentes tóxicos (as dioxinas como já mencionado) que causam problemas ambientais, de saúde e também causam perdas econômicas por corrosão dos equipamentos, fatos estes que impedem a certificação de atendimento as exigências das normas aplicáveis Enplus e semelhantes, que definem requisitos de qualidade e sustentabilidade para os pellets de madeira no mercado Europeu e/ou internacional.

No Brasil a taxa de cloro, presente na madeira de eucalipto é em média cinco vezes superior ao permitido pelas normas Enplus para pellets de madeira para uso residencial; há também a presença de outros inorgânicos que após a combustão, com um teor de cinzas que pode atingir até cinco vezes o valor permitido.

O método aqui desenvolvido compreende o pré-tratamento da biomassa, aplicado, antes da peletização, ao lenho de característica anatômica juvenil, proveniente de florestas plantadas de diferentes idades e diferentes tipos de trato silvicultural. Ele propicia além do uso exclusivo de madeira de lenho juvenil, a sua combinação com madeira de lenho adulto de eucalipto em proporção que permita o atendimento ao disposto às normas aplicáveis quanto ao teor de cloro e de outros inorgânicos presentes no biocombustível sólido final.

O processo consiste em remover o cloro e outros inorgânicos, tais como metais alcalinos, da madeira do gênero Eucalyptus ssp., com a finalidade de permitir a produção de

biocombustíveis sólidos (na forma de pellets de madeira e outras) livres de dioxinas e compostos corrosivos resultante da combustão, e que atendam as normas Enplus e semelhantes permitindo assim a sua comercialização no mercado europeu e internacional.

A solução dos problemas descritos em itens anteriores ampliará o potencial para o aproveitamento produtivo de florestas sustentáveis de eucalipto no Brasil, e em regiões edafoclimaticamente semelhantes, mediante a produção de madeira de eucalipto como biomassa para a produção de energia, na forma de pellets e outras, atendendo as normas internacionais, permitindo o suprimento da crescente demanda residencial e industrial deste biocombustível em países da UE e outros, propiciando benefícios econômicos e ambientais para o Brasil e o mundo.

2. Remoção de cloreto e compostos inorgânicos na madeira.

O termo "dioxina" refere-se a um grupo de contaminantes organoclorados formados principalmente no processo de combustão de compostos com base de cloro, considerada pela Organização Mundial da Saúde - OMS, como a substância química mais tóxica conhecida pela ciência. O contato com pequenos traços dessa substância pode apresentar a incidência de câncer em diferentes locais do organismo, as taxas de toxicidade podem ser letais com cerca de 1 μg/kg do peso corporal (WHO, 2014).

Segundo os termos da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs, 2017), a dioxina não é produzida intencionalmente e não pode ser banida, de forma que o único método de controle é o uso de melhores práticas ambientais e melhor tecnologia disponível.

Assim foi desenvolvido e testado, em escala de laboratório, um método para a remoção de substâncias inorgânicas constituintes, principalmente cloro, sódio, potássio, cálcio e magnésio, a partir de biomassa do gênero Eucalyptus ssp. para produção de biocombustível sólido na forma de pellets ou outra com baixo teor de cinzas e cloro, de forma a poder cumprir as exigências da norma ”ENplus”, e semelhantes, permitindo assim o acesso ao mercado internacional de pellets de madeira. Este método é capaz de eliminar/minimizar as taxas de cloro e metais alcalinos que se encontram negativamente correlacionados com o teor de altas taxas de cinzas resultantes da queima de combustíveis de biomassa, responsáveis pela falha de equipamentos e dificuldades operacionais em instalações de conversão de energia termoquímica e, também, pela emissão de gases tóxicos, tais como o cloro e seus compostos, que durante a combustão formam dioxinas, substâncias organocloradas que

podem prejudicar a saúde humana, fator limitante para o uso da biomassa na produção de bioenergia. Este método é objeto de pedido de patente depositado no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI, sob numeração BR 10 2016 023862 5 (Anexo).

3. Estado da arte de patentes de processo de extração de inorgânicos e/ou cloro para biomassa sólida vegetal.

Para determinar o ineditismo do processo de patente de invenção, foram avaliadas todas as bases de dados nacionais do INPI - Instituto Nacional de Propriedade Intelectual, e as internacionais como, a americana, US *Patent* and Trademark Office (PTO) e o Portal mantido pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual, WIPO - *Search International and National Patent Collections*.

Atualmente não estão disponíveis para utilização, técnicas para extração de inorgânicos da madeira de eucalipto, fato que implica na dificuldade para a produção econômica de biomassa de eucalipto para fins energéticos no mundo.

As poucas técnicas patenteadas (número *(WO2009/003920A1); (US 2012/0151835 Al); (US 2013/0232865 Al); (US2014/014592A1); (US2014109469A1); (US 2014/0223811 Al); (WO2015/095471A1)*), para extração de inorgânicos são destinadas à biomassa de forma geral, sem considerar as especificidades do gênero Eucalyptus ssp., e apresentam limitações exigindo tratamento da biomassa com processos térmicos, muitas vezes acrescidos da utilização de insumos para remoção de inorgânicos, resultando em custos superiores aos possibilitados por esta invenção proposta.

O tratamento genérico da biomassa sem considerar a estrutura anatômica especifica do eucalipto em suas várias fases do crescimento tem produzido resultados deficientes através dos processos existentes, limitação que é superada pela presente invenção.

4. Metodologia aplicada para a eliminação do cloro e dos compostos inorgânicos da biomassa sólida.

4.1. Material de estudo

O material avaliado neste estudo é proveniente de plantações de clone hibrido de (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e de (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus saligna*). O plantio foi realizado na cidade de Água Clara - Fazenda do Grupo Mutum, localizado no Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil, (20° 26’ 53” S – 52° 52’ 41” O) com

precipitação média de 1250 mm por ano, altitude média de 303 metros e uma temperatura média de 20 °C.

Foi utilizado espaçamento adensado de 3,0m x 1,5m (2222 árvores por hectare) com ciclo de corte de 1,0 e 1,5 anos. Com fertilização padrão utilizada para plantios tradicionais de eucalipto. (Adubação inicial de 130 g por planta com NPK (6-30-10)), (adubação aos 90 dias de 100 g por planta com NPK (20-00-20) + B 1% + Zn 3%) e finalmente (adubação aos 360 dias de 100 g por planta com NPK (20-00-20)). Segue vista da caracterização da biomassa na Figura 23.

Figura 23. Caracterização da biomassa de eucalipto de curta rotação para uso energético (a) Representação da árvore abatida de curta rotação; (b) e (C) Caracterização da madeira sem casca, com diâmetro entre 3,0cm a 6,0 cm.
Fonte: Elaborado pelo autor, foto original.

4.2. Condicionamento do material

A primeira etapa do condicionamento da madeira (Figura 24) para análise na forma de cavaco foi desenvolvida na Horta do Instituto de Energia e Ambiente, utilizando picador de campo Echo BearCat SC2170, para reduzir a biomassa na forma de cavaco. Em seguida, na segunda etapa, foi fracionada, com moinho de bolas, e peneirada a um intervalo de tamanho granulométrico variável, realizado no Laboratório da Engenharia Química da Faculdade Oswaldo Cruz; finalmente os ensaios de determinação e extração do cloreto e demais inorgânicos da biomassa foram realizados no Laboratório do Departamento de Química

Fundamental do Instituto de Química (IQ) e nos laboratórios do Instituto de Energia e Ambiente ambos da Universidade de São Paulo.

Cabe ressaltar que os detalhes do "Método de Remoção de Cloro e de Componentes Inorgânicos da madeira de Eucalyptus ssp." para produção de biocombustível sólido livres de dioxinas e compostos corrosivos resultante da combustão, não são aqui revelados por exigência do processo de patente em andamento.

Figura 24. Representação do condicionamento da biomassa e da aplicação do método. (a) picador tradicional de campo; (b) e (d) madeira condicionada para ensaio; (c) moinho de bola; (e) processo de calibração de fluidos.
Fonte: Foto do autor a partir dos testes realizados.

Para confirmação da presença do elemento cloreto na biomassa, antes e após a primeira aplicação do processo, a amostra foi submetida ao teste de detecção de íons de cloreto a partir do teste qualitativo com Ag^+ em meio HNO_3 dil. Posteriormente para obter o volume específico de cloro, executou-se o teste de cloreto em cromatografia seletiva de íons, modelo Metrohn 930 Compact. A Figura 25 ilustra o liquido resultante do tratamento após o

teste qualitativo com Ag^+ em meio de HNO_3 dil. A equação seguinte representa a reação de precipitação que ocorre.

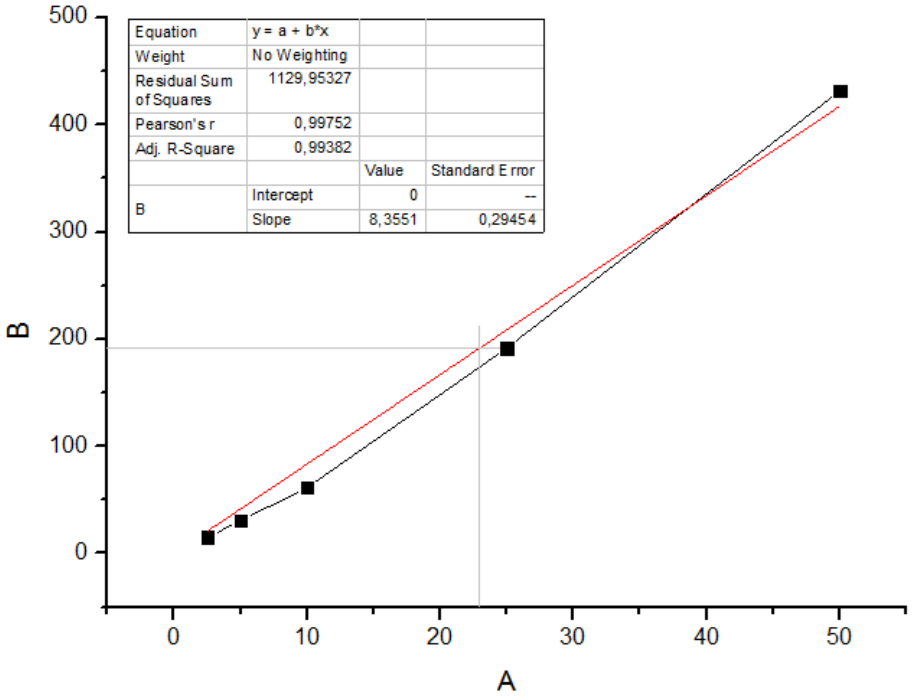
$$Ag^+ + Cl^- = AgCl$$

O sólido de coloração branca (AgCl) formado, apresenta um produto de solubilidade em H_2O de 1,56 x 10^{-10} e HNO_3 dil., fato pelo qual o teste deve ser executado na presença deste reagente.

Figura 25. Representação da eliminação do cloro da biomassa, por teste qualitativo com Ag^+. (a) após primeira aplicação do processo; (b) após segunda aplicação do processo.
Fonte: Foto do autor a partir dos testes realizados.

Foi possível identificar íons de cloreto a partir do teste qualitativo como Ag^+ em meio HNO_3 dil. Esse resultado comprova que um dos compostos removido é o NaCl. Na segunda aplicação do processo do mesmo material submetido a teste - (a), após procedimento, observasse uma reação negativa no teste qualitativo (b), o qual acusa a extração total do cloreto após o primeiro tratamento.

Posteriormente foi aplicado o teste de cloreto em cromatógrafo seletivo de íons. Para ajuste do equipamento e calibração para teste que exige uma curva de calibração de 200 ppm - partes por milhão, foram determinados cinco pontos de área pico, o que garante a precisão da análise com (r^2 =0.99). Na Figura 26, observa-se a curva de calibração do equipamento e o resultado médio obtido. Os resultados mostraram que a taxa de cloreto encontrada e extraída do material é de 0,11%, abaixo das taxas de cloreto exigidas pela norma Enplus e semelhantes para uso residencial e industrial.



A = *Cl (ppm)*; **B** = *área*

Área do Pico	Concentração ppm (500 ml)	Massa do Cloreto extraído (%)	Cloreto na Madeira (%)
190	22,74	0,01	0,11

Figura 26. Cálculo de calibração para determinação do cloreto presente na madeira.
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. Termogravimetria (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

O teste TG e DTG é utilizado para determinar a decomposição térmica dos materiais, este método foi realizado para quantificar o teor de cinzas da madeira da biomassa e ainda observar o perfil de decomposição térmica. Para isto foi avaliada a "biomassa tratada" e a "biomassa original" sem tratamento.

As curvas TG/DTG foram obtidas, na faixa de temperatura de 25 a 1000ºC, a partir da termobalança modelo TGA-51 (Shimadzu) com razão de aquecimento de 10°C min^{-1}, sob atmosfera dinâmica de ar (50 $mL.min^{-1}$) e empregando cadinho de Pt contendo massa de amostra de cerca de 15 mg. Antes dos ensaios foi obtida uma curva em branco (cadinho vazio), nas mesmas condições experimentais, para subtração de linha base. As condições de medidas do equipamento foram verificadas a partir da obtenção das curvas TG/DTG de uma amostra padrão de oxalato de cálcio monohidratado, que quando é decomposta termicamente libera H_2O, CO e CO_2 e apresenta como produto sólido final CaO. Essas curvas evidenciaram

as três etapas de perdas de massa, correspondentes à desidratação (entre 100 – 250ºC e m = 12,26%), decomposição térmica do sal anidro (entre 400 – 590ºC e m = 19,15%) e decomposição do $CaCO_3$ (entre 600 – 900ºC e m = 29,87%). Os valores obtidos foram muito próximos aos calculados estequiometricamente, indicando que a instrumentação está adequada para as medidas.

As curvas TG/DTG da amostra de biomassa original ilustradas na Figura 27, evidenciaram quatro etapas de perda de massa. A primeira ocorreu entre 25 e 120°C, ($T_{pico\ DTG}$ = 58ºC e Δm = 11,1%) e é devida a eliminação de H_2O de umidade ou superficial e/ou outras espécies voláteis presentes. A segunda e terceira etapas corresponderam, respectivamente, às perdas de massa de 63,0% ($T_{pico\ DTG}$ = 311°C); 22,7 % ($T_{pico\ DTG}$ = 427°C) e são devidas à decomposição térmica da matéria orgânica (celulose, hemicelulose, lignina e material carbonáceo formado da decomposição térmica dessas espécies presentes na madeira). Na temperatura de 600ºC o resíduo é composto de matéria inorgânica e corresponde a 3,2% da massa inicial. A quarta etapa que ocorreu entre 600 e 1000ºC e a perda de massa que foi de apenas 0,5% pode ser atribuída à eliminação de material carbonáceo não eliminado na etapa anterior e/ou devido a decomposição de térmica de algum material inorgânico ainda termicamente decomponível nessa faixa de temperatura. O resíduo pode ser constituído alguns óxidos metálicos como K_2O, Na_2O, CaO, MgO, Fe_2O_3, e também, P_2O_5 gerado da decomposição térmica de algum fosfato.

