

Roberth Andres Villazon Montalvan

**ASPECTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO DE PIRÓLISE
LENTA DE BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA
AGRICULTURA FAMILIAR EM SANTA CATARINA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof^a. Dr^a. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto.

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Villazon Montalvan, Roberth Andres
Aspectos ambientais do processo de pirólise lenta
de biomassa florestal no contexto da agricultura
familiar em Santa Catarina / Roberth Andres
Villazon Montalvan ; orientadora, Cátia Regina
Silva de Carvalho Pinto, 2017.
171 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis,
2017.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Avaliação ambiental.
3. Fatores de emissão. 4. Tecnologias de mitigação.
5. Carvão vegetal. I. Pinto, Cátia Regina Silva de
Carvalho. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental. III. Título.



TERMO DE APROVAÇÃO

“Aspectos Ambientais do Processo de Pirólise Lenta de Biomassa Florestal no Contexto da Agricultura Familiar em Santa Catarina”

Roberth Andres Villazon Montalvan

A Tese foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

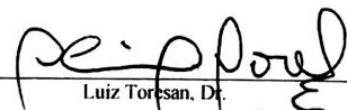
DOUTOR EM ENGENHARIA AMBIENTAL

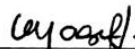
Aprovado por:


Prof.ª Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto, Dr.ª
(Orientadora)


Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.


Prof.ª Martha Andrea Brand, Dr.ª


Luiz Torresan, Dr.


Prof.ª Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.ª
(Coordenadora)

Este trabalho é dedicado à minha família.

AGRADECIMENTOS

Por onde começar e como demonstrar a minha gratidão àqueles que, direta ou indiretamente, fizeram parte deste trabalho, que desafio!

Primeiramente, agradecer a Deus pelo desafio e oportunidade que me apresentou. Virgínia, te agradeço de coração a parceria e compreensão, sacrifício, carinho e ajuda durante esse período das nossas vidas, sem a nossa cumplicidade não teria conseguido me superar. Assim também as minhas pequenas Helena e Sofia, que me presenteiam com o seus sorrisos e carinhos motivadores sempre e me dão a força para seguir em frente.

Aos meus pais, meus primeiros mestres, pelos ensinamentos, esforços e sustento que me guiaram e guiam pelo bom caminho. Aos meus irmãos, sobrinhos(as) e cunhado(a) pela torcida e ajuda a distância. Aos meus sogros, pela colaboração desinteressada nesse período, pelas discussões e paciência comigo e com as meninas.

A minha orientadora, pela confiança irrestrita depositada em mim; aos professores do programa de pós-graduação por terem compartilhado os seus conhecimentos nas aulas.

À CAPES, à UFSC e ao PPGEA, pelo auxílio financeiro durante o desenvolvimento da minha atividade de pesquisa; assim também ao CNPq, pelos recursos depositados nessa pesquisa através do projeto n. 404039/2013-8.

Aos agricultores da Associação Valor da Roça, em especial a Adelmo e Maria, pela paciência durante o processo de levantamento de dados.

Aos amigos do Epagri/CEPA, que me acompanharam e compartilharam também suas experiências. Em especial a Márcia, Luiz, Haroldo, Luís e Rogério. Assim também aos integrantes da Rede Sul Florestal, em especial a Tássio, Cíntia, Eliane, Adriel e Martha que contribuíram ao trabalho desde o seu início.

Obrigado Bianca, Gisele e Juliana pela força nas análises de laboratório.

Ao Fantini, pela preocupação com o andamento da pesquisa, as discussões sobre o tema, a força e o apoio incondicional desde o início da mesma.

A vocês que ficaram sujos de lama e pretos de carvão, que pegaram chuva e sol, que acordaram de madrugada no verão e no inverno e que me ajudaram a carregar o peso do doutorado nas costas (literalmente). Vocês que não se negaram ao meu pedido de ajuda para carregarmos juntos mais de 13 toneladas de lenha e carvão, a minha gratidão infinita. Tadeu,

Marina e Renata vocês são demais, obrigado por me conceder desinteressadamente seus finais de semana para trabalharmos juntos em campo e por ter me acompanhado na etapa final do doutorado, discutindo os resultados e compartilhando o vosso conhecimento. Obrigado!

Finalmente, e não menos importante, a medalha de ouro para você, meu amigo Reney, amigo e confidente, as suas palavras de motivação e conselhos nos meus momentos de debilidade serviram-me de apoio firme para seguir em frente. Sem dúvida, as palavras ficam curtas para expressar a minha gratidão pela sua confiança, apoio e parceria.

Agradeço a todos que, mesmo não sendo mencionados nestas linhas, colaboraram na consecução dos objetivos desse trabalho.

Gracias a todos!!!!!!!

“Todo lo que escuchamos es una opinión, no un hecho. Todo lo que vemos es una perspectiva, no la verdad”.

(Marcus Aurelius, 170)

RESUMO

Abordar os impactos ambientais da produção tradicional de carvão vegetal é um desafio, independentemente do contexto e do volume produzido. A maioria das avaliações ambientais a esse respeito consideram alguns aspectos ao abordar a sustentabilidade da produção; principalmente desmatamento, remoção florestal e avaliação qualitativa de emissões de poluentes. A produção de carvão vegetal é mais do que a relação linear entre floresta, madeira e carvão vegetal. Existem aspectos biofísicos e socioeconômicos que devem ser considerados ao avaliar os impactos ambientais e a sustentabilidade da produção. A produção tradicional em fornos de tijolos é a situação mais comum no Sul do Brasil, onde, em contraste com os países africanos, é voltada para a crescente demanda do mercado doméstico, especificamente para o tradicional churrasco. Este trabalho pretende discutir os impactos da produção de carvão sob práticas tradicionais em um contexto de produção em pequena escala no Sul do Brasil, estabelecendo uma avaliação ambiental pertinente e significativa que engloba a vasta complexidade da produção. Assim também foi determinado o fator de emissão do teor de carbono nos gases e foram discutidas as opções de mitigação de emissão de gases, sendo este aspecto ambiental reconhecido como um ponto crítico da produção. O estudo foi orientado pelos princípios de pesquisa qualitativa e quantitativa, de natureza exploratória e descritiva. O Valor Global de Impacto Ambiental (VGI) foi utilizado para estabelecer um valor agregado de impacto. Os resultados sugerem que, sob práticas tradicionais de pequena escala, o impacto agregado da produção de carvão tende à neutralidade, com a dimensão econômica sendo vista como o impacto mais positivo avaliado e a dimensão da saúde sendo a mais negativa. Assim também foi evidenciado que a contabilização das emissões está sendo superdimensionada, pois o fator de emissão encontrado é menor do que os utilizados nos Inventários Nacionais de Emissões; e existe, ainda, tecnologias viáveis de implementação para mitigação delas. Os resultados refutam o julgamento geral do carvão vegetal como principal fonte de desmatamento, degradação florestal e fonte de emissões de GEE. A eficácia da sustentabilidade da produção de carvão vegetal, no Sul do Brasil, é condicionada pela adoção adequada de políticas neste segmento econômico da agricultura.

Palavras-chave: Avaliação ambiental. Fatores de emissão. Tecnologia de mitigação.

ABSTRACT

Addressing the environmental impacts of traditional charcoal production is challenging regardless of context and volume produced. Most environmental assessments consider a few aspects when approaching production sustainability; mostly deforestation, forest clearance and qualitative assessment of pollutant emissions. Charcoal production is more than the linear relation between forest, wood, and charcoal. There are more biophysics and socioeconomic aspects which should be considered when assessing charcoal's environmental impacts and sustainability. Traditional production in brick beehive kilns is the most common situation in southern Brazil, where, in contrast to African countries, production is aimed to the increasing demand of the domestic market, specifically for barbecue cooking. This paper aims to discuss the impacts of charcoal making under traditional practices in a small-scale production context in southern Brazil, establishing a pertinent and significant environmental assessment which ensembles the vast complexity of production. In addition, it was determined the total carbon emission factor during charcoal processes and discussions about gas emission mitigation options were also developed. The study was guided by the principles of qualitative and quantitative research, with exploratory and descriptive nature. The Global Environmental Impact Value (GEIV) was used to establish an aggregate impact value. Results suggest that under small-scale traditional practices, charcoal production aggregated impact may be neutral, with the economic dimension noticeably as the most positive impact valued and the health dimension the most negative one. It was also evidenced that emissions accounting are being oversized because the emission factor found is lower than those used in the National Emissions Inventories and there are also feasible emission mitigation technologies. Results refute the general forejudgement of charcoal as a primary source of deforestation, forest degradation, and root GHG's emissions. Charcoal's production sustainability effectiveness, in southern Brazil, is conditioned by adequate policy adoption in this economic segment of agriculture.

Keywords: Environmental assessment. Emission factors. Mitigation technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Local de estudo.....	30
Figura 2. Pilares da sustentabilidade.....	38
Figura 3. Processos de conversão térmica e os produtos gerados.	69
Figura 4. Divisão das camadas da atmosfera.	81
Figura 5. Ciclo de Chapman.	82
Figura 6. Material utilizado.	90
Figura 7. Forno piloto.	92
Figura 8. Inputs e outputs principais para o balanço de massa.	95
Figura 9. Fator de emissão calculado por espécie.....	98
Figura 10. Distribuição do fator de emissão.	98
Figura 11. Distribuição dos fatores de emissão por espécie.....	99
Figura 12. Distribuição do C durante o processo.....	100
Figura 13. Monitoramento das emissões por espécie.....	101
Figura 14. Vista geral do forno com a chaminé acoplada.	110
Figura 15. Detalhe da fornalha de combustão.....	111
Figura 16. Esquema genérico de um SRV.	113
Figura 17. SRV acoplado a um forno tipo rabo quente.....	114
Figura 18. SRV implementado no local de estudo.....	119
Figura 19. Detalhe da coleta do licor pirolenhoso.	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Uso da terra em São Mateus em 2011.....	31
Quadro 2. Abrangência do termo ambiente e termos correlatos usados em diferentes disciplinas.	36
Quadro 3. Esquema fundamental para identificação de impactos ambientais....	43
Quadro 4. Aspectos ambientais.....	48
Quadro 5. Impactos ambientais.....	49
Quadro 6. Ponderação dos parâmetros do indicador de atributo.....	50
Quadro 7. Ponderação atribuída aos indicadores.	50
Quadro 8. Valor Global de Impacto.....	52
Quadro 9. Valor de impacto para a dimensão floresta.	52
Quadro 10. Valor de impacto para a dimensão solo.	53
Quadro 11. Valor de impacto para a dimensão atmosfera.	55
Quadro 12. Valor de impacto para a dimensão água.....	56
Quadro 13. Valor de impacto para as dimensões econômica e social.....	57
Quadro 14. Valor de impacto para a dimensão saúde.	59
Quadro 15. Participação das fontes de energia no Brasil.	63
Quadro 16. Mercado brasileiro do carvão vegetal (toneladas).....	64
Quadro 17. Origem da lenha para produção de carvão vegetal no Brasil.	65
Quadro 18. Parâmetros do processo de pirólise.	71
Quadro 19. Tecnologia de pirólise.....	72
Quadro 20. Características toxicológicas das substâncias contidas na fumaça de combustão incompleta de biomassa.....	77
Quadro 21. Resumo das pesquisas realizadas na determinação de concentração de poluentes durante o processo de carbonização [g de poluente/kg de carvão produzido).....	79
Quadro 22. Gases constituintes da atmosfera.	84
Quadro 23. Quadro geral dos principais poluentes atmosféricos.	87
Quadro 24. Detalhe do processo de amostragem por repetição.	93
Quadro 25. Características técnicas da lenha, carvão e cinzas.....	100
Quadro 26. Comparação das tecnologias de mitigação.....	109
Quadro 27. Potencial de uso dos produtos da pirólise da biomassa florestal.	115
Quadro 28. Propriedades físicas típicas do extrato pirolenhoso.	118
Quadro 29. Rendimento de produção de AP.....	124
Quadro 30. Potencial de produção de AP na região estudada.....	124
Quadro 31. Impacto nas receitas pela produção de AP na região estudada.	125
Quadro 32. Fluxo de caixa previsto (em Reais).....	126
Quadro 33. Indicadores econômicos e financeiros.....	127