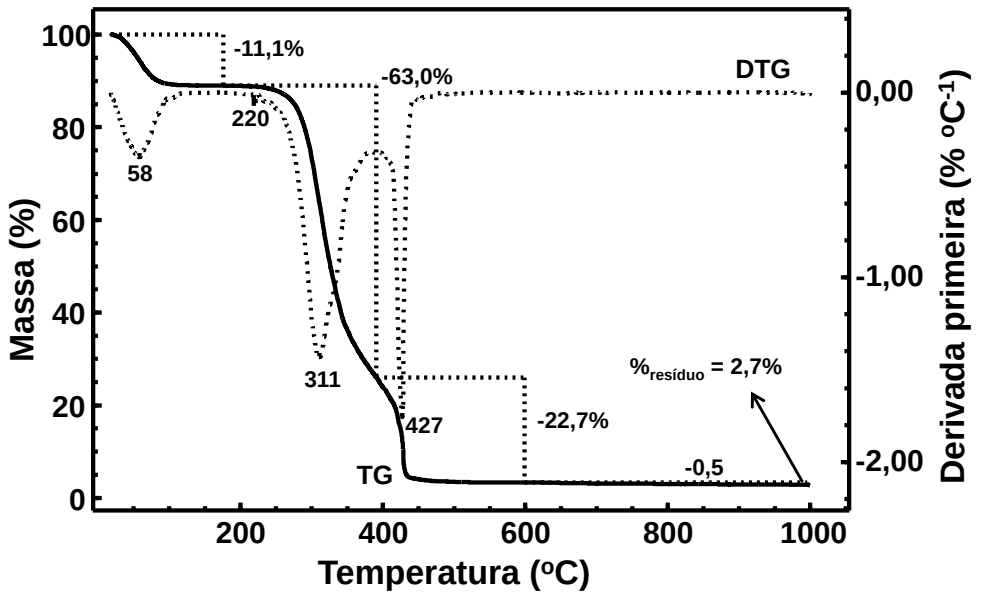


Figura 27. Curvas TG/DTG obtidas a 10ºC min^{-1} e sob atmosfera dinâmica de ar da amostra de biomassa original.
Fonte: Elaborado pelo autor.

As curvas TG/DTG da amostra de biomassa tratada, após o método de tratamento, ilustradas na Figura 28, evidenciaram três etapas de perda de massa. A primeira ocorreu entre 25 e 120°C, ($T_{pico\ DTG}$ = 55ºC e Δm = 10,9%) e é devida a eliminação de H_2O de umidade ou superficial e/ou outras espécies voláteis presentes. Na segunda perda de massa de 70,1%, a curva DTG evidenciou claramente a ocorrência de dois eventos sobrepostos ($T_{ombro\ DTG}$ = 316ºC e $T_{pico\ DTG}$ = 353°C). A terceira etapa correspondeu à perda de massa de 18,6 C ($T_{pico\ DTG}$ = 475°C). Na temperatura de 600ºC o resíduo é composto de matéria inorgânica e corresponde a 0,4% da massa inicial que permanece, praticamente, estável termicamente até a temperatura de 1000ºC. Comparando este resultado com o encontrado para a amostra antes do tratamento, pode-se concluir que a material submetido ao método de tratamento obteve remoção de cerca de 2,2% de material inorgânico, o qual representa a extração de 82% do total de inorgânicos presente na biomassa.

A sobreposição das curvas TG/DTG das amostras da biomassa antes e após o tratamento, ilustradas na Figura 29, permitiu observar uma modificação significativa no perfil de decomposição térmica da matéria orgânica presente na madeira. Dessa forma pode-se concluir que além da remoção de material inorgânico pela biomassa tratada, houve alguma modificação estrutural no material que além de deslocar o início de decomposição térmica de 220ºC para 233ºC, também, deslocou os processos térmicos para temperaturas maiores.

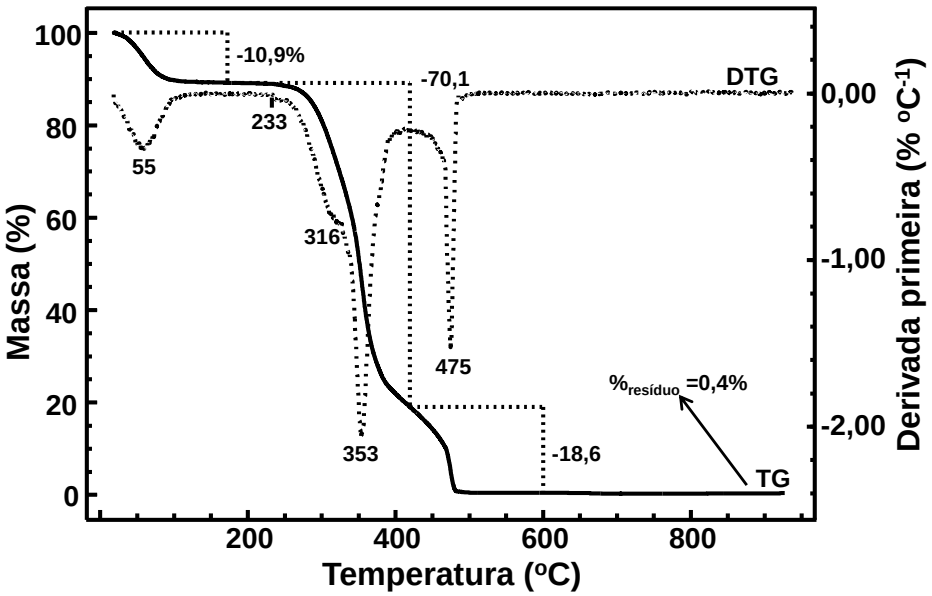


Figura 28. Curvas TG/DTG obtidas a 10ºC min^{-1} e sob atmosfera dinâmica de ar da amostra de biomassa tratada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

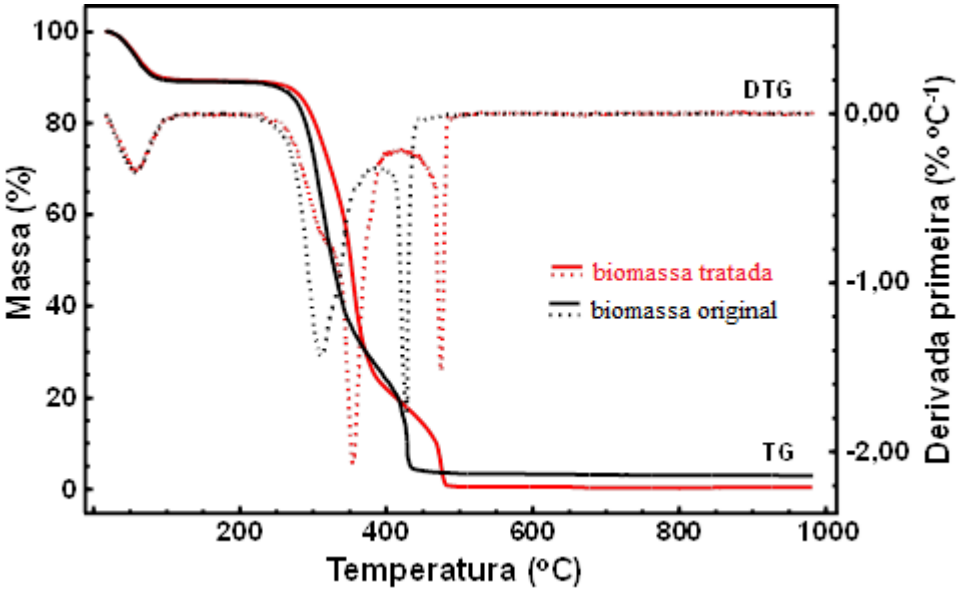


Figura 29. Sobreposição das curvas TG/DTG obtidas a 10ºC min^{-1} e sob atmosfera dinâmica de ar das amostras de biomassa original e tratada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Estes resultados evidenciaram que a aplicação do tratamento na amostra de madeira de eucalipto gerou uma biomassa com teor de cloreto praticamente nulo e redução do teor de metais alcalinos próximo a 10% do material inicial propiciando o atendimento do limite definido pelas normas Enplus ou semelhantes, enquadrando a biomassa de eucalipto no mercado internacional de biomassa sólida para bioenergia.

5. Resultados

Os procedimentos, descritos, foram aplicados como prova de conceito, em nível laboratorial, simulando condições reais em grande escala. Os resultados obtidos no laboratório, submetido a teste de cloreto em cromatógrafo seletivo de íons mostraram que as taxas do elemento cloro do material pré-tratado foram eliminados. A análise de determinação da concentração de metais alcalinos presentes nas cinzas, obtidos por um analisador termogravimétrico até 600°C verificou a redução de 90% das taxas de cinzas, em comparação com o material não tratado.

O processo deste método resulta na eliminação e/ou redução a níveis aceitáveis pelas normas pertinentes das emissões de cloro, evitando assim a formação de dioxinas, gases tóxicos mutagênicos danosos para a saúde humana, e propiciando substancial eliminação de metais alcalinos reduzindo assim a formação de cinzas, e diminuindo a corrosão dos equipamentos de combustão para produção de energia através de biocombustíveis sólidos.

O material resultante encontra-se com reduzidas taxas (< 0,02%) de cloro, contendo metais alcalinos com baixo teor de formação de cinzas (< 0,3%), apresentando características físicas ideais para o processo de peletização, propiciando dessa forma a produção de biocombustível sólido na forma de pellets ou outra, utilizando como insumo madeira de lenho juvenil combinado ou não com lenho tardio de Eucalyptus ssp., com o atendimento dos limites de teor de cloro e outros inorgânicos definidos pela norma Enplus e semelhantes para comercialização de pellets combustível.

CAPÍTULO IV. Mapeamento das áreas potenciais para produção sustentável de pellets de madeira a partir de florestas energéticas, com potencial para exportação.

1. Introdução

O objetivo deste capítulo é utilizar o Sistema de Informação Geográfica – (SIG) para mapear as áreas potenciais para produção sustentável de pellets de madeira a partir de florestas energéticas para exportação, e obter informações do potencial produtivo deste biocombustível no Brasil, podendo colaborar na tomada de decisão em futuros empreendimentos no país. Os objetivos específicos do mesmo são:

- Determinar as áreas degradadas potenciais para produção sustentável de florestas energéticas;
- Disponibilizar uma base de dados espaciais para o planejamento da produção de biocombustíveis sólidos vegetais na forma de pellets;
- Verificar o acesso à logística e o raio econômico de produção para exportação via porto marítimo.

2. Abordagem metodológica

A base de dados utilizada para obter as áreas degradas potenciais para este estudo, foi obtida do Zoneamento Agroecológico de Cana de Açúcar – ZAE; Embrapa, (2009) e como tal, pode ser utilizada para as mais diversas finalidades, tornando-se uma ferramenta eficiente em fornecer respostas a problemas bem definidos e específicos.

A metodologia adotada para obtenção e validação do banco de dados para este estudo, foi similar àquela utilizada na execução do Zoneamento Ecológico-Econômico – ZAE de eucalipto em Minas Gerais sofrendo adaptações conforme os limites climáticos exigidos pelas culturas em estudo. Em Carvalho et al. (2008), o índice de umidade de Thornthwaite - no qual o fator mais importante é a evapotranspiração potencial e a sua comparação com a precipitação que são típicas de uma determinada área - foi calculado a partir dos parâmetros extraídos do balanço hídrico climatológico, segundo Thornthwaite e Mather, (1955), descrito por Pereira et al. (1997) e, para isso, a capacidade de armazenamento de água no solo considerada foi equivalente (ZEE, 2007).

Os fundamentos metodológicos utilizados na determinação da aptidão agrícola para as culturas de cana e eucalipto foram os recomendados por Ramalho Filho & Beek (1995). O sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, utilizado no Brasil, desde os anos 70 pela

Embrapa e por outras instituições baseia-se em sistemas semelhantes de larga utilização mundial e é recomendado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 1976).

Os dados presentes nessas bases foram interpretados para fins de aptidão agrícola, tanto para a cultura do eucalipto como para a da cana-de-açúcar. Tendo em vista o escopo desse trabalho, e os atributos em comum das culturas, foi considerado também que o nível tecnológico a ser adotado para implantação e condução das mesmas é o empresarial, com significativos aportes de insumos, os quais eliminam ou reduzem diversos fatores edáficos limitantes.

A legenda final dos mapas é composta por dois campos - a aptidão edafoclimatica; e tipo do uso da terra - considerando exclusivamente os critérios de pastagem de baixa, media e alta aptidão, como indicado na Tabela 22.

Tabela 22. Legenda dos dados de aptidão e uso da atual da terra

Uso atual	Aptidão Edáfica	Significado	Legenda
Pastagem	Alta Média	Áreas aptas com Media e Alta aptidao para o cultivo agricola, atualmente com pastagem	**Pastagens não degradadas**
	Baixa	Áreas aptas Baixa aptidão para o cultivo agrícola, atualmente com pastagem	**Pastagens degradadas**

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em (EMBRAPA, 2009).

Para a pastagem de “baixa aptidão” assumiu-se a nomenclatura de “pastagem degradada” e a pastagem de “média e alta aptidão” assume a nomenclatura de “pastagem não degradada”; a escolha dos dados é em função de exclusão total com áreas de expansão agrícola e de agropecuária, evitando a sobreposição e/ou interferência do uso do solo, garantindo assim critérios conservadores para determinação deste estudo.

Os principais indicadores considerados como base para o presente estudo foram à vulnerabilidade das terras, o risco climático, o potencial de produção agrícola sustentável e a legislação ambiental vigente. Cabe ressaltar que também foram excluídas áreas com declividade superior a 12%, áreas com cobertura vegetal nativa; biomas Amazônia, Pantanal; áreas de proteção ambiental – onde se inclui áreas remanescentes de cerrado, caatinga, mata atlântica, entre outros; terras indígenas; remanescentes florestais; dunas; mangues; afloramentos de rocha; reflorestamentos e áreas urbanas e de mineração.