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Valor Global do Impacto.....	51
Equação 2. Processo de fotossíntese.....	83
Equação 3. Quantidade de Carbono emitida.....	95
Equação 4. Fator de emissão de Carbono.....	96
Equação 5. Valor Presente Líquido.....	121
Equação 6. Valor Anual Equivalente.....	121
Equação 7. Taxa Interna de Retorno.....	122
Equação 8. Razão Benefício-Custo.....	122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.p./AP	Ácido pirolenhoso
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	<i>Approved consolidated baseline and monitoring methodology by the CDM</i>
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
AMS	Associação Mineira de Silvicultura
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
b.s.	Base seca
B/C	Razão Benefício Custo
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDM	<i>Clean Development Mechanism</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FAMABI	Fundação do Meio Ambiente de Biguaçu
FAO	<i>The Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FATMA	Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina
GC/MS	Cromatógrafo Gasoso acoplado à espectrômetro de massas.
GEE's	Gases de Efeito Estufa
GWP	Potencial de aquecimento global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
ISO	Organização Internacional de Estandarização
LEMEF	Laboratório Integral de Estudos Florestais
m ³ st	Metros cúbicos estéreis, volume de lenha empilhada que cabe num cubo de 1 metro de aresta
mdc	Metros cúbicos de carvão, volume de carvão que cabe num cubo de 1 metro de aresta
MME	Ministério de Minas e Energia
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior

PNMC	Política Nacional sobre Mudança Climática, Lei nº12.187/2009
ppb	partes por bilhão
PPGEA	Programa de pós-graduação em engenharia ambiental
ppm	partes por milhão
RSF	Rede Sul Florestal
SAS/STAT	Statistical Analysis Software
SRV	Sistema de Recuperação de Voláteis
T	Temperatura
t	Tempo
TCF	Teor de Carbono Fixo
TGA	Análise Termogravimétrica
TIR	Taxa Interna de Retorno
U.N.	Nações Unidas
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática
V.I.	Valor de Impacto
VAE	Valor Anual Equivalente
VGI	Valor Global de Impacto
VPL	Valor Presente Líquido
W	Massa
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

SUMÁRIO	21
CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	25
1.1. INTRODUÇÃO.....	25
1.2. JUSTIFICATIVA	27
1.3. OBJETIVOS.....	29
1.3.1. Objetivo geral	29
1.3.2. Objetivos específicos.....	29
1.4. LIMITES	29
1.4.1. Geográfico	29
1.4.2. Temporal.....	29
1.5. LOCAL DE ESTUDO.....	30
1.6. ESCOPO DA PESQUISA	32
CAPÍTULO 2: VALOR GLOBAL DE IMPACTO DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA.	35
2.1. INTRODUÇÃO.....	35
2.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.2.1. Ambiente, sustentabilidade e impacto	35
2.2.2. Aspectos ambientais e a avaliação de impacto ambiental	39
2.2.3. Avaliação da importância dos impactos	42
2.2.4. O processo de pirólise lenta no contexto da produção tradicional	45
2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	46
2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
2.4.1. Impactos nas dimensões florestal e solos	52
2.4.2. Impactos na dimensão da atmosfera.....	54
2.4.3. Impactos na dimensão da água.....	55
2.4.4. Impactos nas dimensões econômica, social e saúde	56
2.5. CONCLUSÕES.....	59
CAPÍTULO 3: EMISSÕES GASOSAS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA FAMILIAR.....	63
3.1. INTRODUÇÃO.....	63
3.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	63
3.2.1. O carvão vegetal como insumo energético.....	63
3.2.2. Florestas e sistema de uso da terra.....	65
3.2.3. Conversão térmica da biomassa	67
3.2.4. O carvão vegetal como resultado da pirólise lenta da biomassa florestal	72
3.2.5. Balanço de massa e emissões gasosas durante o processo	75

3.2.6. Atmosfera, poluição e qualidade do ar	80
3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	90
3.3.1. Levantamento de campo e planejamento da coleta	90
3.3.2. Análises de laboratório	93
3.3.3. Balanço de massa e cálculos	94
3.3.4. Análise estatística dos dados	97
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
3.5. CONCLUSÕES	103
CAPÍTULO 4: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES.	107
4.1. INTRODUÇÃO	107
4.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	107
4.2.1. A mitigação de emissões gasosas	107
4.2.2. Tecnologias de mitigação	108
4.2.3. Os coprodutos da pirólise da biomassa florestal	114
4.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	118
4.4. RESULTADOS	123
4.5. CONCLUSÕES	127
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.	131
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
5.2. CONCLUSÕES	132
5.3. RECOMENDAÇÕES	133
REFERÊNCIAS	137
APÊNDICE A – Roteiro de dados a serem coletados	153
ANEXO A – CORRELAÇÃO ENTRE ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS	155
ANEXO B – IMPACTOS NO MEIO BIOFÍSICO	157
ANEXO C – IMPACTOS NO MEIO ANTRÓPICO	159
ANEXO D – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	161
ANEXO E – CARACTERIZAÇÃO DA LENHA	163
ANEXO F – CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO	165
ANEXO G – CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS	169

**ASPECTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE
BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA
FAMILIAR EM SANTA CATARINA**

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. INTRODUÇÃO

O Acordo de Paris e a adoção de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para a agenda de 2030, que foram adotados pelos países e organizações internacionais em 2015, representam uma nova era na avaliação ambiental das diversas atividades antropogênicas. O acordo não é ambíguo ao aludir às características integradas e indivisíveis do desenvolvimento sustentável, e que uma avaliação apropriada deva abordar suas três dimensões.

Especificamente, para a produção de bioenergia a partir de biomassa florestal, a Declaração de Durban de 2015 sobre floresta e silvicultura e os seus pontos de ação indica a necessidade de uma abordagem abrangente sobre a análise da cadeia de valor e de governança de lenha e carvão, identificando a necessidade de entendimento delas para melhorar a sustentabilidade e eficiência, especialmente para produção e comércio de carvão vegetal (FAO, 2015).

De acordo com Pope et al. (2004), a realização de uma prática efetiva e sustentável baseia-se no emprego de métodos apropriados de avaliação da sustentabilidade. Métodos de avaliação diversificados estão disponíveis, mas geralmente poucos conseguem agregar a complexidade em indicadores de desempenho.

Subtil (2015) descreve que a conjunção da dimensão ambiental e econômica tem sido objeto de estudos, desenvolvendo abordagens metodológicas para impactos ambientais. Desta forma, várias metodologias foram propostas na necessidade de abordar as dimensões ambientais e econômicas da sustentabilidade.

Uma vez que a produção de carvão (processo de pirólise lenta de biomassa florestal) ocorre em regiões tropicais do globo, Chidumayo et al. (2013) e Arnold et al. (2003) realizaram uma reavaliação da situação da energia da madeira nos países em desenvolvimento e revelaram que, na Ásia e África o consumo de energia da madeira está em declínio, embora o uso na África permaneça alto. Na América do Sul, no entanto, o consumo geral parece ter aumentado lentamente.

No que diz respeito à produção de carvão vegetal, de acordo com os dados da FAO (2012), o Brasil é o maior produtor e o maior consumidor mundial de carvão vegetal; e o carvão é utilizado como fonte energética e redutora, principalmente pelo setor industrial para fabricação de aço, ferro gusa e ferroligas (BAILIS et al., 2013; VITAL et al., 2009; JOAQUIM, 2009; SEIXAS RUMMER, 2006). A atividade suporta uma imensa e diversificada rede de atores rurais, proporcionando-lhes empregos e meios de subsistência ao longo de sua cadeia produtiva (GHILARDI et al., 2013).

O amplo uso do carvão vegetal no país se deve em parte ao incentivo do Governo Federal em inúmeros segmentos da produção industrial após a crise do petróleo em 1973, para a substituição do óleo combustível por carvão vegetal (ASSIS et al., 2008). O uso de carvão vegetal também foi impulsionado após o Protocolo de Quioto (1997), onde ficou definido que os países desenvolvidos deveriam reduzir as emissões de gases de efeito estufa pela substituição de energias não renováveis (SABLOWSKI, 2008).

A matéria-prima que sustenta essa produção provém de florestas plantadas (principalmente *Eucalyptus*) e de florestas nativas (CALAIS, 2009). Conforme Sablowski (2008), parte significativa do carvão vegetal no Brasil é obtida com o emprego de técnicas bastante rudimentares, mão de obra pouco qualificada e pequena alocação de recursos.

No Sul do Brasil, o carvão vegetal vem do contexto da agricultura familiar, que é predominante na região. De acordo com o último censo agrícola do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), a agricultura familiar representa 84% das fazendas da região (86% no estado do Rio Grande do Sul, 87% no estado de Santa Catarina e 82% no estado do Paraná). Isso ressalta a importância socioeconômica dessa organização social em termos de ocupação da terra e desenvolvimento rural.

O estado de Santa Catarina (SC), que não é considerado um grande produtor de carvão vegetal (VILLAZON MONTALVAN, 2013), apresenta uma produção aproximada de menos de 1% da produção nacional (IBGE, 2011). No entanto, Fantini, et al. (2010), Araújo et al. (2013) e Villazon Montalvan (2013) indicam que esses números estão sendo subestimados e que a cadeia de valor do carvão é mais expressiva do que a informação governamental oficial.

A produção tradicional de carvão em Santa Catarina é realizada por meio do sistema de roça de toco, que é uma adaptação feita pelos agricultores locais. Nele, o agricultor pretende maximizar o uso da matéria-prima florestal disponível ao realizar os primeiros passos do sistema. O agricultor não deixa as florestas queimarem por completo. O fogo deve ser apenas o suficiente para limpar o dossel de galhos e grama. Desta forma, eles permitem a disponibilidade de madeira para a produção de carvão vegetal (VILLAZON MONTALVAN et al., 2016).

De acordo com a descrição de Villazon Montalvan (2013), a produção de carvão na região estudada é uma atividade tradicional e possui uma sequência complexa de estágios; da floresta ao carvão e à consumação final. O conhecimento prático do dia a dia permitiu aos agricultores fortalecer sua técnica no processo de produção de carvão e manejo florestal.

Ainda em relação à tecnologia de produção, Carvalho et al. (2005) indicam que têm sido adotados por grande parte dos produtores de carvão vegetal no Brasil, os fornos de argila (tijolos), cuja construção exige um baixo nível de investimento devido a uma carência de processos mais eficientes (CARVALHO et al., 2005). Produz-se de forma rudimentar, com pouca ergonomia, e o rendimento produtivo varia entre 10% e 30% de aproveitamento efetivo da madeira no ingresso do processo, emitindo assim uma quantidade considerável de substâncias através da fumaça na atmosfera.

1.2. JUSTIFICATIVA

O incremento populacional mundial nas últimas décadas tem sido responsável pela crescente pressão das atividades antrópicas sobre os recursos naturais. Na prática, é difícil pensar em ecossistemas virgens que não tenham sido impactados pelo homem. As atividades antrópicas impactam de forma direta e/ou indireta os grandes ciclos da vida, (água, carbono e energia), tendo como resultado a diminuição da diversidade de habitats e perda da biodiversidade.

O que se observa é uma forte pressão do sistema produtivo sobre os recursos naturais, através da obtenção de matéria-prima na produção de bens que são utilizados no crescimento econômico.

Por outro lado, uma visão conservacionista carrega intrinsicamente riscos ao desenvolvimento humano e à manutenção da qualidade de vida. De fato, já em 1987, na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente, concluiu-se que a ausência de crescimento ou desenvolvimento seria nociva ao meio ambiente e que a grande questão atual seria torná-lo sustentável (CMMAD, 1987).

Tendo em vista a minimização dos impactos e externalidades negativas das atividades antrópicas e a mitigação dos impactos inerentes às nossas atividades, a resposta para a dicotomia entre crescimento e manutenção do ambiente vai depender de um processo de melhora contínua, intrinsecamente ligado a uma mudança de valores, aprofundamento no conhecimento e vontade pública como política.

Assim, o imperativo em identificar e caracterizar os impactos a partir de avaliações pertinentes que permitam orientar as decisões sobre atividades tradicionais, muitas vezes desconhecidas ou mal-entendidas, buscando ainda medidas mitigadoras mais adequadas a cada situação, fica determinado.

Deve-se, ainda, levar em consideração que o Brasil foi o pioneiro dentre os países emergentes a assumir metas de redução de emissões descritas no Protocolo de Quioto, mesmo sem ter compromissos obrigatórios de redução, tendo declarado voluntariamente uma meta de redução das emissões até o ano 2020.

Assim, o Brasil necessita cobrir as lacunas no conhecimento referente aos aspectos técnicos da produção de carvão vegetal, seja para fins industriais ou não. Entre eles, observa-se o imperativo de estabelecer indicadores confiáveis de emissões gasosas durante o processo produtivo no contexto dos pequenos atores rurais, visando aos impactos dele decorrente.

Existem poucos estudos que avaliam integralmente os aspectos ambientais da produção de carvão na pequena escala. A maioria deles relaciona aspectos de desmatamento e/ou poluição atmosférica de maneira qualitativa, sendo que a produção inclui outros aspectos, como a fauna e a manutenção social da família no entorno rural. As emissões não são quantificadas ou ainda são desconhecidos os elementos que as conformam.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo geral

O presente trabalho visa à avaliação dos aspectos ambientais decorrentes do processo de pirólise lenta de biomassa florestal no contexto da agricultura familiar em Santa Catarina.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar o valor global de impacto dos aspectos ambientais do processo de pirólise lenta de biomassa florestal.
- Avaliar o aspecto ambiental quanto às emissões atmosféricas do processo de pirólise lenta de biomassa florestal.
- Verificar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de mitigação de emissões atmosféricas.

1.4. LIMITES

1.4.1. Geográfico

A avaliação ambiental diz respeito ao processo produtivo do carvão vegetal proveniente do sistema roça de toco em fornos de argila e tijolos situados nas encostas da região litorânea de Santa Catarina. A determinação dos fatores de emissão de gases durante o processo de pirólise lenta foi estabelecida com base em biomassa florestal proveniente do sistema da Mata Atlântica, onde a floresta é caracterizada como ombrófila densa e o clima da região é classificado como Cfa – mesotérmico úmido, com verão quente. A precipitação anual é de 1.558 mm e a temperatura média anual é de 20,5°C, com média mínima no mês de julho de 16,4°C e média máxima de 24,6°C no mês de fevereiro (INMET, 2014).

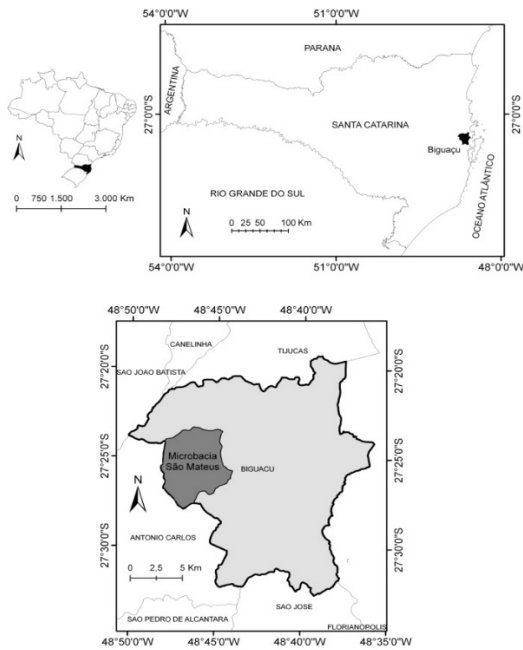
1.4.2. Temporal

O processo de amostragem e de análise de laboratório foi realizado com base em normativas e condições de tratamento para o período 2015-2017.

1.5. LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado na microbacia de São Mateus (27°23'S e 27°28'S, 48°44'W e 48°49'W), localizado no município de Biguaçu, na zona costeira do estado de Santa Catarina (Figura 1). A microrregião se estende numa área de 38,42 km², abrangendo as comunidades rurais de São Mateus, São Marcos e Canudos.

Figura 1. Local de estudo.



Fonte: ARAÚJO et al., 2013.

A microrregião é caracterizada por altas encostas, com picos de montanha que atingem até 586 m de altitude (BAUER, 2012). A floresta nessa região é caracterizada como uma floresta ombrófila densa, que se estende através da região costeira do Estado e é uma das regiões fitoecológicas do bioma da Mata Atlântica (VICENTE, 2014). Os recursos florestais são elementos-chave no sustento das pessoas locais e,

de acordo com Bauer (2012), contam com aproximadamente 2.700 ha ou 84% da área total de florestas para o ano de 2011 (Quadro 1).

Quadro 1. Uso da terra em São Mateus em 2011.

	Área (ha)	%
Floresta em estágio médio ou avançado	2.035	63
Floresta em estágio inicial	300	9
Agricultura	103	3
Pastagem	411	13
Outro	26	1
Reflorestação	348	11
Área total	3.223	100

Fonte: BAUER, 2012.

De acordo com a descrição de Vicente (2014), as atividades agrícolas da microrregião estão diretamente relacionadas ao componente florestal, que provê a fertilidade necessária do sistema de pousio para culturas anuais / bianuais / semipermanentes e para a obtenção de produtos de madeira, como madeira para uso doméstico e lenha para abastecer os fornos de carvão ou moinhos de açúcar.

As famílias situadas nesta região dependem de recursos florestais e pelo menos 50% delas estão envolvidas na produção de carvão, de alguma forma; os agricultores dependem do carvão vegetal como principal fonte de renda para o processo de produção (ARAÚJO et al., 2013; VICENTE, 2014).

A agricultura, entretanto, ainda é importante para a região. Em 2007, havia um total de 287 famílias residindo na microbacia, das quais 109 tinham renda agrícola (ULLER-GÓMEZ; GARTNER, 2013). A atividade carvoeira, segundo as mesmas autoras, é realizada por, pelo menos, 30% das famílias que vivem da agricultura. A produção de carvão vegetal também foi encontrada como a principal atividade de ocupação e fonte de renda das famílias da localidade, pelo estudo realizado por Bauer (2012).

De acordo com Araújo et al. (2013) e Siminski e Fantini (2007), o sistema tradicional consiste em selecionar uma área de floresta secundária de aproximadamente um hectare, que é limpa e cultivada com culturas

anuais por um período de até quatro anos, deixando depois, então, para restauração natural. Em seguida, a biomassa lenhosa deixada no sistema após a limpeza é utilizada como matéria-prima para a produção de carvão por um período de um a dois anos.

Villazon Montalvan et al. (2016) relatam que esse carvão é produzido em fornos de tijolos sob práticas tradicionais de agricultura e manejo florestal e seu controle de produção é feito sob aspectos subjetivos. Fantini (2010) complementa, explicando que os produtos deste sistema são destinados ao mercado ou para o consumo das famílias, e quando o ciclo termina, a área é deixada em pousio para a regeneração da floresta por períodos de até vinte anos.

1.6. ESCOPO DA PESQUISA

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

O capítulo 1 apresenta as considerações iniciais; introdução, justificativa, os objetivos, os limites, o local de estudo e o escopo do trabalho.

O capítulo 2 visa à discussão referente à determinação do valor global de impacto da produção de carvão, a partir da identificação dos aspectos ambientais relevantes, a sua ponderação a fim de determinar o nível de impacto.

No capítulo 3, é apresentado o desenvolvimento dos objetivos específicos referentes à avaliação do aspecto ambiental das emissões na atmosfera e produção de carvão, determinando o fator de emissão de Carbono total através do balanço de massa, caracterizando os insumos e produtos do processo de pirólise lenta.

Tecnologias de mitigação e a sua viabilidade econômica de implementação são avaliadas no capítulo 4, propondo assim alternativas acessíveis para os agricultores.

Finalmente, o capítulo 5 traz as considerações finais, assim como as conclusões do trabalho e as recomendações.

**ASPECTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE
BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA
FAMILIAR EM SANTA CATARINA**

CAPÍTULO 2

**VALOR GLOBAL DE IMPACTO DO PROCESSO DE PIRÓLISE
LENTA**

CAPÍTULO 2: VALOR GLOBAL DE IMPACTO DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA

2.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo visa à discussão referente à determinação do valor global de impacto da produção de carvão, a partir da identificação dos aspectos ambientais relevantes, sua ponderação, a fim de determinar o nível de impacto. Também nele é apresentada a revisão bibliográfica pertinente, os procedimentos metodológicos para determinação do Valor Global de Impacto (VGI), os resultados e as conclusões.

2.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1. Ambiente, sustentabilidade e impacto

O sucesso de uma avaliação, independentemente da área ou abrangência dela, vai depender da clareza no entendimento dos termos utilizados. Assim, vem à tona a necessidade de definir termos chaves na hora de entender questões referidas ao impacto na natureza das atividades inerentes ao dia a dia do homem.

Dessa maneira, o entendimento cabal dos termos ambiente, impacto e sustentabilidade é fundamental no exercício de avaliação das diversas atividades antrópicas no que diz respeito à escassez dos recursos naturais.

A definição formal léxica do dicionário indica que ambiente é tudo que rodeia ou envolve os seres vivos e/ou as coisas, e que ainda pode ser entendido como o conjunto de condições materiais, culturais, psicológicas e morais que envolvem uma ou mais pessoas.

Segundo Sánchez (2013), o conceito de ambiente, no campo de planejamento e gestão ambiental, é amplo, multifacetado e maleável.

Amplamente porque pode incluir tanto a natureza como a sociedade. Multifacetado porque pode ser aprendido sob diferentes perspectivas. Maleável porque, ao ser amplo e multifacetado, pode ser reduzido ou ampliado de acordo com as necessidades do analista ou os interesses dos envolvidos (SÁNCHEZ, 2013).

Segundo Sánchez (2013), as contribuições especializadas aos estudos ambientais são divididas em três grandes grupos, referidos como o meio físico, o meio biótico e o meio antrópico, cada um deles agrupando o conhecimento de diversas disciplinas afins (Quadro 2).

O ambiente é constituído por elementos abióticos (o meio e suas influências) e bióticos (organismos vivos). Os principais elementos abióticos são: atmosfera, água e solo. Com relação aos elementos bióticos, esses constituem todos os organismos vivos que habitam o ambiente; plantas, animais e seres humanos. Cada um dos elementos são complementares e inter-relacionados.

Quadro 2. Abrangência do termo ambiente e termos correlatos usados em diferentes disciplinas.