As bases de dados utilizadas no presente trabalho foram mapas em escala 1:500.0000 e o programa utilizado para o desenvolvimento dos mapas foi o ArcGis. A distância em linha

reta entre as regiões e os portos de exportação foi calculada a partir dos centros geográficos das regiões para os portos. Com o objetivo de integrar as informações foi utilizado o arquivo de banco de dados do Plano Nacional de Logística e Transporte - PNLT, (2007), incluindo Shapes – banco de dados espacial - de acesso a rodovia, ferrovia, hidrovia e portos marítimos, no qual utilizou-se um raio de 150 km dos portos marítimos nacionais em função da praticidade de acesso e viabilidade do raio econômica do trajeto em rodovias, pois os transportes brasileiros são fortemente dependentes de rodovias (SILVA, 2007); (RANGEL, 2008); (MISSAGIA, 2011); (Biotrade2020, 2016).

Embora haja uma rede ferroviária no Brasil, muitas estações estão abandonadas e densidade ferroviária não é alta; sendo assim o transporte brasileiro é fortemente dependente do transporte rodoviário, principalmente para longas distâncias.

Assim, a fraca acessibilidade a outro meio de transporte, a qualidade e a distância de estações de carga, são os principais argumentos contra o uso de outro tipo de transporte por linhas férreas ou hidrovias.

Por esta razão, apenas o transporte de caminhão é levado em consideração para o transporte de biomassa desde o campo até a instalação e finalmente para o porto de exportação. Os portos de exportação na área do estudo foram selecionados com base em instalações portuárias mínimas, capazes de lidar com containers de carga, tais como com a presença de guindastes pesados de elevação e capacidade de volume de transporte (World Port Source, 2016).

Determinando para este estudo inicialmente as áreas no raio de 150 km do porto, em seguida o estudo também avaliou o raio de 300 km do porto, com a intenção de viabilizar possíveis acessos às linhas férreas em conjunto ou não com rodovias dependendo da área potencial. E finalmente obteve-se também a determinação das áreas degradadas como um todo, fora do raio ótimo de atuação de 150 e 300 km do porto, com a intenção de mapear o potencial nacional global.

Para determinação do potencial produtivo de florestas energéticas, foram utilizados rendimentos de floresta de Eucalyptus ssp. de curta rotação, com incremento de 45 toneladas de massa seca por hectare ano, como descrito no Capitulo II – item 4.

Para a transformação do volume de madeira in natura para pellets de madeira utilizou-se como fator de conversão 1,5 toneladas de madeira para 1,0 toneladas de pellets.

Os mapas gerados neste estudo estão no ANEXO e foram obtidos através do cruzamento das informações descritas, de acordo a realização de uma reclassificação dos

dados pertinentes e em seguida à sobreposição dos mapas finais. A Figura 30 ilustra as áreas potenciais para produção de florestas energéticas.

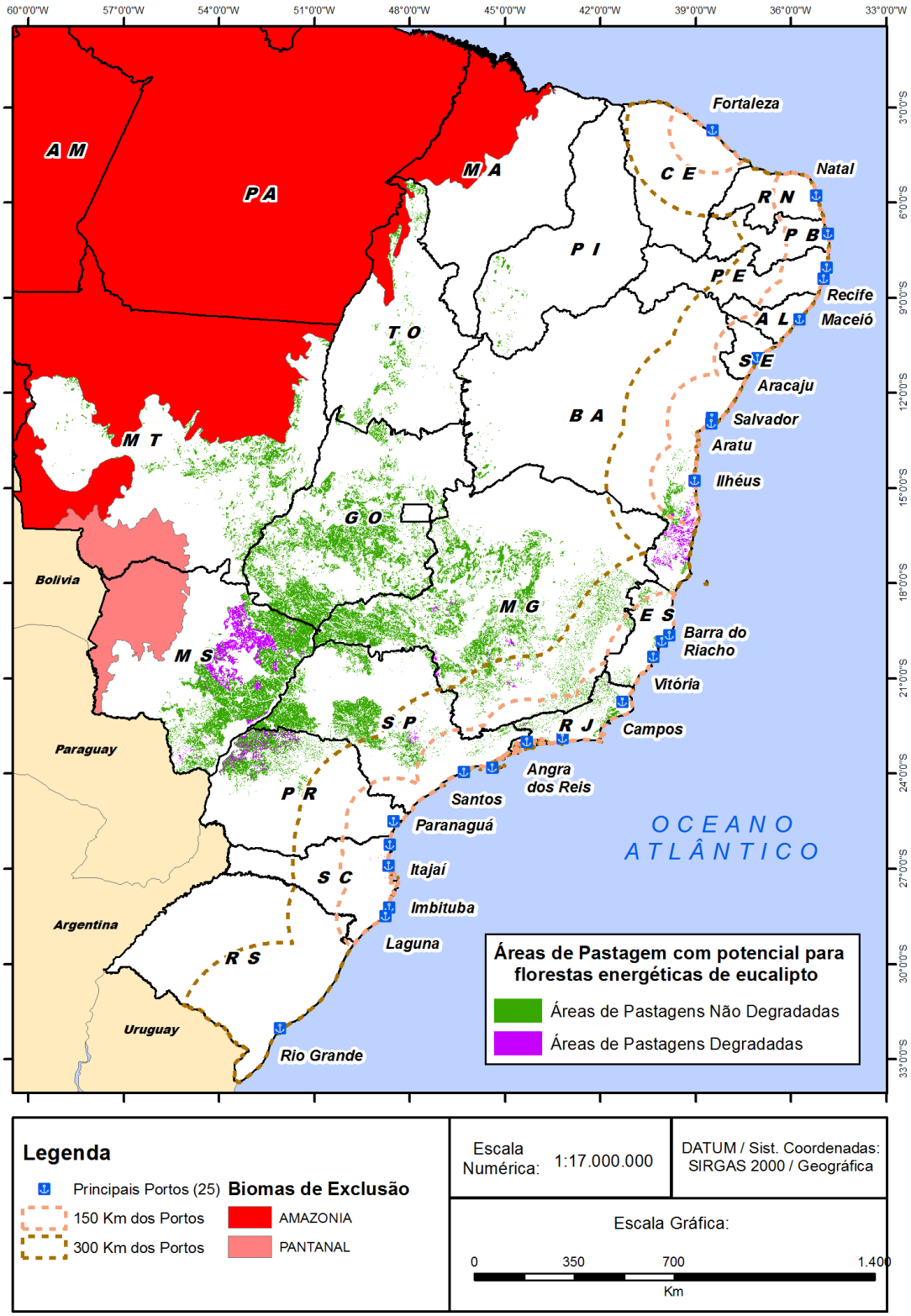


Figura 30. Áreas potenciais para produção de pellets a partir de florestas energéticas.
Fonte: Elaborado pelo autor

3. Resultados e discussões

A Tabela 23 apresenta os resultados do potencial nacional de áreas de pastagens disponíveis, degradadas e não degradadas para produção de florestas energéticas para energia por estado federativo no Brasil. (ANEXO - Áreas potenciais por Estado).

Tabela 23. Potencial disponível para produção de florestas energéticas no Brasil.

Estado	UF	Área de Pastagem disponível (ha)		
		Degradada	Não Degradada	Área Total
Minas Gerais	MG	138.262	9.096.928	9.235.190
Mato Grosso do Sul	MS	1.862.287	6.246.762	8.109.049
Goiás	GO	-	7.781.735	7.781.735
São Paulo	SP	42.150	3.822.920	3.865.070
Mato Grosso	MT	95	2.581.809	2.581.904
Paraná	PR	493.375	1.719.306	2.212.681
Bahia	BA	504.693	581.905	1.086.598
Tocantins	TO	-	1.067.244	1.067.244
Rio de Janeiro	RJ	-	424.397	424.397
Espírito Santo	ES	-	197.016	197.016
Piauí	PI	-	156.595	156.595
Santa Catarina	SC	4.124	-	4.124
Total Brasil		3.044.986	33.676.618	36.721.603

Fonte: Elaborado pelo autor.

As estimativas obtidas neste estudo demonstram que o país dispõe de cerca de 36,7 milhões de hectares de áreas aptas à expansão de atividade florestal sendo que, destes, 3,0 milhões de hectares foram considerados degradados o qual obtém características ideais para produção de florestas de eucalipto que pode ser produzida em áreas degradadas. O potencial restante (33,6 milhões de hectares) representa pastagem não degradada, ampliando o potencial para culturas agroflorestais de forma geral. Estas estimativas demonstram que, o país não necessita incorporar áreas novas ou com cobertura nativa ao processo produtivo, podendo expandir uma nova área de cultivo de florestas para energia, sem afetar diretamente as terras utilizadas para a produção de alimentos.

Em seguida na, Tabela 24 (e no Anexo), observa-se o potencial de produção de pellets de madeira a um raio de 150 km dos portos brasileiros em função das áreas disponível para produção de florestas energéticas.

Tabela 24. Área de potencial para produção de biomassa para pellets de madeira a 150 km do porto.

UF	Área de Pastagem disponível (ha)			Potencial em toneladas (MS/ha.ano)*	Potencial produção de pellets (t/ano)
	Degradada	Não Degradada	Área Total	*Floresta Energética***	
BA	99.971	346.385	446.356	20.086.006	13.390.671
RJ	21.337	403.060	424.397	19.097.876	12.731.917
MG	5	210.884	210.889	9.490.007	6.326.671
SP	663	139.455	140.118	6.305.288	4.203.526
ES	-	128.767	128.767	5.794.499	3.862.999
SC	4.124	-	4.124	185.584	123.722
PR	234	100	333	14.994	9.996
Total				**60.974.254**	**40.649.502**

Fonte: Elaborado pelo autor.
**Massa seca por hectare ano.*
***45 toneladas por hectare ano*

Considerando este potencial de produção de florestas energéticas para pellets de madeira para exportação no Brasil, praticamente 100% do potencial começam no Sul do Estado da Bahia passando pelo Espirito Santo, Rio de Janeiro, parte de Minas Gerais, finalizando no Estado de São Paulo, com um potencial de até 40 milhões de toneladas de pellets por ano. Considerando somente 20% deste potencial, já se superaria a produção de Canadá e EUA, maiores exportadores de pellets de madeira do mundo (em torno de 7,0 milhões de toneladas por ano).

No Brasil, a situação apresentada das áreas potenciais pode ser comparada com a do Sudeste dos EUA. O mercado de pellets nesta região é a mais desenvolvido do mundo e tem experimentado um aumento impressionante na última década de 2,7% ao ano (Southern Environmental Law Center, 2015).

De acordo com Pöyry (2011); (Biotrade2020, 2016) a América do Sul, com o Brasil como o maior contribuinte, tem o potencial para tornar-se rapidamente um importante produtor de pellets de madeira no futuro em curto prazo. O volume de produção é estimado em 4,4 milhões de toneladas em 2020, o que segundo resultados da Tabela 24, representaria somente 10% das áreas potencial a 150 km dos portos.

Na Tabela 25 (e ANEXO), observa-se o potencial de produção de pellets de madeira em função das áreas disponíveis para produção de florestas energéticas, ampliando o raio para 300 km dos portos e em seguida na Tabela 26 (e ANEXO), assumindo um cenário sem restrições.

Tabela 25. Área de potencial para produção de biomassa para pellets de madeira a 300 km do porto.

UF	Área de Pastagem disponível (ha)			Potencial em toneladas (MS/ha.ano)*	Potencial/ produção de pellets (t/ano)
	Degradada	Não Degradada	Área Total	*Floresta Energética***	
MG	28.753	1.728.334	1.757.087	79.068.916	52.712.611
BA	504.693	494.746	999.439	44.974.760	29.983.173
SP	38.738	740.620	779.358	35.071.097	23.380.731
RJ	21.337	403.060	424.397	19.097.876	12.731.917
ES	-	197.016	197.016	8.865.702	5.910.468
SC	4.124	-	4.124	185.584	123.722
PR	652	2.955	3.607	162.336	108.224
Total				**187.426.270**	**124.950.847**

Fonte: Elaborado pelo autor.
**Massa seca por hectare ano.*
***45 toneladas por hectare ano*

Tabela 26. Área de potencial para produção de biomassa para pellets de madeira sem restrições logísticas de acesso ao porto.

UF	Área de Pastagem disponível (ha)			Potencial em toneladas (MS/ha.ano)*	Potencial/ produção de pellets (t/ano)
	Degradada	Não Degradada	Área Total	*Floresta Energética***	
MG	138.262	9.096.928	9.235.190	415.583.530	277.055.686
MS	1.862.287	6.246.762	8.109.049	364.907.210	243.271.473
GO	-	7.781.735	7.781.735	350.178.085	233.452.057
SP	42.150	3.822.920	3.865.070	116.185.669	77.457.113
MT	95	2.581.809	2.581.904	173.928.157	115.952.104
PR	493.375	1.719.306	2.212.681	99.570.650	66.380.433
BA	504.693	581.905	1.086.598	48.896.908	32.597.939
TO	-	1.067.244	1.067.244	48.025.988	32.017.325
RJ	-	424.397	424.397	19.097.876	12.731.917
ES	-	197.016	197.016	8.865.702	5.910.468
PI	-	156.595	156.595	7.046.790	4.697.860
SC	4.124	-	4.124	185.584	123.722

Fonte: Elaborado pelo autor.
**Massa seca por hectare ano.*
***45 toneladas por hectare ano*

Na Tabela 25 e 26 observa-se que ao expandir o raio de atuação para 300 km dos portos, amplia-se o potencial majoritariamente dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro, chegam a triplicar o potencial comparado ao raio ideal de 150 Km dos portos.

Da mesma forma, acima de 300 km dos portos, os Estados de (Mato Grosso do Sul - MS, Goiás - GO, parte de Minas Gerais - MG, Paraná - PR e São Paulo - SP, concentram o

maior potencial nacional fora do raio ótimo para exportação, especialmente o Estado do MS que hoje apresenta tradicional produção de eucalipto em grande escala para atender a demanda da indústria de celulose e papel, podendo expandir a produção para fins energéticos. Neste caso as possibilidades de transporte hidroviário, o que não é muito popular nos fluxos comerciais, podem apresentar interessante potencial nos custos de transporte que chega a ser 3 a 5 vezes mais baixo que o rodoviário e ferroviário (CNT,2009).

Nesse contexto as diversas opções e possibilidades para produção de pellets se estendem sem precedentes, onde as oportunidades e limitações cabem a situações de empreendimentos pontuais. Deve- se levar em consideração outros fatores e vias de acesso logístico para exportação dos pellets, considerando as vantagens possíveis da utilização de linhas férreas e/ou hidrovias. Se os investimentos até 2020 na produção de pellets em grande escala forem bem-sucedidas no Brasil, a melhoria da qualidade e desenvolvimento da infra-estrutura, especialmente transporte ferroviário e/ou hidroviário, poderia ampliar as áreas potenciais para produção de biocombustíveis sólidos competitivos para exportação no Brasil.