	Meio físico	Meio biótico	Meio antrópico
Esferas da terra	Litosfera Atmosfera Hidrosfera Pedosfera	Biosfera	Antroposfera
Componentes ou elementos do meio	Litologia Solos Relevo Ar Água	Fauna Flora Ecossistemas	Economia Sociedade Cultura
Diferentes acepções do binômio natureza - sociedade	Natureza		Sociedade
	Paisagem		
	Ambiente natural		Ambiente construído
	Espaços naturais	Espaços rurais	Espaços urbanos - industriais
	Recursos naturais/ambientais		Recursos humanos/culturais
	Patrimônio natural		Patrimônio cultural
	Capital natural		Capital humano Capital social Capital econômico

Fonte: SÁNCHEZ, 2013.

A concepção de ambiente, entendida no presente trabalho, responde ao entendimento de Sánchez (2013) quando explica que, para o termo ambiente, não há uma simples aceção, mas múltiplas, e que o entendimento do termo deve permitir e viabilizar o planejamento e gestão ambiental.

Assim, sob um ponto de vista que, idealmente, coadune as visões (...) deve-se entender o ambiente sob múltiplas aceções: não somente como uma coleção de objeto e de relações entre eles, nem como algo externo a um sistema e com o qual o sistema interage, mas também como um conjunto de condições e limites que deve ser conhecido, mapeado, interpretado e dentro do qual evolui a sociedade (SÁNCHEZ, 2013).

Em relação ao termo sustentabilidade, a definição léxica indica que significa dar suporte a alguma condição, a algo ou alguém em algum processo ou tarefa. Etimologicamente, a palavra sustentável tem origem no latim "*sustentare*", que significa sustentar, apoiar e conservar.

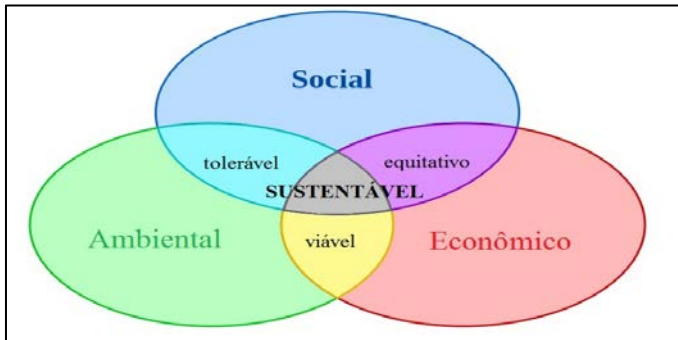
Atualmente, o termo é bastante utilizado para designar o bom uso dos recursos naturais. A sua interpretação está relacionada com uma mentalidade, atitude ou estratégia que é ecologicamente correta e viável no âmbito econômico, socialmente justa e com uma diversificação cultural.

Sustentabilidade é um termo usado para definir ações e atividades humanas que visam a suprir as necessidades atuais dos seres humanos, sem comprometer o futuro das próximas gerações (CMMAD, 1987). Ou seja, a sustentabilidade está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e material sem agredir os meios do ambiente, usando os recursos naturais de forma inteligente para que eles se mantenham no futuro. Seguindo estes parâmetros, a humanidade pode garantir o desenvolvimento sustentável.

A compreensão do termo sustentabilidade neste trabalho segue a linha de Dias e Villazon Montalvan (2013), que indica que o termo quer se referir ao não comprometimento ambiental da extensão territorial em longo prazo, deixando de causar, assim, grande impacto ambiental e proporcionando maior segurança ao indivíduo.

De acordo com Derani (2001), “o desenvolvimento sustentável visa a obter um desenvolvimento harmônico entre economia e ecologia, numa correlação máxima de valores em que o máximo econômico reflita igualmente um máximo ecológico, impondo um limite de poluição ambiental”.

Figura 2. Pilares da sustentabilidade.



No que diz respeito ao termo impacto ambiental, segundo Sánchez (1998), é a "alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana". Impacto ambiental abrange tanto as alterações benéficas quanto adversas ao ambiente (poluição).

Impacto ambiental é o resultado de uma ação humana, que é a sua causa. O impacto é a alteração da qualidade ambiental que resulta dessa emissão.

Conforme Resolução CONAMA 01/86, impacto ambiental é definido como:

(...) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V - a qualidade dos recursos

ambientais (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 1986).

O entendimento do impacto ambiental não pode ser confundido com o termo poluição, considerando-se que um impacto pode ser positivo também. O fato de que um impacto possa ter uma conotação positiva deve ser um aspecto a ser tomado em consideração ao elaborar hipóteses prévias numa avaliação compressiva.

Ainda em relação ao termo poluição, Sánchez (2013) o descreve nas seguintes palavras:

Poluição é entendida como uma condição do entorno dos seres vivos (ar, água, solo) que lhes possa ser danosa. As causas da poluição são as atividades humanas que, no sentido etimológico, 'sujam' o ambiente; poluição refere-se à matéria ou energia, ou seja, grandezas físicas que podem ser medidas e para as quais podem-se estabelecer padrões (níveis admissíveis de emissão ou de concentração ou intensidade) (SÁNCHEZ, 2013).

Dentro desse limite de poluição ambiental, a economia deve se desenvolver, proporcionando, conseqüentemente, um aumento no bem-estar social (DIAS; VILLAZON MONTALVAN, 2013).

2.2.2. Aspectos ambientais e a avaliação de impacto ambiental

A expressão aspecto ambiental é explicitada dentro da família de normas ISO 14.000. Na família ISO 14.000 estão incluídas as normas referentes aos sistemas de gestão, desempenho ambiental, avaliação do ciclo de vida de produtos, rotulagem ambiental e integração de aspectos ambientais no desenho de produtos.

Segundo Sánchez (2013), o termo aspecto ambiental era desconhecido pelos profissionais envolvidos na avaliação de impacto ambiental, ou ainda utilizado com outra conotação. No entanto, devido às normas da série ISO 14.000, passou lentamente a ser incorporado ao vocabulário de profissionais, chegando até os diversos órgãos governamentais.

Segundo Sánchez (2013), o entendimento do termo aspecto ambiental deve estar relacionado diretamente ao entendimento do consumo dos recursos naturais. A norma ISO 14.001:2004 define aspecto ambiental como:

(...) o elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiental. São aqueles elementos que podem interagir com o ambiente (ISO 14.001).

Sánchez (2013) explica que uma característica positiva da diferenciação entre aspecto e impacto ambiental adotada pela norma é deixar claro que a emissão de um poluente não caracteriza um impacto ambiental.

O impacto é a manifestação no receptor. Seja este um componente do meio físico, biótico ou antrópico. As ações são as causas, os impactos as consequências, enquanto os aspectos ambientais são os mecanismos ou os processos pelos quais ocorrem as consequências (SÁNCHEZ, 2013).

Com relação à avaliação de impactos ambientais (AIA), embora o entendimento e o objetivo prestem-se a diversas interpretações, Campos (2001) a descreve como:

Identificação dos principais impactos associados a uma atividade ou evento para subsidiar avaliações sobre a magnitude deste impacto nos meios do ambiente em que está inserido e apresentar as medidas mitigadoras mais viáveis (CAMPOS, 2001).

Pimentel (1992) explica que a AIA deve ser entendida como uma ferramenta de subsídio no processo de decisão em relação aos impactos identificados e avaliados.

Seu propósito é obter informações através do exame sistemático das atividades do projeto. Isto permite que se possa maximizar os benefícios, considerando os fatores saúde, bem-estar humano e meio ambiente

como elementos dinâmicos no estudo para avaliação (PIMENTEL, 1992).

A origem das avaliações de impacto ambiental data da década de 1970, com o estabelecimento do *National Environmental Protection Act* nos Estados Unidos da América. Em palavras de Campos (2001), os primeiros métodos de AIA foram considerados documentos pouco aplicáveis a casos e situações reais. Isto porque a quantidade de fatores de influências diretas e indiretas e a complexidade das mesmas tornavam essas avaliações complexas e algumas vezes muito longas.

O amadurecimento do conceito de AIA foi descrito por Campos (2001), e o descreve como um processo em que o entendimento da AIA passou por um período de melhor compreensão das relações causa e efeito e das dinâmicas ambientais (anos 1970); estabelecimento da base conceitual para abordagem científica (anos 1980); consolidação da ferramenta como instrumento de estímulo para o desenvolvimento sustentável (anos 1990); e é reconhecido pelos tratados internacionais como um instrumento potencialmente eficaz na prevenção de danos ambientais e promoção de mecanismos de desenvolvimento sustentável (anos 2000).

Atualmente, a avaliação de impacto ambiental é universalmente utilizada e aceita; é considerada, ainda, como um instrumento de política ambiental. A sua aplicação foi adotada em diversas jurisdições (países, regiões, departamentos, municípios, etc.), bem como por organizações internacionais (Banco Mundial, FMI, ONU, etc.) e entidades privadas.

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (UNFCCC pelas siglas em inglês) em 1994 reconheceu-a como um método de avaliação das medidas adotadas em prol da mitigação ou adaptação das mudanças climáticas, dando assim um *status* importantíssimo nas discussões atuais sobre os ODS.

Campos (2001) explica que as avaliações de impactos ambientais permitem, portanto, às partes interessadas (dirigentes das organizações, comunidade, governo, etc.) uma visão ampla de todas as influências positivas e negativas que um empreendimento possa causar ao meio ambiente, ao meio social e à sua vizinhança.

Os principais instrumentos que atualmente viabilizam a execução das avaliações de impactos ambientais são os Estudos de Impactos Ambientais (EIA), os Relatórios de Impactos ao Meio Ambiente (RIMA) e os Relatórios Ambientais Preliminares (RAP).

2.2.3. Avaliação da importância dos impactos

A avaliação de impacto ambiental é um processo complexo que responde a uma organização lógica de atividades concatenadas a fim de facilitar a tomada de decisão a respeito dos aspectos ambientais. A AIA favorece também a identificação de pontos críticos e, dependendo da sua abrangência, orienta na decisão sobre medidas mitigadoras.

O processo de avaliação de impacto ambiental pode ser entendido como um conjunto de procedimentos concatenados de maneira lógica, com a finalidade de analisar a viabilidade ambiental de projetos e fundamentar uma decisão ao respeito (SÁNCHEZ, 2013).

Cabe mencionar que o campo de aplicação da AIA se expande para além das áreas de desenvolvimento de projetos de engenharia, tendo, assim, aplicação no desenvolvimento de planos, programas, avaliação de políticas, avaliação ambiental estratégica. Ainda, serve como sustento na avaliação dos impactos da produção, consumo e descarte de bens e serviços, e na avaliação da contribuição líquida de um projeto, plano, programa ou política para a sustentabilidade (SÁNCHEZ, 2013).

Em relação aos limites, numa abordagem de AIA, é necessário destacar que a AIA não é a solução definitiva para a degradação ambiental e externalidades negativas das diversas atividades antrópicas, já que, na sua essência, é um instrumento de política pública ambiental, facilitando a gestão ambiental.

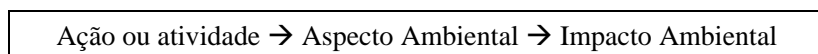
O objetivo da AIA não é o de forçar os tomadores de decisão a adotar alternativas de menor dano ambiental. Se fosse assim, poucos projetos seriam implementados. O impacto ambiental é apenas uma das questões (WHATERN, 1988 apud SÁNCHEZ, 2013).