CONCLUSÕES

Este estudo identificou o grande potencial para a fonte de biomassa lignocelulósica do Brasil. Mobilizar esta fonte contribuiria para o desenvolvimento socioeconómico brasileiro, bem como para reforçar o setor das energias renováveis, tanto no Brasil, como na UE. A biomassa lignocelulósica brasileira poderia desempenhar um papel importante no cumprimento das metas mundiais de energias renováveis .

O Brasil oferece um potencial significativo de produção agrícola e florestal a ser utilizado como bioenergia. Outras biomassas (palha, e ponta de cana de açúcar, capim elefante e outros, na sua forma natural) não apresentam características químicas potenciais para o mercado de pellets mundial para uso residencial e algumas somente para uso industrial por apresentar altas taxas de cinzas e cloro, o qual depende de tratamento para remoção dos inorgânicos para enquadramento nas normas internacionais.

Os resíduos lignocelulosicos, de forma geral, são pouco utilizados no momento para geração de energia, na sua maioria é reutilizado para atender o uso térmico de processo do próprio setor gerador do resíduo, ou disposto no campo, tendo pequena participação e potencial para atingir qualidade e escala na produção de pellets. Assim a madeira nas suas características físico-quimicas naturais, é a biomassa ideal para este mercado no Brasil.

Ainda existe um déficit de madeira plantada para atender os setores que corresponde 60% do total consumido, o qual demandaria entorno de 2 a 3 milhões de hectares dependendo das condições de plantio. Na intenção de regularizar o uso sustentável de madeira para energia no balanço energético nacional, a política para o desenvolvimento florestal brasileiro deverá abordar as questões aqui discutidas, considerando aspectos específicos dos quatro grandes segmentos da indústria. Na verdade, deve-se considerar que há ainda um elevado déficit das plantações florestais para abastecer a produção de carvão vegetal, tanto como os setores industriais que utilizam madeira para energia. No entanto, as perspectivas mostram que parte desse déficit pode ser coberta com uma área adicional usada para produção pellets de madeira, bem como o destino da tímida produção atual de pellets proveniente de diversos resíduos de biomassa vegetal.

Se for bem-sucedido em avanços institucionais, espera-se que o Brasil possa acelerar a expansão sustentável das plantações florestais, atingindo um crescimento médio de 1,0 milhão de hectare ano, somente para atender a demanda interna.

Tendo em vista a iminente demanda externa, para ter uma participação significativa no mercado mundial de pellets de madeira. O Brasil deverá atingir 4 milhões de toneladas de

pellets por ano até 2020, o qual equivale aproximadamente a 140 mil hectares de Eucalyptus ssp. de curta rotação, o qual (segundo resultados desta tese) representa 10% do potencial nacional em áreas potenciais para este mercado.

Considerando a silvicultura brasileira, é importante notar que, neste setor, as perspectivas de expansão das plantações florestais sustentáveis podem garantir demanda futura de madeira que estão ligados à produção de alto valor agregado, uma vez que o país tem as características exigidas para a produção de madeira para energia, com possível expansão para atender o mercado de pellets de madeira, especialmente com a espécie de Eucalyptus ssp. que apresenta características ideais para produção de biomassa no Brasil, podendo atingir entorno de 45 a 55 toneladas de biomassa seca por hectare ano, com florestas de curta rotação, obtendo o dobro do volume obtido nas florestas de plantio tradicional que com o mesmo custo produtivo atinge entorno de 25 toneladas por hectare ano. Fato decorrente ao tipo de trato silvicultural destinado para celulose, indústria de painéis ou carvão vegetal, reduzindo a competitividade para o mercado de biomassa.

Cabe ressaltar que os resultados de florestas de curta rotação, obtidos até o momento no Brasil são experimentais e com resultados somente de um ciclo rotativo, sendo necessário adequar um sistema de colheita eficiente para este tipo de trato silvicultural, que garanta a rebrota de 2 a 3 ciclos produtivos do plantio inicial.

Contudo o Brasil pode se tornar capaz de produzir biomassa lenhosa sustentável e economicamente competitiva para exportação de pellets, quando avaliada a produção de biomassa tradicional, comparada com florestas de curta rotação, devido ao custo favorável das matérias-primas e a ausência de barreiras tecnológicas significativas para a produção. Com os acordos do clima na COP 21 em Paris essas perspectivas podem se tornar realidade em um futuro próximo.

A produção sustentável de madeira no Brasil, de forma geral, poderia atingir o mercado de pellets de madeira para aquecimento residencial e para a subscrição de fosseis em termoelétricas, especialmente no mercado Europeu.

Além dos desafios para atingir a qualidade do pellet residencial e também a escala necessária do mercado termoelétrico. O Brasil apresenta diversas possibilidades para auxiliar na redução de CO_2 com a produção sustentável de florestas energéticas. Contudo os resultados aqui obtidos superam um dos maiores desafios para viabilizar a cadeia de produção de pellets no Brasil, com eliminação do cloro e de outros inorgânicos presentes na madeira. A viabilidade de produzir biomassa livre de dioxinas e furanos poderá ser o

primeiro passo para viabilizar a produção nacional de pellets de madeira para exportação em curto prazo.

O processo de extração de cloro, com depósito de patente número BR 10 2016 023862 5, resultou na eliminação e redução a níveis aceitáveis pelas normas pertinentes das emissões de cloro, evitando assim a formação de dioxinas, gases tóxicos mutagênicos danosos para a saúde humana, e propiciando substancial eliminação de metais alcalinos reduzindo assim a formação de cinzas, o qual diminui a corrosão dos equipamentos de combustão para sua produção de energia através de biocombustíveis sólidos. Após aplicação do processo ao lenho juvenil da madeira de Eucalyptus ssp. processo que também pode ser combinado com lenho adulto, proveniente de florestas plantadas de diferentes idades e tipo de trato silvicultural, o material resultante neste estudo, encontra-se com baixas taxas (< 0,02%) de cloro, contendo reduzidos metais alcalinos com teor de formação de cinzas (< 0,3%), atendendo assim os limites de teor de cloro e outros inorgânicos definidos pela norma Enplus e semelhantes para comercialização de pellets de madeira na UE**.**

A tese também teve como resultado os mapas que determinam a avaliação de áreas disponíveis com potencial de produção sustentável de florestas energéticas para pellets de madeira para exportação, obteve-se 61 milhões de hectares de pastagem disponível a 150 km dos portos marítimos, com potencial de produção de até 45 milhões de toneladas de pellets por ano. Foi demostrado também o potencial no raio de 300 km dos portos e de áreas potenciais fora do raio econômico e logístico atual. Nesse contexto as diversas opções e possibilidades se estendem, onde as oportunidades e limitações cabem a avaliação de situações pontuais.

Este estudo finalmente mostrou os desafios e oportunidades da produção de florestas energéticas no Brasil para pellets de madeira, é necessário eliminar as dificuldades existentes e criar políticas de incentivo aos investimentos neste sector, visando uma maior participação no mercado nacional e internacional.

Os resultados obtidos poderão auxiliar em novos estudos e/ou empreendimentos que visem o uso da biomassa sólida vegetal lenhosa para fins energéticos no Brasil e de regiões tropicais semelhantes no mundo.

Como sugestão de propostas futuras, sugere-se o estudo de parâmetros econômico do potencial florestal brasileiro para energia comparado com a produção de biomassa de outras regiões do mundo.

Considerando os diversos problemas de colheitadeiras para o eucalipto de curta rotação que garanta incremento produtivo após ciclos de rebrota.

Sugere-se também estudos de viabilidade econômica das florestas energéticas de eucalipto no Brasil, como também, a determinação de novas espécies florestais ou de biomassa sólida vegetal que possam atender a demanda de biomassa para produção de pellets combustível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINCI – Associação Brasileira da Ind. de Madeira Processada Mecanicamente. disponível em: http://www.abimci.com.br/pt/ (acesso 13 fev. 2015).

ABIPEL – Associação Brasileira das Indústrias de Pellets. disponível em: http://www.abipel.com.br/media/5468/ABIPEL-maio-2013.pdf (acesso 08 Agosto 2013)

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico**. p.150. Brasília, 2013.

AEBIOM. European Biomass Association. A pellet Roadmap for Europe. Brussels, November, 2008.

AEBIOM – Annual Report 2015. disponível em: http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2016/02/AEBIOM-Annual-Report-2015.pdf (acesso em: 20 Fev. 2017).

ALAKANGAS, E., JUNGINGER, M., VAN DAM, J., HINGE, J., KERÄNEN, J., OLSSON, O.,VINTERBÄCK, J. EUBIONET III—Solutions to biomass trade and market barriers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, *16*(6), 4277-4290. (2012). doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.051

AMCEL. disponível em: http://www.amcel.com.br/#home/ (acesso em: 20 Fev. 2017).

AMS – Associação Mineira de Silvicultura. **Florestas energéticas no Brasil demanda e disponibilidade**, 2009.

ANDREÃO P., CORDEIRO. G. Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica. **Avaliação da sílica presente no capim elefante (Pennisetum Purpureum) visando à produção de cinzas pozolânicas.** ISSN 2177-6180. Julho de 2012, Rio de Janeiro.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Sistema de Levantamento de Preços. Disponível em: http://www.anp.gov.br/preco/ (acesso 14 Dezembro 2016)

ARGUS – Biomass Market 2016. Weekly biomass markets news and analysis. Issue 16-014. disponível em: https://www.argusmedia.com/~/media/files/pdfs/samples/argus-biomass.pdf?la=en (acesso em: 21 Fev. 2017).

BEN – Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - Rio de Janeiro: EPE, 2016.

BioTrade2020plus. Supporting a Sustainable European Bioenergy Trade Strategy. Progress report on Wp 3 case studies Brazil, 2016.

BMZ – Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. Biofuels: Opportunities and risks for developing countries. **BMZ Strategy Paper 14.** p. 4. Germany, 2011.

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. Revista do BNDES, V. 14, n. 28, P. 235-276, Rio de Janeiro, dez. 2007.

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. Florestal. disponível em: http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-florestal (acesso 01 Mar. 2017)

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados.** v.21, n.59, p.185-193, 2007.

CALDER, I.R., HALL, R.L., ADLARD, P.G. **Growth and Water Use of Forest Plantations**. John-Wiley, Chichester. 381p. 1992.

CARVALHO, L.G.; OLIVEIRA, M.S.; ALVES, M.C.; VIANELLO, R.L.; SEDIYAMA, G.C.; CASTRO NETO, P. DANTAS, A.A.A. Clima. In: SCOLFORO, J.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D. **Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais – componentes geofísico e biótico**. Lavras: Editora UFLA, 2008.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo, (2008). disponível em: http://cenbio.iee.usp.br/projetos/poda/poda.htm (acesso 28 February 2013)

CNT – Confederação Nacional de Transporte. Multimodalidade e as Hidrovias no Brasil. 2009. disponível em: http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/Palestras/ForumHidrovias2009/Painel3/MarcosSoaresCNTFenavega.pdf (acesso em: 22 Fev. 2017).

COCCHI, M.; NIKOLAISEN, L.; JUNGINGER, M.; GOH, C. S.; HEINIMO, J.; BRADLEY, D.; HESS, R.; JACOBSON, J.; OVARD, L.; THRAN, D.; HENNIG, C.; DEUTMEYER, M.; SCHOUWENBERG, P.; MARCHAL, D. Global Wood Pellet Industry Market and Trade Study. IEA Bioenergy Task 40. (2011).

COM. The Market for Solid Fuels in the EU in 2004-2006 and Trends in 2007. **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions**, 2008. Bruxelas.

COM. Sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling. **Report from the Commission to the Council and the European Parliament**, 2010. Bruxelas.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. – v. 3, n.4 (2015/2016) – Brasília, 2015(a).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. – v. 2, n.3 (2015/2016) – Brasília, 2015(b).

COELHO, S.T.; ESCOBAR, J.F. **“Country Case Study Brazil: Possibilities of sustainable woody energy trade and impacts on developing countries”.** CENBIO – (Brazilian Reference Center on Biomass) prepared for: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ); under subcontract with International Institute for Sustainability Analysis and Strategy (IINAS). São Paulo, Brazil; 2013. Acesso em: http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/CENBIO_2013_Brazil-Case-Study_GIZ.pdf

COELHO, S.T; SANCHES-PEREIRA, A; TUDESCHINI L. G; GOLDEMBERG, J. Liquefied petroleum gas as replacement for fuelwood in Brazilian households as energy source for cooking. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2017 (in publication).

COELHO, T.S.; GOLDEMBERG, J. Energy acess: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries. **Energy Policy**, v.61, p. 1088–1096, 2013.

CORTEZ, C. L. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia. Estudo de caso: AES Eletropaulo**. 2011. 246p. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011

COUTO, L.; DUBÉ, F. **The status and practice of forestry in Brazil at the beginning of the 21st century: A review**. The Forestry Chronicle, 2001, 77(5):817-830.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. **Avaliação de densidade de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa**. Viçosa, MG: RENABIO, 58 p. 2006.

DAVIDSON, J. “Setting aside the idea that eucalyptus are always bad”. UNDP/FAO project Bangladesh BGD/79/017, (Working Paper, 10), 1985.

DRAX: Large-scale biomass power generation and the opportunities for Brazilian suppliers. **Biomass Power and Pellets Brazil Conference 2013**, São Paulo, 2013

DORIVAL et.al. Tendências e desafios da indústria brasileira de pellets de origem agroflorestal. **Revista CERNE**, v. 22 n. 3, 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento de Eucalipto em Minas Gerais (2007). disponível em: https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/finep/metas-fisicas/meta-fisica-6/relatorios/04%20-%20zoneamento-eucalipto-minas-gerais.doc/view (acesso 20 Fev. 2017).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento Agroecológico da cana de açucar, 2009. disponível em: http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_cana_de_acucar (acesso 19 December 2012)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento Agroecológico do óleo de palma, 2010.disponível em: http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_dende (acesso 19 December 2013)

ENplus. Handbook. Quality Certification Scheme For Wood Pellets. 2015 disponível em: http://www.enpluspellets.eu/wpcontent/uploads/2016/03/ENplusHandbook_part1_V3.0_General_EPCinternational.pdf

ENVIVA. Global Solid Renewable Fuel Markets: Strong and Growing. 2013.