Segundo a Associação Internacional de Avaliação de Impactos (1999), uma AIA deveria objetivar atender a quatro requisitos mínimos: I) Assegurar que as considerações ambientais sejam explicitamente tratadas e incorporadas ao processo decisório; II) Prever e evitar, minimizar ou compensar os efeitos adversos significativos biofísicos, sociais e outros relevantes das propostas de desenvolvimento; III) Proteger a produtividade e capacidade dos sistemas naturais, assim como os processos ecológicos que mantêm suas funções e, IV) Promover o desenvolvimento sustentável e otimizar o uso de recursos e as oportunidades de gestão de recursos.

Uma avaliação ambiental exitosa vai depender do atingimento de duas características específicas, da integração das ferramentas utilizadas e da coerência dos pressupostos com os resultados e a realidade evidenciada.

Segundo Sánchez (2013), uma abordagem ordenada e sistemática das relações de causa e efeito, intermediadas por alterações de processos ambientais ou sociais, auxilia na identificação de todos os impactos relevantes.

Quadro 3. Esquema fundamental para identificação de impactos ambientais.



Fonte: SÁNCHEZ, 2013.

Em um estudo de avaliação de impacto ambiental, é imprescindível a explicitação de quais são os impactos significativos e a metodologia utilizada para se chegar nessa conclusão. A identificação de impactos significativos, então, vai depender da valoração dos critérios de importância pertinentes e da lógica de agregação empregada.

Sánchez (2013) define o critério para avaliação de importância como uma regra ou conjunto de regras para avaliar a relevância de um impacto através dos seus diversos atributos. E os atributos podem ser entendidos como uma característica ou propriedade do impacto ou aspecto ambiental, que tem como finalidade descrevê-lo ou qualificá-lo.

Além da intensidade ou magnitude de mudança, diversos atributos podem ser utilizados para

descrever um impacto, como duração, reversibilidade, e probabilidade de ocorrência. Tais atributos podem ser combinados por meio de regras lógicas ou ponderados para caracterizar um impacto e resultar em uma determinação de importância (SÁNCHEZ, 2013).

O estado da arte em relação à escolha de critérios de importância é vasto e vem sendo aprimorado desde a década dos anos 1990. O objetivo último é minimizar os efeitos da subjetividade da avaliação através do estabelecimento de atributos e indicadores mensuráveis.

No Brasil, a resolução CONAMA 1/86 indica quais são os atributos mínimos a serem considerados no desenvolvimento de uma AIA. No entanto, a regulamentação não orienta em relação ao entendimento do atributo nem a sua significância.

- Impactos benéficos ou adversos
- Impactos diretos ou indiretos
- Impactos imediatos, a médio ou longo prazo
- Impactos temporários ou permanentes
- Propriedades cumulativas ou sinérgicas dos impactos
- Distribuição dos ônus e benefícios sociais decorrentes do empreendimento.

Dessa forma, Sánchez (2013) complementa, explicando que a avaliação da importância dos impactos é mais detalhada quando abrange sua distribuição espacial e social.

A forma como o critério de importância é avaliado responde a um processo de organização e sistematização; esse processo se reflete então nos diversos métodos de agregação. Entre os principais métodos descritos na literatura, têm-se os de: a) combinação de atributos; b) ponderação de atributos; e c) análise multicritério. Sánchez (2013) sugere que essas

metodologias deveriam ser adaptadas caso a caso a fim de dar uma resposta eficiente à avaliação.

O diagnóstico ambiental acurado e a descrição suficientemente detalhada do projeto, seguidos de identificação e previsão da magnitude dos impactos, são requisitos de uma adequada avaliação da importância dos impactos. Por sua vez, a avaliação informa a etapa posterior de definição de medidas mitigadoras. A finalidade da avaliação de impacto ambiental não é classificar os impactos por ordem de importância, tanto quanto não é a sua finalidade prever impactos (SÁNCHEZ,2013).

2.2.4. O processo de pirólise lenta no contexto da produção tradicional

A produção de carvão vegetal não tem sofrido muitas mudanças no seu processo produtivo, o qual é conhecido há séculos e, segundo Valente (1986), é uma atividade milenar que ainda guarda certo grau de primitivismo.

Especificamente no município de Biguaçu, na grande Florianópolis, a produção de carvão vegetal foi descrita por Souza (2010), onde se veem explicadas as etapas da produção de carvão na região, as quais podem ser divididas em: corte e transporte da madeira, abastecimento ou enchimento do forno, carbonização, esvaziamento do forno ou retirada do carvão, ensacamento e, por fim, transporte (SOUZA, 2010).

Segundo a descrição de Villazón (2013), a "produção de carvão vegetal na região estudada é uma atividade tradicional e possui uma sequência de estágios bastante complexa". O conhecimento prático do dia a dia permitiu que os agricultores aprimorassem a técnica sobre o processo de carvoejamento e sobre a floresta, atributo que os possibilita eleger o tipo de madeira que oferece maior poder de queima ou "caloria" (VILLAZON MONTALVAN, 2013).

A primeira etapa do processo de produção do carvão consiste na produção da matéria-prima, obtida a partir do manejo da floresta no sistema de roça de

toco. Os fornos de carvão geralmente ficam localizados em pontos de difícil acesso, [...] O enchimento completo do forno com lenha, de diferentes espécies e diâmetros, [...] a boca do forno, feita de tijolos e uma mistura de barro e água. Cumpridas essas etapas, o produtor atea fogo através de uma pequena abertura deixada na porta, dando início ao processo de carbonização. A carbonização completa da lenha leva em média três dias. Depois, são necessários mais quatro dias para o resfriamento do forno. Todo o processo é constantemente acompanhado pelo agricultor, que controla o processo de carbonização, observando a quantidade e a cor da fumaça em intervalos de duas ou três horas, para que o “ponto do carvão não seja perdido”. Após o resfriamento do forno, são despendidas mais seis a oito horas para o ensacamento e transporte do carvão até a sede da propriedade do agricultor... O período necessário para a realização de todas essas etapas varia de 10 a 12 dias (VILLAZON MONTALVAN, 2013).

A frequência de produção e quantidade produzida é flexível, considerando-se que os agricultores não são carvoeiros e sim agricultores, e que o seu objetivo final é utilizar o solo para a agricultura; assim, fatores como a necessidade econômica, condições climáticas e dinâmica da propriedade afetam a regularidade da produção.

Em relação à biomassa florestal utilizada com maior frequência para o processo de pirólise lenta nos fornos tradicionais, as três espécies utilizadas para a carbonização de maior ocorrência são Bracatinga (*Mimosa scabrella*), Licurana (*Hieronyma alchorneoides*) e Jacatirão (*Miconia cinnamomifolia*).

2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O valor global de impacto ambiental incorpora as características de alteração dos aspectos ambientais, em uma avaliação baseada em matriz, explicada na sequência.

Para a análise dos impactos ambientais, foi utilizada uma metodologia baseada no estabelecimento de uma matriz de avaliação do valor global de impacto ambiental, determinada por uma série de ações que, quando cruzadas com os respectivos aspectos ambientais e operacionais da atividade, determinam os impactos potenciais no ambiente físico, biótico e antrópico.

Foi utilizada uma matriz de três entradas para avaliar os impactos ambientais, a fim de apoiar a identificação e qualificação de aspectos ambientais e impactos ambientais, respectivamente.

A identificação dos aspectos ambientais e a avaliação dos impactos potenciais associados envolveu três etapas: (1) correlação de cada uma das atividades / processos com os respectivos aspectos ambientais; (2) identificação do maior número de possíveis impactos ambientais decorrentes dos aspectos ambientais e (3) classificação, avaliação da magnitude e relevância dos impactos, considerando os riscos ambientais resultantes da matriz de avaliação do impacto ambiental.

Inicialmente, o primeiro passo na análise dos impactos foi a identificação das atividades/processos¹ desenvolvidos durante o processo de carvoejamento, de floresta para consumidor, que poderiam afetar os recursos naturais e socioeconômicos. Essas atividades foram relacionadas a aspectos ambientais e socioeconômicos (Quadro 4) em relação à significância entre eles, a fim de definir a pertinência da avaliação.

Em seguida, foram identificados possíveis impactos que esses aspectos poderiam trazer em relação às atividades; esses impactos foram agrupados em sete dimensões do meio antrópico e biofísico (Quadro 5). As dimensões foram: solo, água, floresta, atmosfera para o meio biofísico, e saúde, social e econômica para o meio antrópico.

Na sequência, foram correlacionados os aspectos ambientais com seus impactos potenciais em questão de importância (muito importante, pouco importante ou não relacionado) em relação à consistência das avaliações.

¹ Sendo identificados como atividades/processos: corte e queima florestal, corte e transporte da lenha, carbonização, esvaziamento do forno e embalagem do carvão, comercialização do carvão.

Uma vez que os impactos ambientais foram identificados, eles foram caracterizados de acordo com indicadores de atributo, magnitude, probabilidade e natureza. Esta caracterização reflete a moda de dez avaliações feitas por especialistas, trabalhando ou pesquisando esta microrregião particular por pelo menos quatro anos.

Quadro 4. Aspectos ambientais.

Uso do solo	Degradação do solo
	Alteração da topografia
	Compactação
	Fragmentação da cobertura florestal
	Perda da vegetação
Consumo de recursos	Carbono
	Energia
Consumo de água	Água subterrânea
	Águas superficiais
Emissões hídricas	Fontes pontuais
	Fontes difusas
Emissões atmosféricas	Material particulado
	Odores
	Gases e fumaça
Emissões para o solo	Infiltrações para o solo
	Resíduos sólidos
Outras emissões	Ruído
	Vibrações
	Radiações
Aspectos socioeconômicos	Geração de empregos
	Atração de pessoas
	Capacitação profissional
	Demanda de bens e serviços
	Oportunidade de negócios
	Aumento local de preços
	Geração de impostos
	<i>Lifestyle</i>

Fonte: Adaptado de Sánchez e Hacking (2002).

Quadro 5. Impactos ambientais.

Meio Biofísico	Solo
	Perda de qualidade do solo
	Contaminação do solo
	Produção agrícola
	Água
	Redução do nível de água subterrânea
	Redução da disponibilidade da água superficial
	Deterioração da qualidade de água da superfície
	Deterioração da qualidade de água subterrânea
	Alteração dos ecossistemas aquáticos
	Floresta
	Dinamização do processo de sucessão vegetal
	Impacto visual (paisagem)
	Perda líquida de habitats
	Atmosfera
	Deterioração da qualidade do ar
Interferência no ciclo de Carbono	
Potencial de aquecimento global (GWP)	
Meio Antrópico	Saúde
	Proliferação de vetores
	Incômodo e desconforto
	Ferimentos e morte
	Impacto sobre a saúde humana
	Disseminação de doenças infecciosas
	Social
	Segurança energética
	Crescimento da população
	Equidade de gênero
	Perturbação da vida comunitária
	Mitigação do êxodo rural
	Qualidade de vida
	Econômico
	Aumento da atividade comercial
	Aumento da demanda de serviços públicos
Aumento da arrecadação tributária	
Aumento da demanda sobre a atividade de comércio e serviços	

Fonte: Elaboração própria.

O indicador de atributo é uma variável composta por cada um dos seguintes parâmetros: forma, duração, temporalidade, reversibilidade e abrangência. Foi adotado um procedimento de atribuição de valores 1 ou 3 de acordo com a relevância, a fim de estabelecer uma avaliação relativa do conjunto de parâmetros inerentes a cada um dos impactos considerados. O valor final do indicador de atributo foi calculado pela soma direta das características dos parâmetros ponderados (Quadro 6). Assim, essa atribuição assumiu valores inteiros de 5 (valor mais baixo) para 15 (valor mais alto).