ESCOBAR, J.F. Biomasa lignocelulósica en Brasil Perspectivas de uso para pellets y briquetas en el sector industrial. **The Bioenergy International**, nº18, p.38-39. 2013.

ESCOBAR, J.F. "O potencial dos pellets de madeira: Perspectivas energéticas da madeira no Brasil". Anuário Brasileiro de Biomassa (2015). São Paulo; p.87-92; Jan., 2015.

EUFRADE H. J.; *et.al*,. Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. **Biomass and Bioenergy**, Volume 90, Pages 15-21, July 2016.

European Parliament. Biomass for electricity and heating. **Opportunities and challenges. Briefing**. September, 2015.

FAO – A framework for land evaluation. Rome. FAO. (Soils Bulletin, 32), 1976.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Energy conservation in the mechanical forest industries. Corporate Document Repository. FAO forestry -paper 93. Rome, 1990. disponível em: http://www.fao.org/docrep/t0269e/t0269e08.htm (acesso em: 20 Fev. 2017).

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Forest and Energy in Emerging Countries**, 2007.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Forest products estatistics 2015. disponível em: http://www.fao.org/3/a-i6669e.pdf (acesso em: 20 Fev. 2017).

FEAP – Federação de agricultura do estado do Paraná. Pesquisadores mapeiam áreas de pastagens. disponível em: http://www.sistemafaep.org.br/pesquisadores-mapeiam-areas-de-pastagens.html (acesso em: 17 Fev. 2017).

FOELKEL, C.B. Eucalipto no Brasil, historia de pioneirismo. **Visão Agrícola**. n.4, p.66-69, 2005.

FOELKEL, C. "Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores". Eucalyptus Newsletter, n. 2, 2005b.

GARCIA, É. A. Caracterização física e química do solo e avaliação do desenvolvimento de plantas de eucalipto em função do espaçamento e da adubação, visando a colheita precoce para utilização em bioenergia. 2010. xiii, 98 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2010.

GDF SUEZ – Energy Management Trading. How Can the Global Pellet & Chip Markets Service the Expected Increase in European Demand? **Biomass Power & Pellets Brazil conference 2013**, São Paulo, 2

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T.; GUARDABASSI, P. (2008a). The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, v. 36, p. 2086–2097, 2008.

GOMIDE J. L, OLIVEIRA J.L, COLODETTE RC. Influencia da idade do Bambusa vulgaris nas suas características químicas e anatômicas visando a produção de polpa celulósica. **Congresso Anual da ABCP**, 14, v.1, p. 05-29. São Paulo, 1981

GTZ – Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit. **Foreign Direct Investment (FDI) in Land in Madagascar.** p. 36, Germany, 2009.

GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P.; GARCIA, É. A.; SPINELLI, R. Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: LEMOS, E. G. M.; STRADIOTTO, N. R. (org.) **Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo, Editora Unesp, p. 125-161. 2012.

HABERL, H.; BERINGER, T.; BHATTACHARYA, S.C.; ERB, K.H.; HOOGWIJK, M. The global technical potential of bio-energy in 2050 considering sustainability constraints. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. 2(5), 394-403. 2010.

HAHN, Brigitte. Pellets for Europe. **Existing Guidelines and Quality Assurance for Fuel Pellets.** St. Pölten, Áustria [s.l.]: [s.n.]. 2004, 20 pg.

HOLLEMAN-WIBERG'S. Inorganic Chemistry edited by Nils Wiberg. Authors: Jensen, William B. Publication: **Journal of Chemical Education**, vol. 79, Issue 8, p.944. Berlin, 1995. ISBN 3-11-012641-9

HORA, A.B.; VIDAL, A.F. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para geração de energia. **BNDES Setorial**, p. 261-314. Rio de Janeiro, 2011.

HUANG, S., JING, S., WANG, J., WANG, Z. JIN, Y., Silica white obtained from rice husk in fluidized bed, **Powder Technology**, 117, 232 (2001).

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2015. pg.77, Brasília, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Notícias, 2015. disponível em: http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2996 (acesso em: 13 Fev. 2015).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recursos Naturais e Estudos ambientais. Cobertura e uso da terra, Available at: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/default.shtm (accessed on 17 fev. 2017).

IEA - International Energy Agency. Bioenergy Task 40. **Global Wood Pellets Industry: Market and Trade Study**. Dezembro de 2011. 190 p.

IEEP – Institute European Environmental Policy. **Solid biomass energy: mapping the EU policy influences**. July, 2011.

ISO 18122:2015. International Organization for Standardization. Specifies a method for the determination of ash content of all solid biofuels.

JONES, J.M. et al., Pollutants Generated by the Combustion of Solid Biomass Fuels, SpringerBriefs. **Applied Sciences and Technology**, 2014. DOI 10.1007/978-1-4471-6437-1_2.

KEENE, W. C., A. A. P. PSZENNY, J. M. GALLOWAY, AND M. E. HAWLEY. Sea-salt corrections and interpretation of constituent ratios in marine precipitation, J. **Geophys. Res**., 91(D6), 6647-6658, 1986.

KOVACEVIC, A. **The Impact of the Russia–Ukraine Gas Crisis in South Eastern Europe**. Oxford Institute for Energy Studies. March 2009. ISBN 978-1-901795-86-8

LAMERS, P.; HOEFNAGELS, R.; JUNGINGER, M.; HAMELINCK, C.; FAAIJ, A. Global solid biomass trade for energy by 2020: an assessment of potential import streams and supply costs to North-West Europe under different sustainability constraints. **GCB Bioenergy.** 2014.

LIMA, W. P. "Comparative evapotranspiration of eucalyptus, pine and natural "cerrado" vegetation measure by the soil water balance method". **Ipef International,** Piracicaba, 1990.

LIMA, W. P. Diálogo Florestal – **A Silvicultura e a água: Ciência, Dogmas, Desafios**. Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, v.1, 2010. 64 p.

MACEDO, I. C. Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil. Situação atual, oportunidades e desenvolvimento, **Secretaria técnica de uso setorial de energia**, 10p. Rio de Janeiro, 2001.

MAPA – Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento. Produção e Rentabilidade do Eucalipto em Empresas Florestais. **Comunicado Técnico 83.** ISSN 1517-5030 Colombo, Paraná, 2002.

MELLO, W. Z.; Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Pollution**. V. 114, p. 235-242. 2001.

MISSAGIA, B. Agricultural and forestry residues for decentralized energy generation in Brazil. 2011.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Zoneamento Territorial. Zoneamento ecológico-econômico (2002). disponível em: http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial. (acesso em: 20 Fev. 2017).

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Projeto PNUD 00/20** – Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado. p. 35. Curitiba, 2009.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10). disponível em: http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos (acesso 08 Agosto 2013).

MME - Ministério de Minas e Energia. **Programa nacional de energia 2030**. ano base 2006. Brasília, DF, 2007. 80p.

MME -Ministério de Minas e Energia. Anuário Estatistico 2016. Empresa de Pesquisa Energética - Rio de Janeiro: EPE,2016 http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm

NOVAIS, R. F. "Aspectos nutricionais e ambientais do eucalipto". **Revista Silvicultura**, nº 68. 1996.

NUMAZAWA, S. Resíduos de Exploração Florestal "Avaliação e determinação de índices". **Relatório Técnico**. FUNPEA, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. Belém-Pará, 2009.

OMACHI, I.H. Produção de biomassa florestal para exportação : Ocaso da AMCEL. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p.29-36, 2004.

PELLCERT - European Pellet Quality Certification. **Creating a Uniform System for Europe**. Disponível em <www.PellCert.eu>. Acesso em 12 de Dezembro de 2016.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA. G.C. Evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PNLT. Plano Nacional de Logística e Transportes. Sumario Executivo. Ministério dos Transportes e Ministério da Defesa. 64 p. Abril 2007. disponível em: https://jornalggn.com.br/sites/default/files/documentos/Volume_1_-_Tomo_2_-_Parte_3.pdf (acesso em: 22 Fev. 2017).

POORE, M. E. D; FRIES, C. The ecological effects of eucalyptus. FAO, 1985.

POPs - Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. disponível em: http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf (acesso em: 22 Fev. 2017).

PÖYRY MANAGEMENT CONSULTING. Wood Supply and Demand in Europe – A Delicate Balance. 2010.

PÖYRY. Pöyry view point global market, players and trade to 2020 – Pellets Becoming a Global Commodity?. 2011.

PÖYRY. Biomass Imports to Europe and Global Availability: IEA - 2n Workshop Cofiring biomass with coal. 2012.

PÖYRY. Views on the Atlantic Basin Industrial Pellet Market up to 2030 Nordic Baltic Bioenergy 2013. Oslo. 2013.

RAKOS, Christian. European pellets markets. In: proPellets, 2007, Austria. **Recent developements & policy issues** [s.l.]: [s.n.]. 2007

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3 ed. Embrapa: Rio de Janeiro. 1995. 65p.

RANGEL, A. et al. Simulação computacional para análise do frete no transporte de cana-de-açúcar – um estudo de caso no estado do Rio de Janeiro. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.3, n. 3, p.250-261, 2008.

REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Renewables 2014: Global Status Report. Paris, 2014.

REN21 – Renewables 2016 Global Status Report. disponível em: http://www.ren21.net/wp content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_FullReport_en_11.pdf (acesso em: 20 Fev. 2017).

RILEY, J. P.; AND CHESTER. R. Introduction to marine chemistry. Academic Press, London and New York. xiv + 465 p. 1971.

SAE – Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Diretrizes para a estruturação de uma Política Nacional de Florestas Plantadas. p. 100, Brasilia 2011

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J.; FERRARIO, F.M.; NITA, V. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. **Environmental Development**. v.15, Page 3–34, July 2015.

SCOLFORO, J. R. MAESTRI, R.; O manejo de florestas plantadas. In: SCOLFORO, J. R. S.; **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 438 p. 1998.

SILVA. J.C.; OLIVEIRA.J.S.; TOMAZELLO. M.; KEINERT.S. MATOS. J.M. influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de Eucalyptus grandis. hill ex. maiden. **Revista Floresta.** 34 (1), p. 13- 22, Curitiba, 2004.

SILVA, M. L. et. al. Análise do custo e do raio econômico de transporte de madeira de reflorestamentos para diferentes tipos de veículos. **Revista Árvore.** v.31, n.6, Viçosa, 2007.

SILVA, M.G. ; NUMAZAWA, S. ; ARAUJO, M.M. ; NAGAISHI, T.R.; GALVÃO, G.R. Charcoal from timber industry residues of three tree species logged in the municipality of Paragominas, PA. **Acta Amazonica**. vol.37 no.1 Manaus, 2007.

SMA – Secretaria do Meio Ambiente. Governo do Estado de São Paulo. Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro (2008). disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/zoneamento-agroambiental/ (acesso em: 20 Fev. 2017).

Southern Environmental Law Center. (2015). Wood Pellet Plants and European Export - Southeast Wood Pellet Plants, 0–3.

STANISLAV, V; BAXTER, D.; ANDERSEN, L.K.; VASSILEVA, CH.G. An overview of the chemical composition of biomass, **Fuel** (89), 913–933, 2010.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic Chemistry – An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters**, John Wiley & Sons p. 583, New York, 1970.

TANAC. disponível em: http://www.tanac.com.br/pt-br/unidades/cavacos (acesso em: 20 Fev. 2017).

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. Publications in Climatology, vol. VIII, n.1.

TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. disponível em: http://www.transparencymarketresearch.com/pressrelease/wood-pellet-market.htm (acesso em: 21 Fev. 2017).

UHLIG, A. **Lenha e carvão vegetal no Brasil: balanço oferta-demanda e métodos para a estimação do consumo**. 2008. 124 p. Tese de doutorado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2008.

VERHOEST C., RYCKMANS Y. Laborelec (GDF-SUEZ). **Industrial wood pellets report**, 2012.

VISASPACE. Wood or Agricultural Pellets - Pluses & Minuses (2011). disponível em: http://www.viaspace.com/docs/Giant King Grass - Asia Pellets Trade Seoul.pdf (acesso em: 21 Fev. 2017).

WHO - World Health Organization. Dioxins and their effects on human health. June 2014. disponivel em: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/

WITTNEBEN, B.F. The impact of the Fukushima nuclear accident on European energy policy. **Environmental Science & Policy.** Volume 15, Issue 1, Pages 1–3, January 2012.

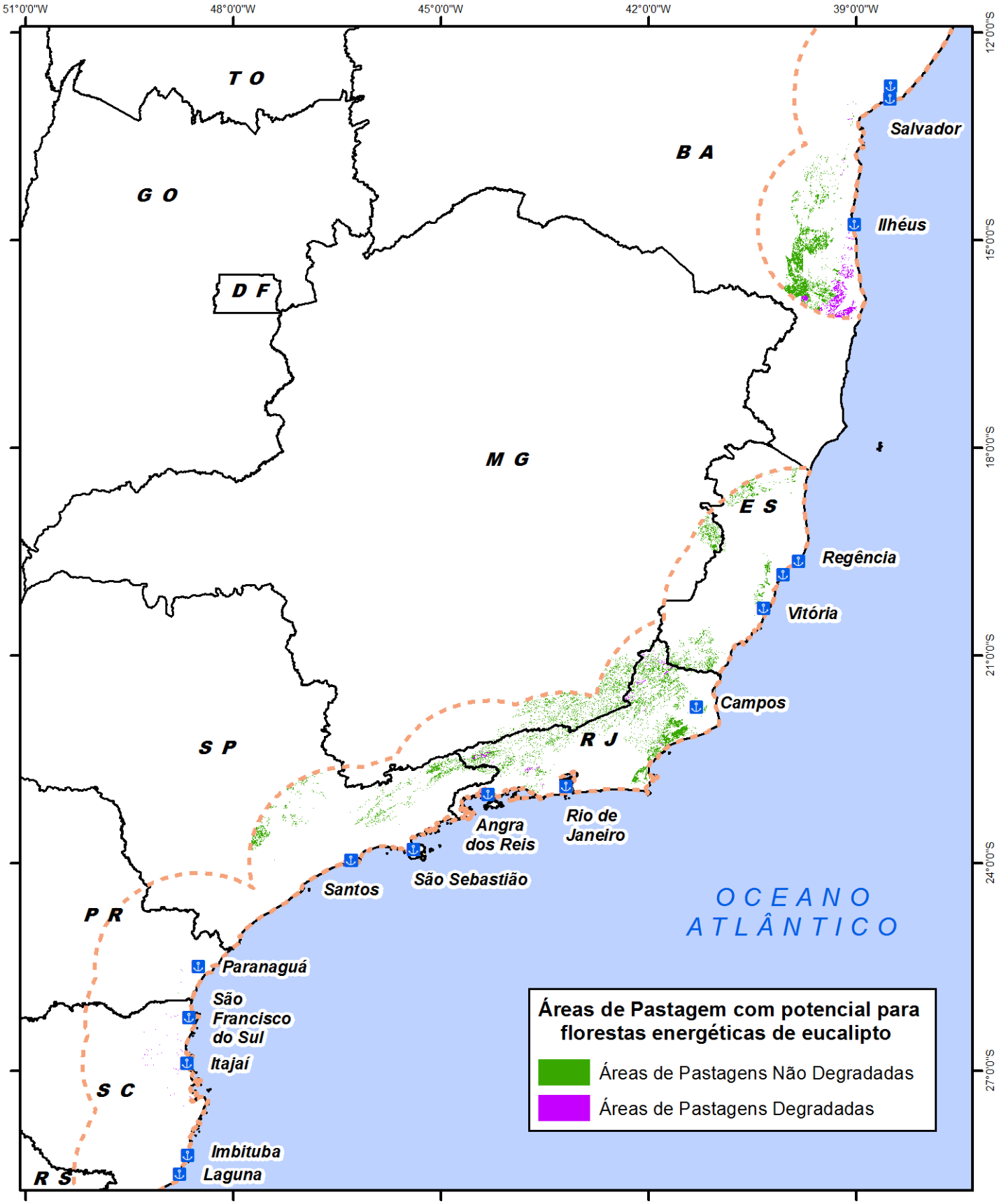
World Port Source. (2016). Brazil Port Index. Retrieved January 20, 2016, disponível em: http://www.worldportsource.com/ports/index/BRA.php

WPAC – Wood Pellets Association of Canada. Global pellet market outlook in 2017. disponível em: https://www.pellet.org/wpac-news/global-pellet-market-outlook-in-2017 (acesso em: 20 Fev. 2017).

ZEE – Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais, (2007). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. disponível em: http://www.zee.mg.gov.br/ (acesso em: 22 Fev. 2017).

ANEXOS

Áreas Potenciais para produção de pellets a partir de florestas energéticas à 150 km (Rodovias) dos Principais Portos



Localização

Legenda

Principais Portos (17)

150 Km dos Portos

Escala Numérica: 1:8.500.000

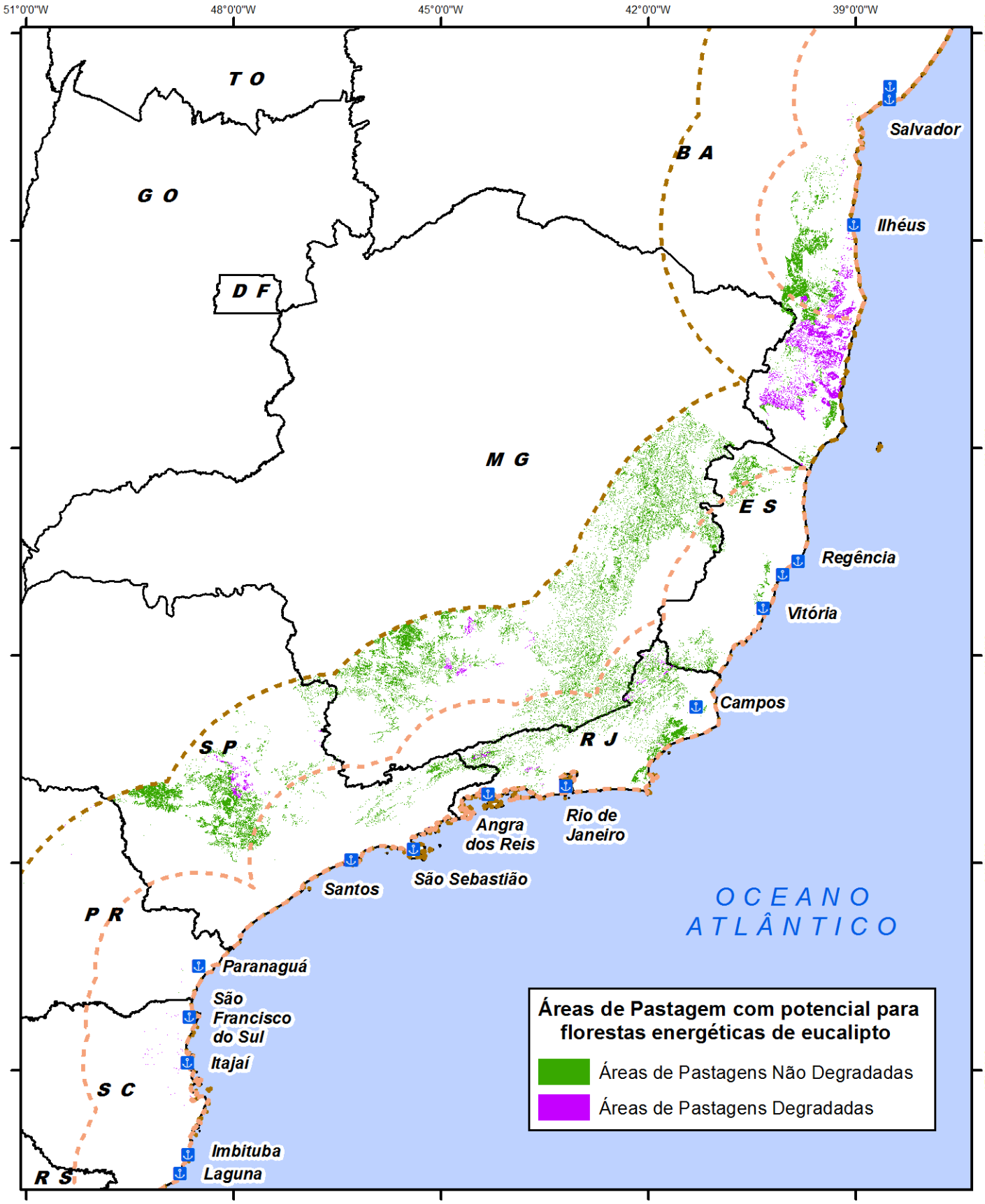
DATUM / Sist. Coordenadas: SIRGAS 2000 / Geográfica

Escala Gráfica:

0 175 350 700

Km

Áreas Potenciais para produção de pellets a partir de florestas energéticas à 300 km (Ferrovias) dos Principais Portos



Localização

Legenda

- Principais Portos (17)
- 150 Km dos Portos
- 300 Km dos Portos

Escala Numérica: 1:8.500.000

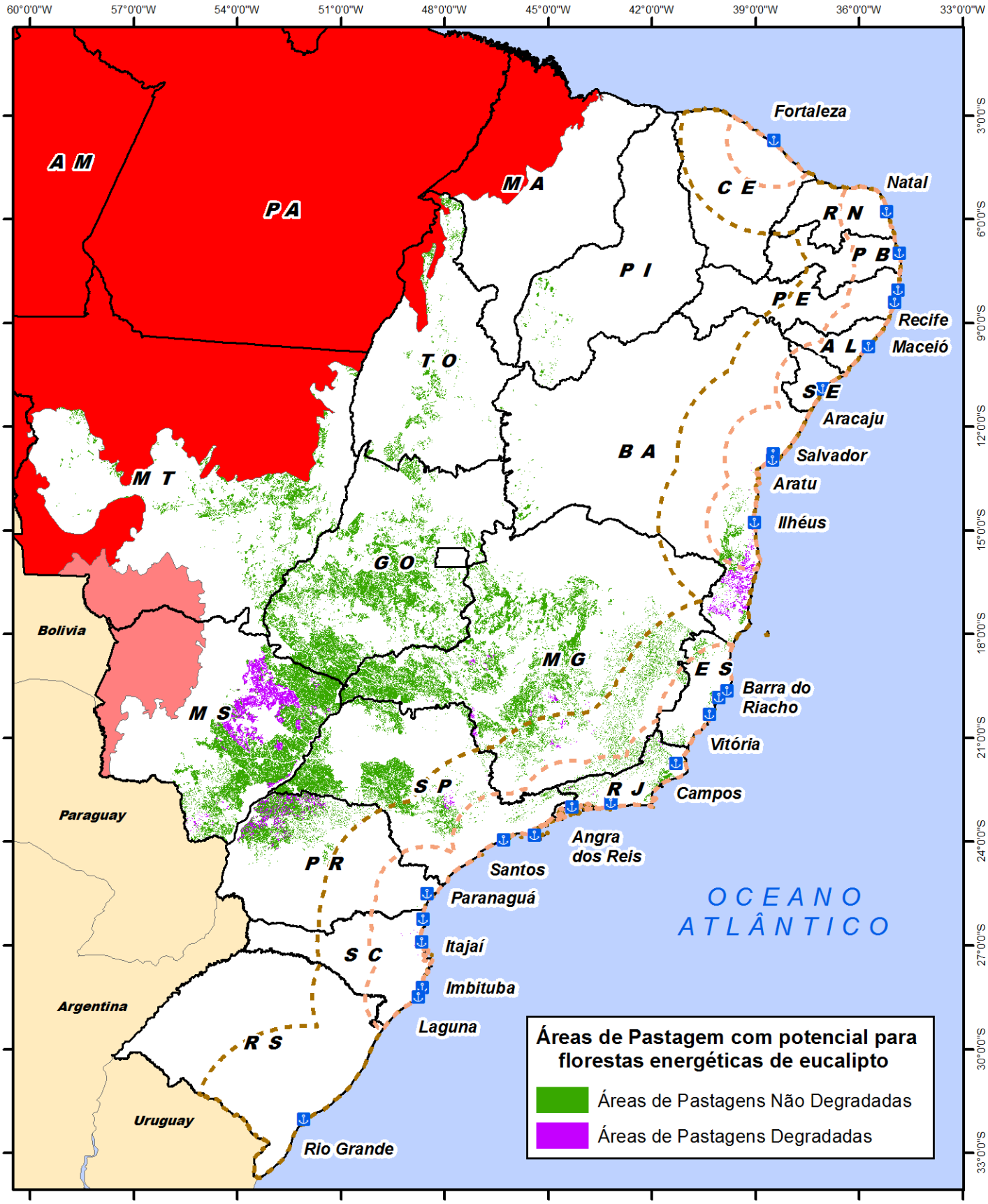
DATUM / Sist. Coordenadas: SIRGAS 2000 / Geográfica

Escala Gráfica:

0 175 350 700

Km

Áreas potenciais para produção de pellets a partir de florestas energéticas no Brasil e Principais Portos



Legenda

- Principais Portos (25)
- 150 Km dos Portos
- 300 Km dos Portos

Biomas de Exclusão

- AMAZONIA
- PANTANAL

Escala Numérica: 1:17.000.000

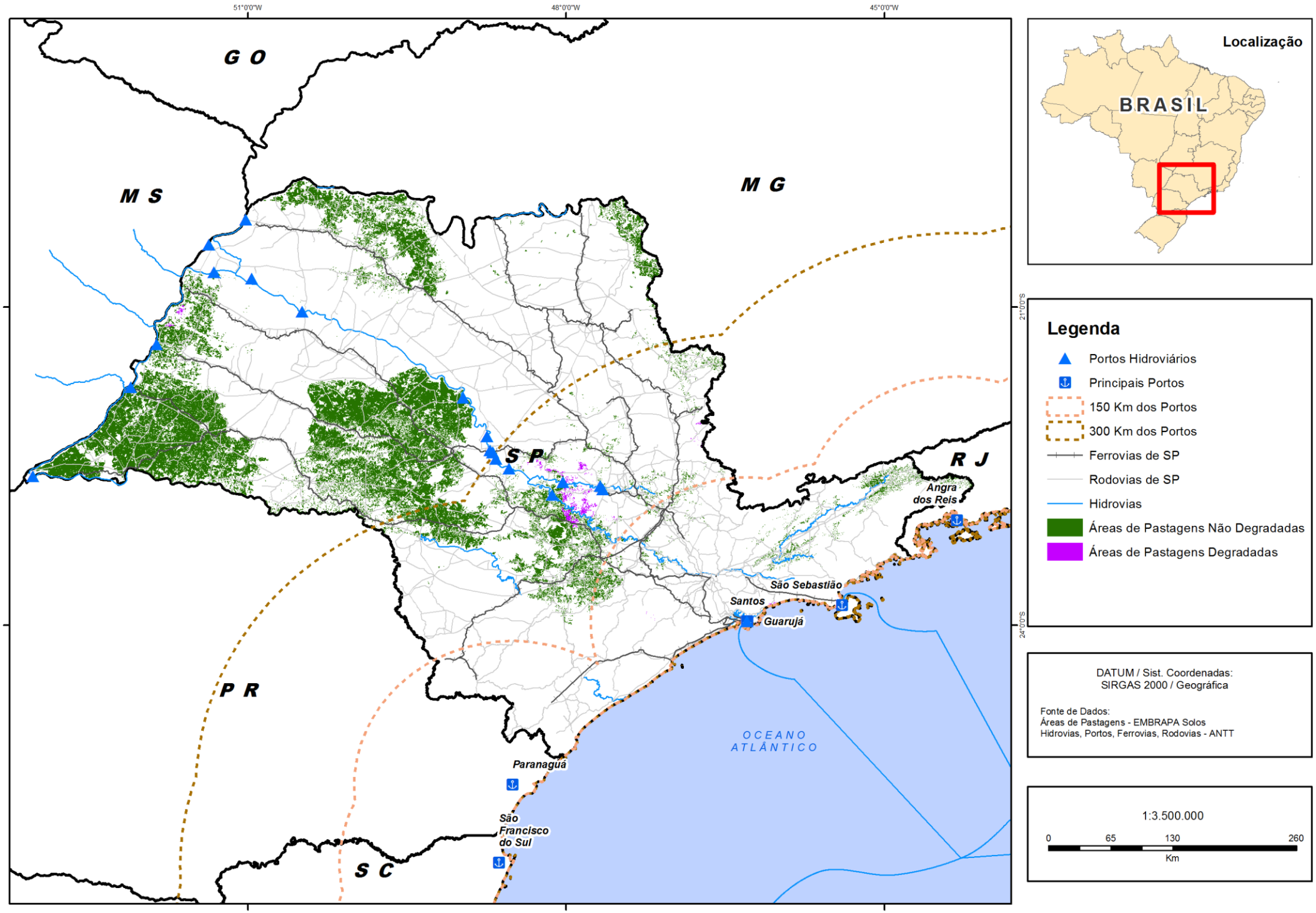
DATUM / Sist. Coordenadas: SIRGAS 2000 / Geográfica