Quadro 6. Ponderação dos parâmetros do indicador de atributo.

Parâmetro	Ponderação atribuída		
	1	2	3
Forma	Direta	-	Indireta
Duração	Permanente	-	Temporal
Temporalidade	Curto prazo	Médio prazo	Longo prazo
Reversibilidade	Reversível	-	Não reversível
Abrangência	Local	Regional	Global

Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente, essa atribuição de valores foi convertida em valores de sua magnitude, probabilidade e natureza. A magnitude é um reflexo da expressividade dos impactos nos vários aspectos ambientais associados à atividade em questão; a probabilidade foi definida de acordo com a possibilidade de ocorrência de um determinado impacto. Quanto à natureza do impacto, foi abordada em relação ao efeito do impacto, positivos / benéficos ou impactos negativos / adversos.

Quadro 7. Ponderação atribuída aos indicadores.

Indicador	Ponderação atribuída				
	-1	1	2	3	4
Magnitude	-	Irrelevante	Baixa	Média	Alta
Probabilidade	-	Baixa	Média	Alta	-
Natureza	Negativa	Positiva	-	-	-

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, depois de avaliar todos os impactos, o Valor Global de Impacto Ambiental foi obtido pela Equação 1.

$$VGI = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\textit{Magnitudo} \times \textit{Probabilidade} \times \textit{Natureza} \times \sum_{i=1}^5 \textit{Atributo}_i \right]_j$$

Equação 1. Valor Global do Impacto.

Onde:

"n" é o número total de impactos identificados

"j" representa o impacto avaliado

"i" representa o parâmetro de atributo ponderado.

O valor agregado do VGI varia de -180 a 180, em que os valores em torno de zero devem ser entendidos como neutros, os valores negativos mais próximos do extremo são considerados piores em termos de impacto negativo, e os valores positivos melhores ao serem próximos do extremo positivo.

2.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de pertinência e consistência da avaliação estão explícitos nos anexos no final do trabalho, dando coerência aos resultados detalhados a seguir.

A agregação dos resultados refuta o preconceito sobre o carvão vegetal como principal fonte de desmatamento, degradação florestal e emissões de GEE. A avaliação indica um valor de impacto (V.I.) no meio biofísico de 10,29 e um V.I. no meio antrópico de 9,73. O VGI indica um valor de impacto global de 10,57. As dimensões água e saúde foram consideradas como os impactos negativos mais relevantes, enquanto as dimensões econômica e florestal foram pontuadas para os impactos mais positivos.

Quadro 8. Valor Global de Impacto.

Meio	Valor Impacto
Biofísico	10,29
Antrópico	9,73
VGI	10,57

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados confirmam as colocações de Van-Vliet et al. (2012) e Adams et al. (2013) no que se refere aos benefícios ambientais, incluindo a conservação da biodiversidade, a heterogeneidade da paisagem e a segurança alimentar do sistema de roça de toco.

2.4.1. Impactos nas dimensões florestal e solos

As dimensões florestal e solos apresentaram um valor de impacto de 49,33 e de 9,33 respectivamente; demonstrando, assim, impactos positivos durante a produção de carvão no sistema de roça de toco. A dimensão da floresta foi altamente influenciada pela variável de dinamização do processo de sucessão vegetal (V.I. = 120) que contrabalanceou o valor negativo da variável da perda de habitats (-28). Assim também a avaliação apontou um impacto positivo em relação a variável de impacto visual na paisagem (V.I. = 56).

Quadro 9. Valor de impacto para a dimensão floresta.

Dinamização do processo de sucessão vegetal	120
Impacto visual (paisagem)	56
Perda líquida de habitats	-28
V.I. dimensão	49,33

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados sugerem que o desmatamento não é um problema nessa microrregião particular, e o mosaico de diferentes estágios de maturidade da floresta, que exibem níveis variáveis de perturbação, é desejável e bem apreciado como um indicador de saúde da floresta. Este resultado está de acordo com Chidumayo et al. (2013), ao explicar que "a escala espacial de análise é a chave para determinar se a produção de

carvão causa desmatamento ou não". Segundo Bauer (2012), as taxas de desmatamento na região são negativas se comparadas com a área da cobertura florestal há cinquenta anos; na verdade, na microrregião, os agricultores familiares estão mais preocupados com a substituição da floresta nativa pelo eucalipto devido a restrições legais.

Considerando-se também que o fogo propicia a quebra da dormência das sementes de algumas espécies florestais (*Mimosa scabrella Benth*, como exemplo) durante o processo de queima da floresta na primeira etapa do sistema de roça de toco, e, ainda, a inexistência do corte seletivo na área de roça, então, as depleções de algumas espécies não podem ser vistas como um aspecto negativo em relação à degradação da floresta, mesmo na ocorrência de desmatamento temporário. Por outro lado, pode-se estimular efeitos propícios na recomposição e na produtividade biológica das florestas. Esta situação exemplifica os argumentos de Ribot (1993) sobre desmatamento e degradação florestal.

Quadro 10. Valor de impacto para a dimensão solo.

Perda de qualidade do solo	20
Contaminação do solo	-10
Produção agrícola	18
V.I. dimensão	9,33

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à dimensão solo, os impactos no solo durante a produção de carvão sugerem preocupações com a variável contaminação do solo, que é um reflexo da formação de alcatrão na área que envolve os fornos. No entanto, algumas avaliações abordam o impacto direto da carbonização no local do forno e outras variáveis devem ser consideradas para concluir o risco de contaminação do solo. Aparentemente, os solos dos fornos de carbonização e as áreas próximas são ricos em nutrientes quando comparados com as áreas circundantes; possuem densidade aparente e taxa de escoamento menor, incremento do pH, menor capacidade de retenção de água, baixo risco de erosão do solo e níveis mais altos de porosidade, taxa de infiltração, temperatura da superfície e saturação e maior condutividade hidráulica (OGUNTUNDE et al., 2008; MCLAUGHLIN, 2008; CHIDUMAYO, 1994; CHIDUMAYO et al. 2013, GLASSER et al., 2002, AJAYI et al., 2009).

Os impactos do solo na área de produção carvoeira são mais propensos a ter comportamento semelhante a qualquer atividade de desmatamento de floresta de baixo impacto, e, conseqüentemente isso não representa necessariamente uma atividade de alto impacto. Por este motivo, o V.I. de qualidade dos solos e as variáveis de produtividade agrícola mostraram ser positivos, demonstrando a alta relação entre eles. Esta relação sugere que o manejo florestal tradicional em zonas de declives elevados tem potencial para manter a qualidade do solo para preservar culturas anuais como "mandioca" (*Manihot esculenta Crantz*) e banana (*Musa spp.*).

2.4.2. Impactos na dimensão da atmosfera

Ao abordar os impactos atmosféricos na produção de carvão vegetal, é inevitável correlacionar os resultados com os aspectos das alterações climáticas. No entanto, os impactos atmosféricos também devem considerar condições de qualidade do ar; então, as partículas e outras emissões de substâncias devem ser contempladas. A este respeito, Almeida (1999) indica que "a poluição atmosférica inclui uma série de atividades, fenômenos e substâncias que contribuem para a deterioração da qualidade natural da atmosfera".

O carvão vegetal é um produto do processo de pirólise lenta de biomassa lenhosa, o que significa que a decomposição termoquímica de material orgânico ocorre como consequência de taxas de aumento gradual de temperatura até 500°C aproximadamente, na ausência de oxigênio.

Como consequência da produção num meio pobre em oxigênio nos fornos, acontecem transformações irreversíveis na composição química, ao mesmo tempo em que ocorrem mudanças nas características físicas. Isso favorece a formação dos produtos de combustão incompleta que são liberados através dos fornos das chaminés.

O carvão vegetal é apenas uma fração dos possíveis produtos que podem ser obtidos. O processo também produz cinzas, alcatrão e gases não condensáveis. De acordo com Pennise (2003), em cada kg de carvão produzido, as emissões durante a carbonização são aproximadamente de 1.382 g de CO₂, 324 g de CO e 47,6 g de CH₄. Se considerarmos as emissões junto com o baixo rendimento da produção, é esperado que as emissões durante a carbonização sejam consideráveis, propiciando um alto potencial de aquecimento global. No entanto, abordar apenas este

aspecto da produção pode levar a conclusões precipitadas. Considerações sobre queima ou uso de carvão vegetal, escala de produção, melhorias em fornos para maximizar o rendimento e todo o ciclo do carbono podem contrabalançar essa situação.

Segundo Chidumayo et. al. (2013) "as florestas tropicais têm um alto potencial de regeneração natural e o investimento em uma boa gestão florestal pós-colheita deve garantir a produção sustentável de carvão vegetal, e melhorar a eficiência da carbonização do forno irá aumentar ainda mais essa sustentabilidade". Essa situação é observada nos resultados da avaliação. O V.I. para a dimensão atmosfera revelou um valor de impacto de 6, que pode ser considerado neutro. De fato, a avaliação reflete os impactos negativos sobre as variáveis "deterioração da qualidade do ar" e "potencial de aquecimento global (GWP)"; V.I. de -48 e -54 respectivamente, que são contrabalançados pela variável do ciclo do carbono (V.I. = 120).

Quadro 11. Valor de impacto para a dimensão atmosfera.

Deterioração da qualidade do ar	-48
Interferência no ciclo Carbono	120
Potencial de aquecimento global (GWP)	-54
V.I. dimensão	6,00

Fonte: Elaboração própria.

2.4.3. Impactos na dimensão da água

A dimensão da água abrange cinco variáveis, das quais nenhuma representou um impacto positivo. Todos os V.I. das variáveis oscilaram de -5 a -24. O V.I. da dimensão foi -10. As atividades realizadas durante os primeiros passos do sistema de roça de toco podem estar relacionadas ao aumento do escoamento das águas nas bacias hidrográficas, aumento dos volumes de descarga nos rios e modificação no ciclo da evapotranspiração e da absorção de água (D'ALMEIDA et al., 2007), afetando diretamente as variáveis consideradas nesta avaliação.

No entanto, a recuperação da floresta pode inverter as tendências negativas da captação de água no curto período (CHIDUMAYO et al., 2013). D'Almeida et al. (2007), pesquisando no bioma da Amazônia,

concluiu que as taxas de evapotranspiração são semelhantes durante o crescimento da floresta secundária quando comparadas à floresta primária.

Quadro 12. Valor de impacto para a dimensão água.

Redução do nível de água subterrânea	-5
Redução da disponibilidade da água superficial	-10
Deterioração da qualidade de água da superfície	-24
Deterioração da qualidade de água subterrânea	-6
Alteração dos ecossistemas aquáticos	-5
V.I. dimensão	-10,00

Fonte: Elaboração própria.

Em relação às características hidrológicas e ao balanço energético, parece existir uma correspondência entre floresta secundária e primária (SOMMER et al., 2002). Tendo em conta que os processos de desmatamento, perda de solo e deterioração da qualidade da água estão intimamente relacionados (CHIDUMAYO et al., 2013), os resultados das avaliações demonstram essa ligação, mesmo que o V.I. da dimensão terra e floresta tenha sido positivo.

O fato é que os aspectos da água são mais propensos a ser percebidos negativamente pelos agricultores e especialistas nesta microrregião devido ao contexto de produção em altos declives.

2.4.4. Impactos nas dimensões econômica, social e saúde

Os impactos no ambiente antrópico também indicam um valor positivo com tendência à neutralidade. O impacto do valor mais negativo da avaliação foi obtido para a dimensão da saúde, com um impacto negativo de 60,8. Esse valor foi equilibrado pelo valor de impacto positivo das dimensões social e econômica, com valores de impacto de 34 e 61,50, respectivamente.