Escala Gráfica:

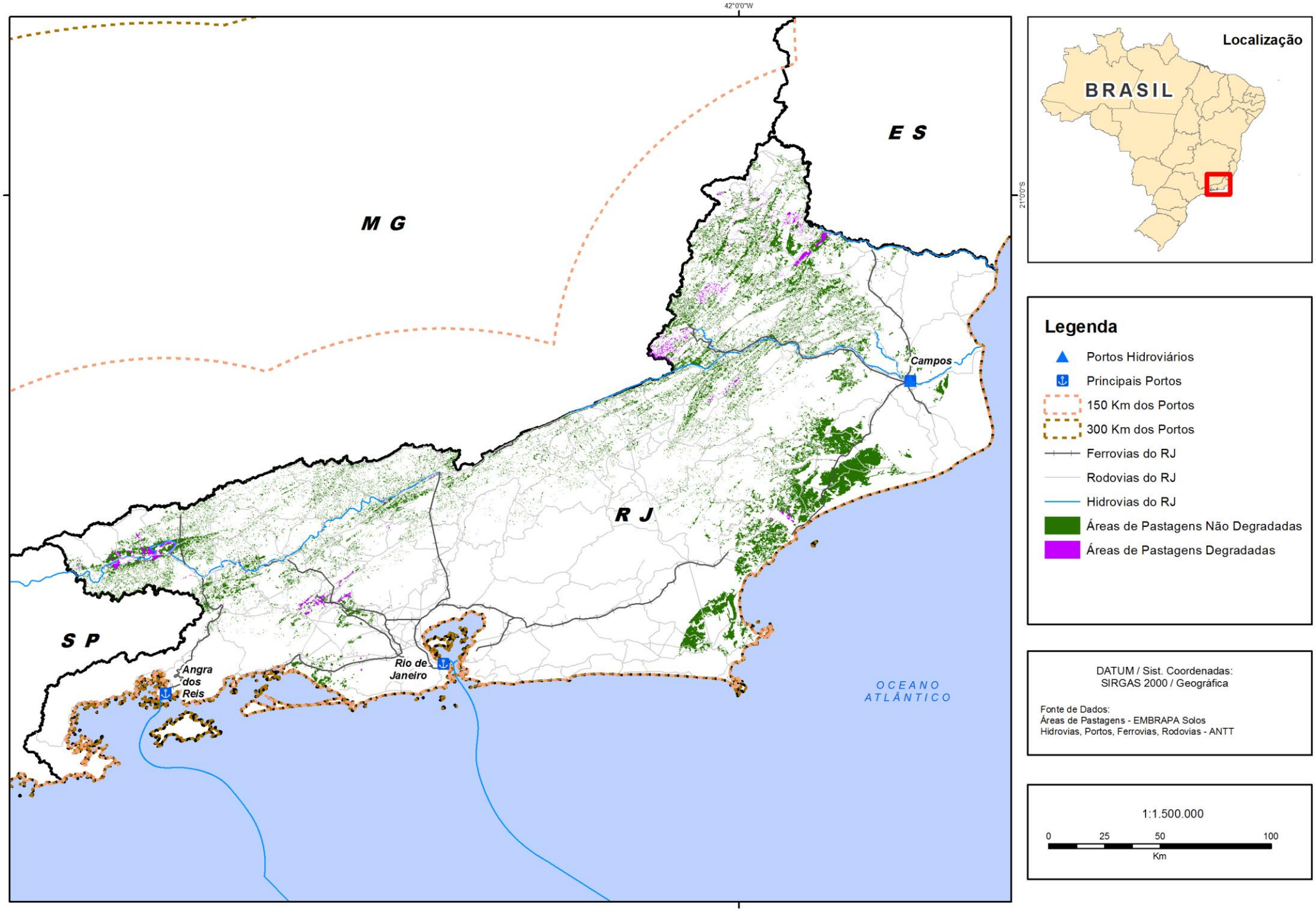
0 350 700 1.400

Km

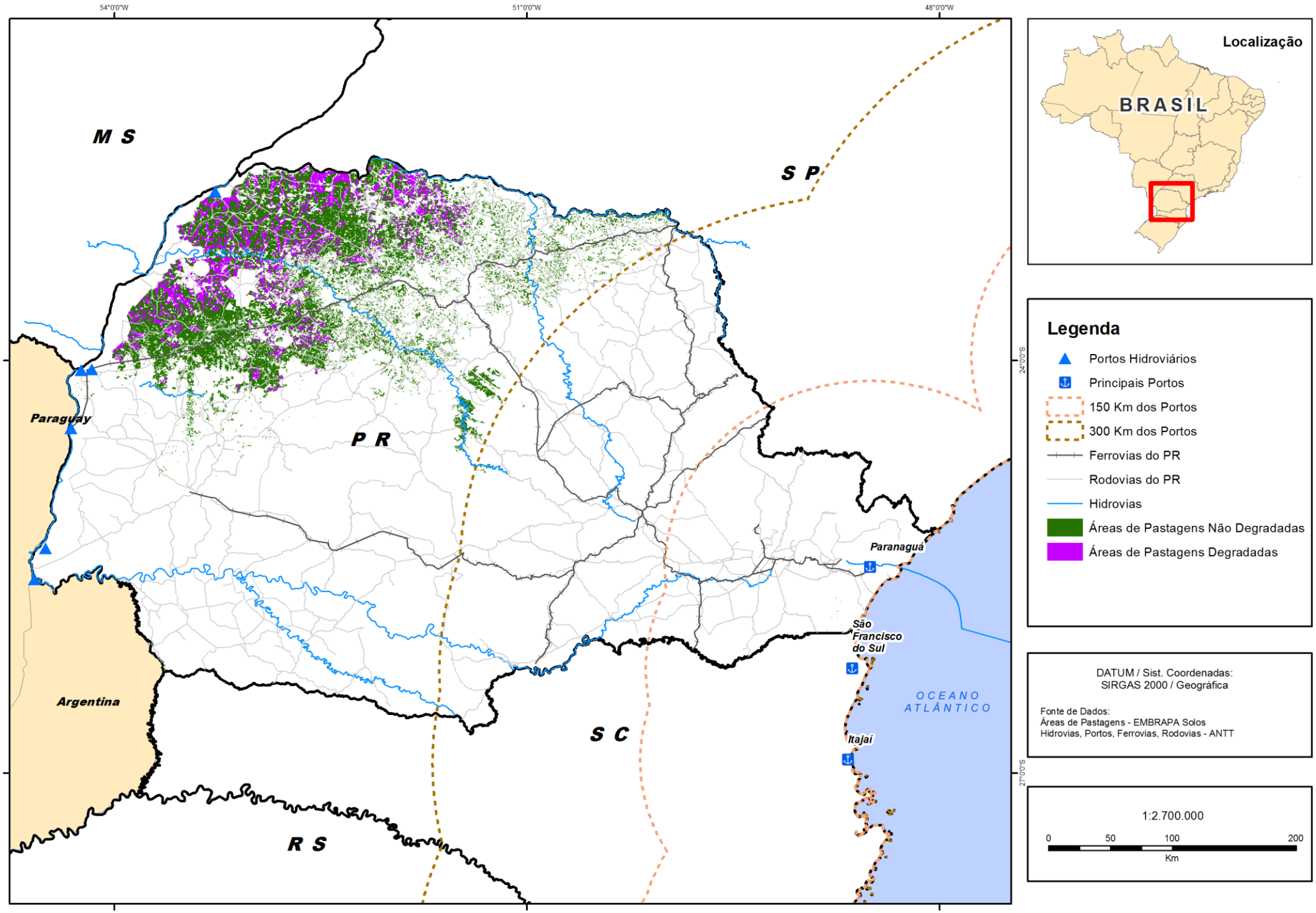
Áreas de Pastagem com potencial para florestas energéticas de eucalipto para produção de pellets no Estado de São Paulo



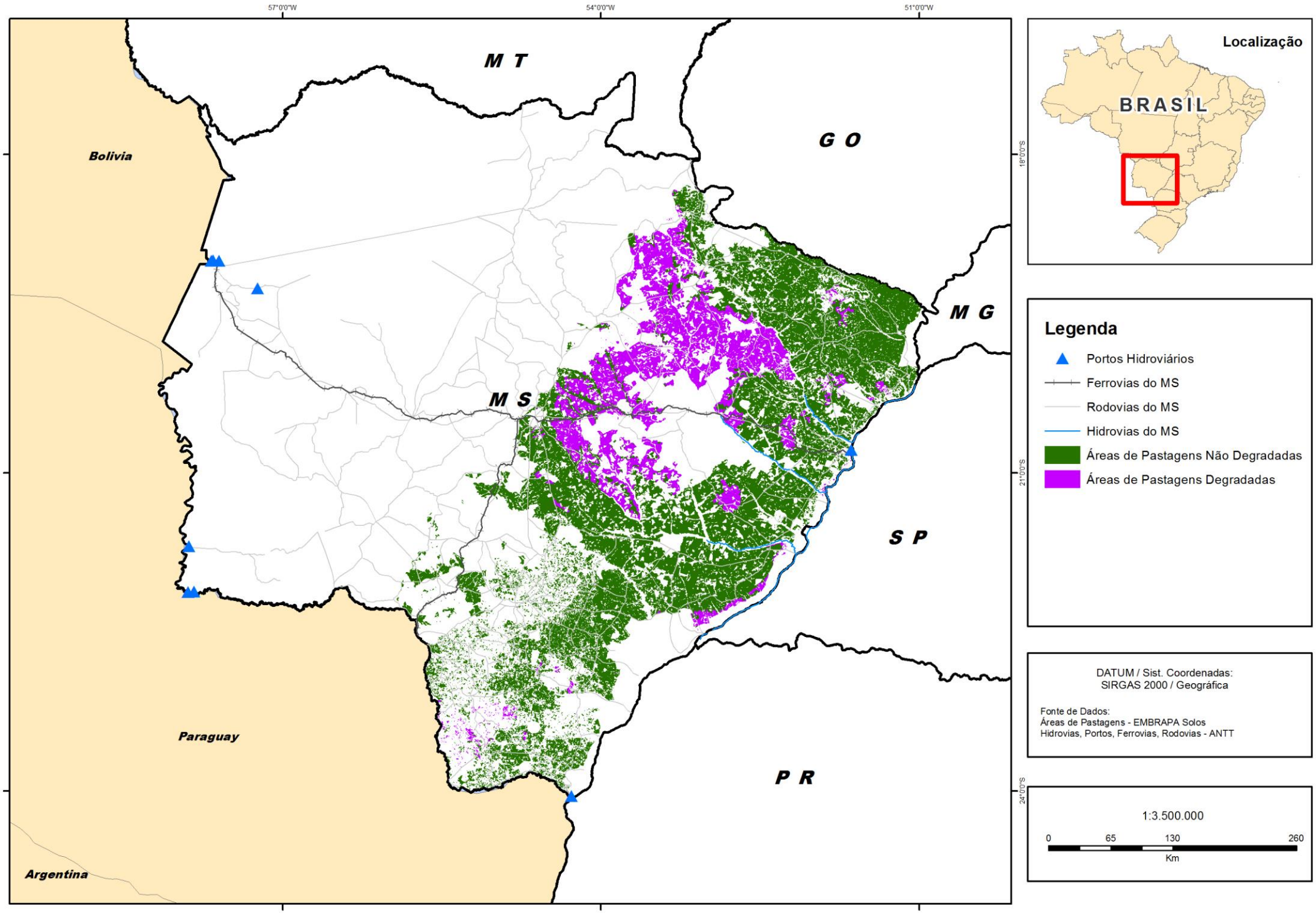
Áreas de Pastagem com potencial para florestas energéticas de eucalipto para produção de pellets no Estado do Rio de Janeiro



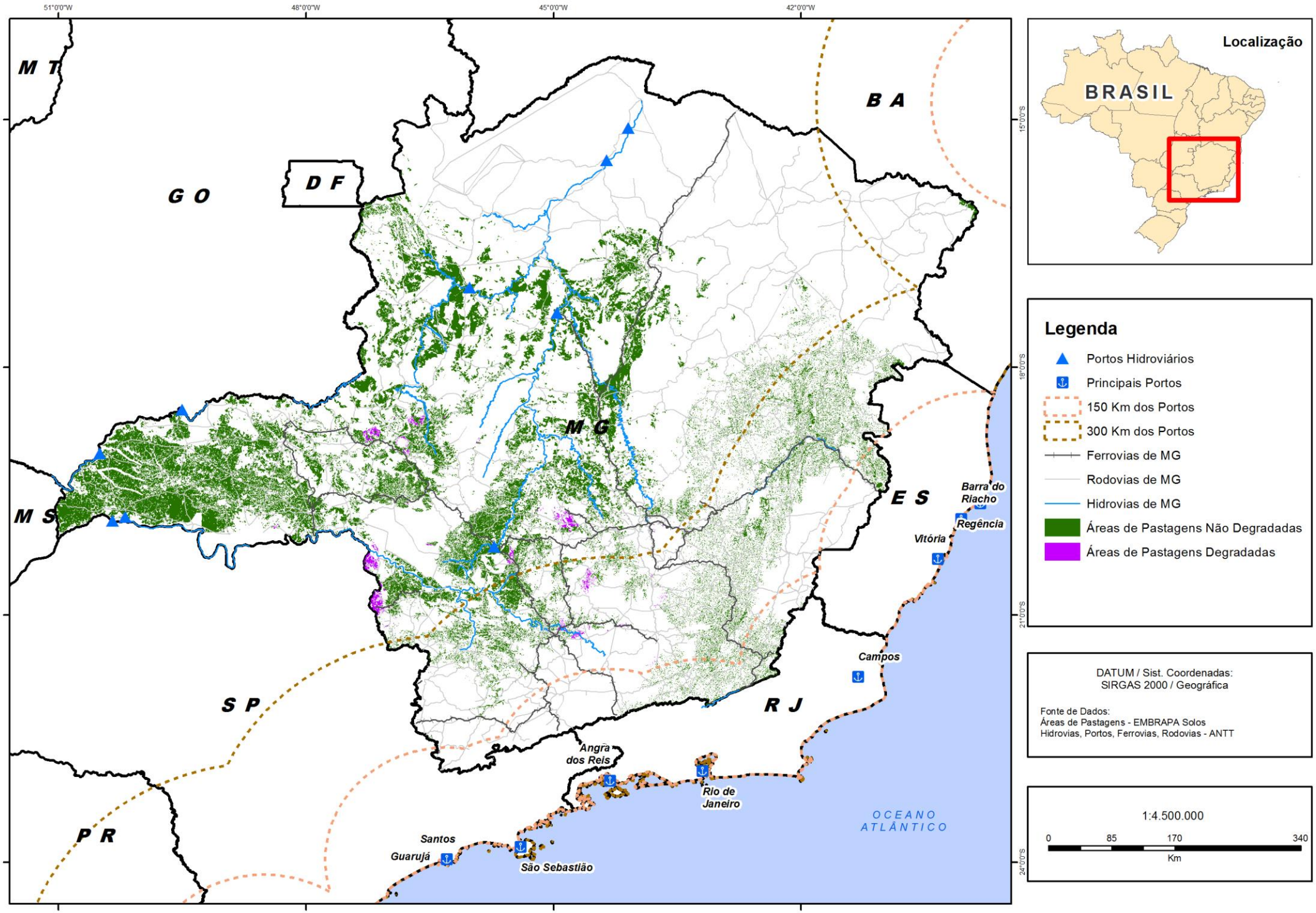
Áreas de Pastagem com potencial para florestas energéticas de eucalipto para produção de pellets no Estado do Paraná



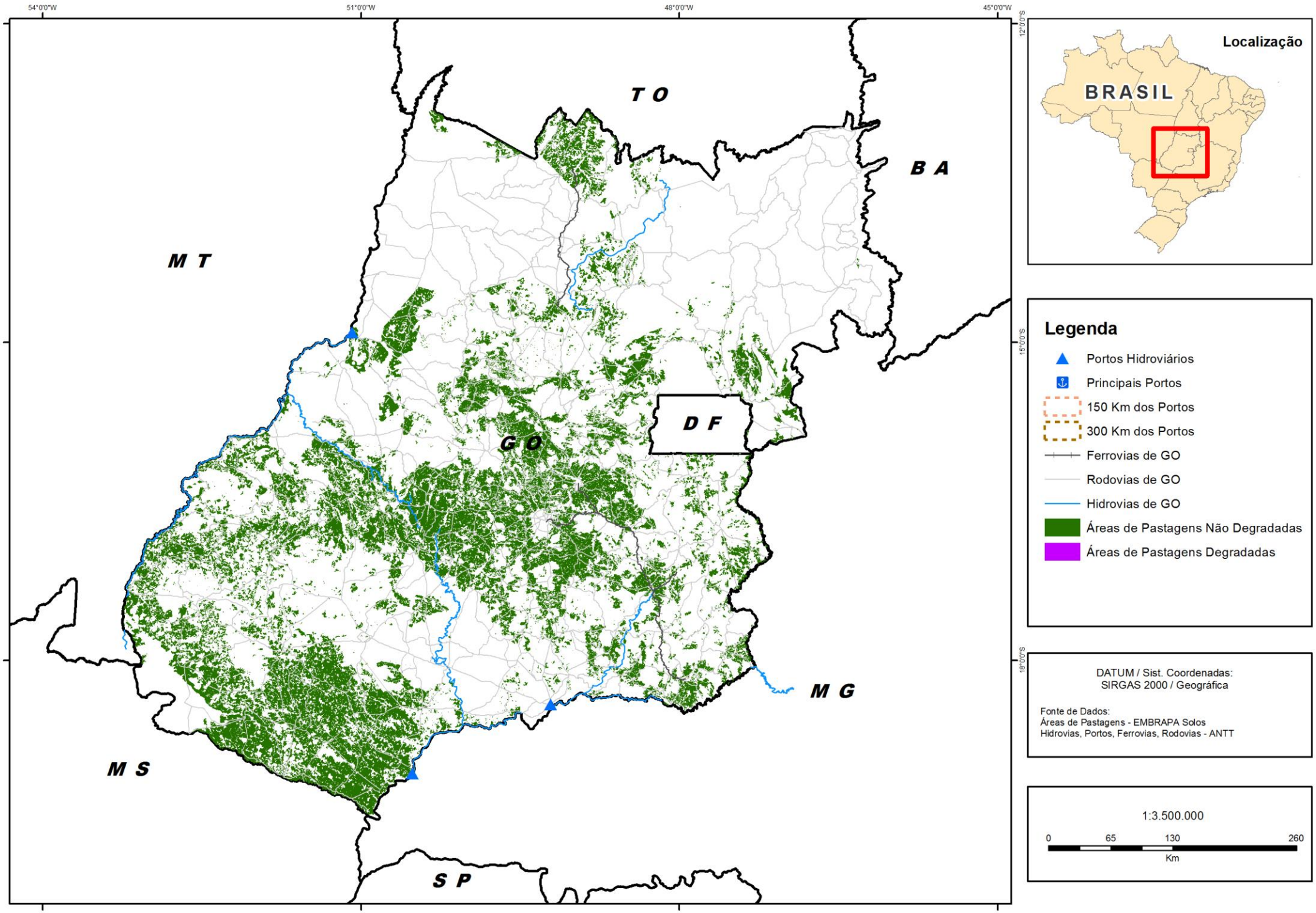
Áreas de Pastagem com potencial para florestas energéticas de eucalipto para produção de pellets no Estado do Mato Grosso do Sul



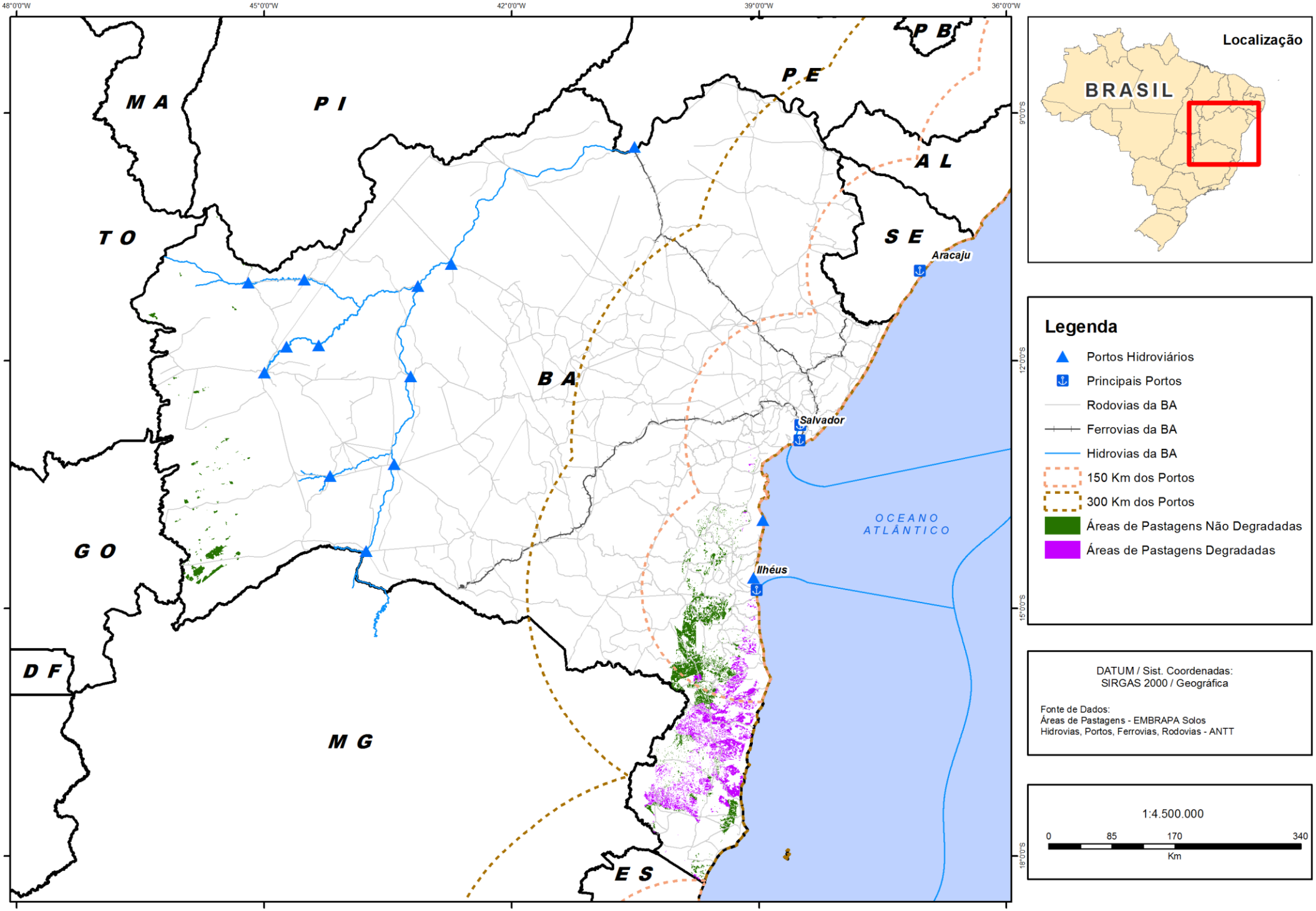
Áreas de Pastagem com potencial para florestas energéticas de eucalipto para produção de pellets no Estado de Minas Gerais



Áreas de Pastagem com potencial para florestas energéticas de eucalipto para produção de pellets no Estado de Goiás



Áreas de Pastagem com potencial para florestas energéticas de eucalipto para produção de pellets no Estado da Bahia



< Uso exclusivo do INPI >

INPI INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
PROTOCOLO GERAL
maneiegr 018160003849
13/10/2016 16:18 DESP
BR 10 2016 023862 5

Espaço reservado para o protocolo

Espaço reservado para o código QR

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
Sistema de Gestão da Qualidade
Diretoria de Patentes

DIRPA	Tipo de Documento: Formulário	DIRPA	Página: 1/3
Título do Documento: **Depósito de Pedido de Patente**		Código: FQ001	Versão: 2
		Procedimento: DIRPA-PQ006	

Ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial:
O requerente solicita a concessão de um privilégio na natureza e nas condições abaixo indicadas:

1. Depositante (71):

1.1 Nome: Javier Farago Escobar

1.2 Qualificação: Doutor em Energia

1.3 CNPJ/CPF: 363190218-29

1.4 Endereço Completo: Rua Orobo, 856 - Alto de Pinheiros, São Paulo/SP

1.5 CEP: 05466030

1.6 Telefone: 11 982524575 1.7 Fax:

1.8 E-mail: jfaragoescobar@gmail.com

☐ continua em folha anexa

2. Natureza: ☒ Invenção ☐ Modelo de Utilidade ☐ Certificado de Adição

3. Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):

"MÉTODO DE REMOÇÃO DE CLORO E DE COMPONENTES INORGÂNICOS DA MADEIRA DE EUCALIPTUS SSP. PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTIVEL SÓLIDO, NA FORMA DE "PELLETS" OU OUTRA".

☐ continua em folha anexa

4. Pedido de Divisão: do pedido Nº **Data de Depósito:** 13/10/2016

5. Prioridade: ☐ Interna (66) ☐ Unionista (30)

O depositante reivindica a(s) seguinte(s):

País ou Organização do depósito	Número do depósito (se disponível)	Data de depósito

☐ continua em folha anexa

6. Inventor (72):

☐ Assinale aqui se o(s) mesmo(s) requer(em) a não divulgação de seus nome(s), neste caso não preencher os campos abaixo.

6.1 Nome: Javier Farago Escobar

6.2 Qualificação: Doutor em Energia

6.3 CPF: 363190218-29

6.4 Endereço Completo: Rua Orobo, 856 - Alto de Pinheiros, São Paulo/SP

6.5 CEP: 05466030

6.6 Telefone: 11 982524575 6.7 FAX:

6.8 E-mail: jfaragoescobar@gmail.com

☒ continua em folha anexa

7. Declaração de divulgação anterior não prejudicial. ☐

Artigo 12 da LPI – período de graça.
Informe no item 11.13 os documentos anexados, se houver.

8. Declaração na forma do item 3.2 da Instrução Normativa PR nº 17/2013:

☐ Declaro que os dados fornecidos no presente formulário são idênticos ao da certidão de depósito ou documento equivalente do pedido cuja prioridade está sendo reivindicada.

9. Procurador (74):

9.1 Nome:

9.2 CNPJ/CPF: 9.3 API/OAB:

9.4 Endereço Completo:

9.5 CEP:

9.6 Telefone: 9.7 FAX:

9.8 E-mail:

☐ continua em folha anexa

10. Listagem de sequências biológicas.

Informe nos itens 11.9 ao 11.12 os documentos anexados, se houver. ☐

6. Inventor (72):

6.1 Nome: Ildo Luis Sauer

6.2 Qualificação: Doutor em Física Nuclear

6.3 CPF: 265024960-91

6.4 Endereço Completo: Rua Padre Justino, 230 - Vila Pirajussara - Butantã, São Paulo/SP

6.5 CEP: 05580095

6.6 Telefone: 11 972815857 6.7 FAX:

6.8 E-mail: illsauer@gmail.com

6.1 Nome: José Goldemberg

6.2 Qualificação: Doutor em Física

6.3 CPF: 065477538-91

6.4 Endereço Completo: Rua Pio XI, 1500 – Alto da Lapa, São Paulo/SP

6.5 CEP: 05468140

6.6 Telefone: 11 989287479 6.7 FAX:

6.8 E-mail: presidencia@fapesp.br

11. Documentos Anexados:

(Assinale e indique também o número de folhas):
(Deverá ser indicado o número total de somente uma das vias de cada documento).

		Documentos Anexados	folhas
☐	11.1	Guia de Recolhimento da União (GRU).	
☐	11.2	Procuração.	
☐	11.3	Documentos de Prioridade.	
☐	11.4	Documento de contrato de trabalho.	
☐	11.5	Relatório descritivo.	
☐	11.6	Reivindicações.	
☐	11.7	Desenho(s) (se houver). Sugestão de figura a ser publicada com o resumo: nº, _____ por melhor representar a invenção (sujeito à avaliação do INPI).	
☐	11.8	Resumo.	
☐	11.9	Listagem de sequências em arquivo eletrônico: _____nº de CDs ou DVDs (original e cópia).	
☐	11.10	Código de controle alfanumérico no formato de código de barras referente às listagem de sequências.	
☐	11.11	Listagem de sequências em formato impresso.	
☐	11.12	Declaração relativa à Listagem de sequências.	
☐	11.13	Outros (especificar)	

12. Total de folhas anexadas: fls.

13. Declaro, sob as penas da Lei que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

São Paulo 13/10/2016
Local e Data

Assinatura e Carimbo
Jairen Farano Escobar

São Paulo, 13/10/2016

Local e Data

Assinatura e Carimbo

ILDO LUIS SAUER

São Paulo, 13/10/2016

Local e Data

Assinatura e Carimbo

JOSÉ GOLDEMBERG