De fato, na produção de carvão vegetal se outros aspectos, além da renda dos agricultores familiares, como único indicador de meio econômico, fossem levados em conta, então seria fácil reconhecer que outras variáveis contribuiriam para uma melhora na dimensão econômica

com base na compreensão da maneira pela qual as atividades na cadeia de valor são indiretamente impactadas.

Quadro 13. Valor de impacto para as dimensões econômica e social.

Aumento da atividade comercial	96
Aumento da demanda de serviços públicos	36
Aumento da arrecadação tributária	48
Aumento da demanda sobre a atividade de comércio e serviços	66
V.I. dimensão econômica	61,50
Segurança energética	6
Crescimento da população	20
Equidade de gênero	48
Perturbação da vida comunitária	-14
Mitigação do êxodo rural	54
Qualidade de vida	90
V.I. dimensão social	34,00

Fonte: Elaboração própria.

Aumento das atividades comerciais, demanda por serviços públicos, aumento da demanda em comércio e serviços e alto potencial de tributação são variáveis que englobam essa complexidade. Os agricultores familiares desta microrregião conseguiram acessar o mercado formal, agregando valor aos seus produtos, resultando em ganhos acima da renda individual de cada um deles (ULLER-GOMEZ et al., 2016). Isso explica, portanto, o V.I. positivo das dimensões social e econômica.

Considerando-se que a produção do carvão vegetal apresenta-se como uma atividade viável, para as variáveis mitigação do êxodo rural, segurança alimentar e equidade de gênero foram avaliados positivamente, e, são tópicos importantes revelados nesta avaliação e representam aspectos importantes ao abordar os ODS da ONU.

Por outro lado, a dimensão da saúde apresentou-se como a dimensão de impacto mais negativo, todas as variáveis abrangidas apresentaram V.I. negativo. Os resultados confirmam as colocações de Kato et al. (2005) e Tzanakis et al. (2001), em relação aos problemas respiratórios das pessoas que do carvão dependem.

A pesquisa médica mostrou que as pessoas que trabalham com fornos de carvão vegetal e estão expostas à fumaça, por exemplo, sofrem danos à função pulmonar e problemas respiratórios (KATO et al., 2005).

As emissões gasosas durante a carbonização, principalmente partículas e CO na atmosfera, podem sofrer reações químicas secundárias, resultando em novos poluentes. No entanto, durante a produção de carvão, há uma preocupação especial com as partículas inaláveis, uma das categorias de partículas, que são capazes de penetrar no sistema respiratório humano e podem ser depositadas em diferentes partes do sistema respiratório, causando desconforto e, assim, representando riscos para a saúde.

De acordo com Souza et al. (2010), o depósito de partículas no sistema respiratório pode progredir para algumas doenças respiratórias e cardiovasculares. A relação entre o aumento da concentração de partículas e evidências de doenças ou agravamentos na saúde é provada através de vários estudos (NASCIMENTO; FRANCISCO, 2013; WOODRUFF et al., 2004; CASTRO et al., 2003).

Woodruff et al. (2004) enfatizam que o material particulado pode causar atraso mental, déficit de atenção, hiperatividade e câncer. Castro et al. (2003) complementam, indicando que, nos idosos, esses efeitos podem ser potencializados devido ao desencadeamento de ataques de asma, diminuição da função pulmonar e infarto agudo do miocárdio. Além do mais, deve ser considerado que as pessoas que moram ao redor das zonas produtivas podem ser indiretamente afetadas.

Guerra (1995) salienta que uma resposta comum dos produtores de carvão nos locais dos fornos é a irritação dos olhos e das vias aéreas superiores. Cavalleri (2015) complementa a descrição de sintomas durante as atividades, como tosse, queixas de dor nas costas e vermelhidão nos olhos, indicando a propensão a desenvolver doenças relacionadas aos órgãos e partes do corpo afetadas pela atividade.

Além disso, os produtos de combustão incompleta (ácido pirolenhoso, gases de combustão, alcatrão, metanol, ácido acético, acetona, acetato de metilo, dióxido de carbono, monóxido de carbono e

metano) são capazes de causar lesões e intoxicações nas vias aéreas (CAVALLERI, 2015).

Cavalleri (2015), avaliando a exposição ao material particulado durante o processo de descarregamento dos fornos em Biguaçu, concluiu que 75% dos resultados obtidos excederam os valores máximos nacionais permitidos para atividades industriais. Os resultados demonstraram a necessidade de equipamentos de proteção individual durante a descarga e a embalagem do carvão, uma vez que a concentração de PM_{10} excedeu pelo menos três vezes o valor máximo permitido. Esta concentração pode ser considerada como uma atividade de risco iminente para a saúde humana.

A dimensão da saúde também apontou o risco para a proliferação de vetores (V.I. = -32) em razão do desmatamento da floresta, o risco de lesões e morte (V.I. = -66) em vista do uso de ferramentas pesadas e fogo durante os primeiros passos do sistema.

Quadro 14. Valor de impacto para a dimensão saúde.

Proliferação de vetores	-32
Incômodo e desconforto	-84
Ferimentos e morte	-66
Impacto sobre a saúde humana	-117
Disseminação de doenças infecciosas	-5
V.I. dimensão	-60,8

Fonte: Elaboração própria.

2.5. CONCLUSÕES

Com relação aos impactos da atividade, em uma análise mais ampla da produção tradicional de carvão em pequena escala, os impactos ambientais tendem a ser neutros. A dinamização das florestas e a equidade de gênero são contabilizadas como as variáveis impactantes mais positivas durante a produção tradicional. Os riscos para a saúde humana podem ser considerados como as atividades de impacto mais negativas; e, um aspecto crítico da avaliação diz respeito às emissões atmosféricas.

**ASPECTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE
BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA
FAMILIAR EM SANTA CATARINA**

CAPÍTULO 3

**EMISSÕES GASOSAS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA
DE BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA
AGRICULTURA FAMILIAR**

CAPÍTULO 3: EMISSÕES GASOSAS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA FAMILIAR

3.1. INTRODUÇÃO

No capítulo 3, é apresentado o desenvolvimento dos objetivos específicos referentes à avaliação do aspecto ambiental das emissões na atmosfera e produção de carvão, determinando o fator de emissão de Carbono total, através do balanço de massa, caracterizando os insumos e produtos do processo de pirólise lenta.

3.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.2.1. O carvão vegetal como insumo energético

Segundo a FAO (2003), o carvão vegetal pode ser definido como o produto resultante do esquentamento da madeira na ausência de ar em temperaturas que oscilam entre os 300 °C e os 700 °C (FAO, 1983). Dentre as características principais, é um material sólido, poroso e frágil, com um conteúdo de carbono fixo que oscila entre 70% e 90% e um poder calorífico que oscila entre 31.400 KJ/Kg e 33.700 KJ/Kg" (FAO, 1983).

Quadro 15. Participação das fontes de energia no Brasil.

Insumo	Porcentagem
Petróleo	41%
Eletricidade	17%
Gás natural	15%
Energia renovável	13%
Coque	10%
Outros	3%

Fonte: Balanço Energético Brasileiro (MME, 2012).

Considerando-se o carvão vegetal um componente energético de amplo uso, Sablowski (2008) afirma, relativamente ao uso de energias renováveis, que se pode constatar que o uso de carvão vegetal foi impulsionado em uma abrangência mundial após o Protocolo de Quioto (1997), indicando ainda que a participação de energias renováveis tende

a ocupar um lugar de destaque na matriz energética mundial (SABLÓWSKI, 2008).

Assim, no Brasil, a participação do carvão vegetal na matriz energética compõe o grupo de energias renováveis e atinge um valor aproximado de 13% (Quadro 15) na matriz energética nacional (MME, 2012).

A indústria siderúrgica é o principal consumidor do carvão produzido no país, e é utilizado como fonte termo redutora dos altos fornos (CGEE, 2014). O carvão mineral só começou a ser substituído em larga escala a partir de 1970, devido a certos fatores, como incentivos governamentais para reflorestamento sustentável e forte aumento de custos de importação do coque e do carvão mineral.

Por outro lado, existe uma demanda crescente do carvão vegetal para uso doméstico, especificamente para cocção de carne nas tradicionais grelhas e espetos na cultura do churrasco. Os dados estatísticos não são muito claros sobre as quantidades produzidas para esse fim e muito menos sobre a origem e forma de produção.

O carvão vegetal é usado também em outras funções, tais como combustível, pólvora preta, material absorvente e filtrante; e matéria-prima na produção de carvão ativado (BRITO, 1990).

Quadro 16. Mercado brasileiro do carvão vegetal (toneladas).

	Exportação	Importação	Produção	Consumo
2010	3.000	124.188	4.951.000	5.072.188
2011	927	110.460	5.479.000	5.588.533
2012	882	77.354	6.258.000	6.334.472
2013	1.211	38.833	6.590.000	6.627.622
2014	1.287	41.256	7.240.000	7.279.969
2015	4.151	12.613	6.187.000	6.195.462

Fonte: FAO, 2015.

Nos últimos anos, o consumo de carvão atingiu seu ponto máximo em 2014 (Quadro16), quanto foram produzidos e consumidos mais de 7,2

milhões de toneladas. Segundo Calais (2009), as “plantações florestais homogêneas não são capazes de suprir toda a demanda das empresas, havendo um déficit anual médio de quase 50% (no mínimo 100 mil ha) que é suprido com resíduos e manejo de florestas naturais”. Os dados do IBGE referentes à origem da lenha que sustenta a produção demonstram a tendência crescente da utilização de lenha de reflorestamento nos últimos cinco anos.

Quadro 17. Origem da lenha para produção de carvão vegetal no Brasil.

Ano	Carvão de nativas		Carvão de plantações		Total
	Tonelada	Porcentagem	Tonelada	Porcentagem	
2010	1.503	30%	3.448	70%	4.951
2011	1.352	25%	4.128	75%	5.480
2012	1.160	19%	5.098	81%	6.258
2013	1.007	15%	5.583	85%	6.590
2014	1.021	14%	6.219	86%	7.240
2015	797	13%	5.390	87%	6.187

Fonte: IBGE, 2017.

3.2.2. Florestas e sistema de uso da terra

Segundo a descrição de Schmitz (2014), “a floresta é um ecossistema complexo cuja estrutura e desenvolvimento envolve diversos fatores. Uma característica fundamental desses ecossistemas é a dinâmica sucessional, mecanismo que ela usa para manter seu equilíbrio, estrutura e composição ao longo do tempo”.

Em relação às condições do ecossistema florestal, Dajoz (2006) explica que a interação dos processos que ocorreram durante a maturação e existência da floresta se refletem no estado atual da comunidade florestal.

As florestas do estado de Santa Catarina fazem parte do bioma da Mata Atlântica (SCHAFFER, 2010), e estudos feitos pelo SOS Mata Atlântica/INPE (2011) mostram que existem apenas cerca de 102 mil km²

de remanescentes maiores de 100ha distribuídos em aproximadamente 18.400 polígonos (INPE, 2011).

O informe do INPE (2011) indica que existem ainda 23% de remanescentes florestais em Santa Catarina (INPE, 2011); e Siminski (2009) detalha ainda que grande parte é constituída por fragmentos de florestas secundárias e poucos núcleos de florestas primárias.

Essas florestas surgem por interferência antrópica, principalmente pelo abandono das práticas da agricultura, o que acaba constituindo uma paisagem fragmentada, representada por mosaicos de vegetação que se encontram em diferentes estágios sucessionais (SIMINSKI, 2009).

Ainda segundo Siminski (2009), "nas propriedades em que predomina a agricultura familiar no litoral catarinense, os remanescentes florestais secundários correspondem a 16% da área total do estabelecimento e quase toda essa área encontra-se em estágio avançado de regeneração". Schuch et al. (2008) e Klein (1980) acrescentam, indicando que as espécies com maior dominância nessas áreas são a *Miconia cinnamomifolia* (jacatirão-açu) e *Hyeronima alchorneoides* (licurana).

No município de Biguaçu, na comunidade de São Mateus, o carvão é produzido predominantemente a partir da floresta nativa manejada no sistema de roça de toco. Segundo a explicação de Araújo et al (2013), nesse sistema, uma área de floresta secundária, de aproximadamente um hectare, é derrubada e cultivada com culturas anuais por um período de no máximo quatro anos (ARAÚJO et al., 2013).

Fantini et al. (2010) complementam, explicando que os produtos desse sistema são destinados ao mercado ou ao consumo pela família e que, ao final do ciclo, a terra é deixada em pousio e a floresta volta a se regenerar por períodos de até vinte anos.

O sistema de agricultura itinerante, também chamado de roças de toco, coivara ou de corte e queima, é um sistema de uso do solo de grande complexidade que envolve aspectos culturais de quem dela depende (STEENBOCK et al., 2011).

De acordo com Siminski e Fantini (2007), "o sistema roça de toco é baseado na derrubada e queima da vegetação, seguindo-se um período de cultivo e, após o declínio da fertilidade do solo, um período de pousio para restauração da fertilidade".

Adams (2000), no seu trabalho sobre a agricultura itinerante com os caiçaras, assinala que no Brasil a roça de toco é uma herança indígena, a qual se caracteriza pela tradição e cultura das tribos originárias e que foram adotadas pelos atuais colonos durante o processo civilizatório.

No contexto da agricultura, o manejo tradicional das florestas, justamente pelos mosaicos na paisagem, favorece a regeneração florestal, atraindo dispersores de sementes, modificando o solo e criando condições favoráveis para a recolonização (KAMMESHEDT, 1998; CARRIERRE et al., 2002).

De Luca (2011) estudou a área de São Mateus em Biguaçu, e identificou, em áreas de bracingais, a existência de 28 espécies diferentes com quatro classes diferentes de pousio. Entre elas, *Mimosa scabrella* Benth, *Cecropia glaziovii* Snelthage, *Hyeronima alchorneoides* Fr. Allem., *Miconia cinnamomifolia* (DC) Naudin, *Miconia cabucu* Hoehme, *Cedrela* spp e outras.

O carvão vegetal produzido pelos agricultores é formado por esta ampla variedade de espécies, em diversas proporções. Carvalho (2013) indica que a *M. scabrella* (Bracatinga), *H. alchorneoides* (Licurana) e a *M. cinnamomifolia* (Jacatirão) são as três espécies consideradas madeiras duras mais citadas para a produção de carvão vegetal. E indica também que, para muitos agricultores, a *Mimosa scabrella* (Bracatinga) é a madeira que produz carvão vegetal de melhor qualidade (CARVALHO, 2013).

3.2.3. Conversão térmica da biomassa

O processo de conversão térmica é aquele pelo qual a biomassa é transformada quimicamente por efeito da temperatura, em um período de tempo, em uma substância rica em carbono. Segundo Bridgwater (1996), existem basicamente cinco métodos de conversão termoquímica da biomassa: torrefação, pirólise, liquefação, gaseificação e combustão (BRIDGWATER, 1996).

No que diz respeito às características das etapas de conversão térmica, José (2012) faz uma descrição de cada uma delas.

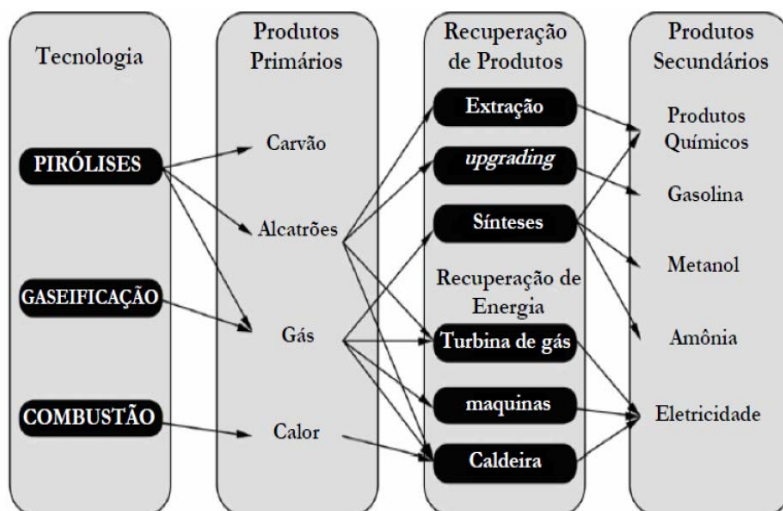
- Torrefação: é considerado um processo de pré-pirólise, durante o qual são liberados água e alguns componentes químicos menores, desde a partícula de biomassa durante seu aquecimento a taxas muito bem controladas. É considerado um processo termoquímico de melhoramento do insumo inicial, a faixa de temperatura é entre 220°C e 300°C.
- Pirólise: caracteriza-se pela degradação térmica do combustível sólido, com ausência ou quase nada de um agente oxidante.
- Liquefação: é um tipo de hidrogenação no qual a matéria orgânica é misturada com um solvente, em presença de um catalisador a alta pressão e temperaturas moderadas, obtendo um produto líquido com características energéticas.
- Gaseificação: ocorre quando a biomassa sólida é convertida em uma mistura gasosa por meio da oxidação parcial a elevada temperatura.
- Combustão: acontece através de um conjunto de reações de radicais livres mediante as quais o carbono e o hidrogênio do combustível reagem com o oxigênio, formando CO₂, água e liberando calor (JOSÉ, 2012).

Dando mais ênfase ao processo de pirólise, José (2012) explica que "pirólise é um processo que consiste na degradação térmica de materiais orgânicos em ausência total ou quase total de um agente de oxidação, como o oxigênio do ar".

Bridgwater (2004) assinala também que "a pirólise é definida como a degradação térmica da matéria orgânica, na ausência total de um agente oxidante (por exemplo, O₂) e apresenta como produtos a fração sólida (*char*), gases permanentes e vapores, que, em temperatura ambiente, condensam formando um líquido viscoso, chamado bio-óleo".

Em palavras de Langer (2015), "pirólise é um processo muito complexo, em que múltiplas reações químicas ocorrem em várias etapas. A teoria mais aceita supõe que a decomposição do sólido ocorra por meio de reações primárias, cujos produtos podem também degradar-se ao sofrer reações secundárias, em função das condições em que o processo está ocorrendo".

Figura 3. Processos de conversão térmica e os produtos gerados.



Fonte: CORTEZ et al., 2008.

Em seus primórdios, a pirólise tinha como principal objetivo a obtenção de carvão vegetal e é por isso que o processo era feito a baixas velocidades de aquecimento e a relativas baixas temperaturas finais. Estes conhecimentos foram adquiridos, sem dúvida, através do método de tentativa e erro. Hoje existem técnicas analíticas, como a análise termodiferencial, que demonstram esta afirmação, além de permitir conhecer o rumo que tomará o processo ao variar seus parâmetros operacionais (JOSÉ, 2012).

A primeira variante do processo industrial de pirólise foi a chamada “destilação seca”, e o objetivo é a obtenção de carvão vegetal como combustível doméstico e como agente redutor em processos siderúrgicos. Como subprodutos, aproveitavam-se o metanol (conhecido como álcool de madeira), o ácido acético (proveniente do ácido pirolenhoso) além dos aldeídos e cetonas. De fato, o conjunto dessas últimas substâncias passou a ser o produto principal do processo (JOSÉ, 2012).

Segundo Langer (2015), a principal vantagem da pirólise é a não geração de resíduos, pois o bio-óleo pode ser gerado em altas concentrações, juntamente com o char e os gases permanentes que podem ser aplicados em processos para obtenção de energia (LANGER, 2015).

Segundo Cortez et al. (2008), o processo da pirólise pode ser dividido em três etapas:

A primeira etapa ocorre entre a temperatura ambiente e 180 °C. Nesta etapa, a biomassa absorve calor, liberando a umidade em forma de vapor de água, apresentando um caráter fortemente endotérmico. Entre 110 e 180 °C, ocorrem reações de desidratação que envolvem os grupos-OH presentes nas moléculas dos polissacarídeos.

A segunda etapa ocorre entre 180 °C e 370 °C, quando começam as reações propriamente de pirólise. Entre 180 e 290 °C, ocorre a degradação da hemicelulose, sendo parcialmente degradadas a celulose e a lignina. Nesta faixa de temperaturas ocorre a formação do composto intermediário levoglucosana e são liberadas moderadas quantidades de CO, CO₂ e ácido acético na forma de voláteis. As reações se tornam exotérmicas a partir dos 250 °C. Aos 290 °C é alcançada a máxima taxa de degradação da hemicelulose, e entre 290 e 370 °C, ocorre a degradação total da celulose, atingindo a máxima taxa aos 370 °C. Nesta fase, ocorre a quebra das ligações glicosídicas dos polissacarídeos, dando lugar a uma grande emissão de voláteis, compostos por vapores orgânicos e altas concentrações de CO, H₂, CH₄ e CO₂, verificando-se grande formação de ácido acético, metanol e acetona. O alcatrão começa a se tornar predominante com o aumento da temperatura.

A terceira etapa se desenvolve acima de 370 °C, quando se completa a degradação da lignina, ocorrendo formação dos alcatrões pesados e a formação de alguns hidrocarbonetos. A degradação da lignina

é responsável pela formação de cerca de 50% do carbono fixo no material sólido (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

Langer (2015) indica ainda que a pirólise pode ser classificada como pirólise convencional (lenta) ou pirólise rápida, em função da taxa de aquecimento. E isto ocorre independentemente do tipo de biomassa utilizado.

Quadro 18. Parâmetros do processo de pirólise.

	Convencional	Rápida	Flash
Temperatura de operação (°C)	300-700	600-1000	800-1000
Taxa de aquecimento (°C/s)	0,1-1	10-200	>1000
Tempo de residência do sólido (s)	600-6000	0,5-5	<0,5
Tamanho da partícula (mm)	>50	<1	<0,5

Fonte: BRIDGWATER, 1996.

Na pirólise convencional, os longos tempos de residência resultam em reações secundárias a partir dos produtos das reações primárias, obtendo-se assim maior rendimento de char e produtos de maior estabilidade térmica (LANGER, 2015). Assim, o objetivo da pirólise lenta é o maior rendimento do material sólido, mas, ainda, têm-se os produtos líquido e gasoso que são formados em menor quantidade. A pirólise lenta, ou convencional e também conhecida como carbonização, tem como objetivo maximizar a produção de carvão vegetal em detrimento dos produtos líquidos e gasosos (JOSÉ, 2012).

O principal objetivo na pirólise rápida é a maximização da produção de líquido ou bio-óleo. A biomassa é aquecida tão rapidamente, que atinge o pico de temperatura antes de se decompor (LANGER, 2015). A pirólise rápida pode ser dividida em *flash* e *ultra*.

Segundo José (2012), cada um dos tipos de pirólise objetiva maximizar um só produto, como carvão, bio-óleo ou os gases

combustíveis. O autor caracteriza ainda o bio-óleo como o líquido pirolítico obtido pela pirólise rápida, o qual é uma mistura complexa de compostos orgânicos, e que, embora tenha natureza química diferente do petróleo, pode ser considerado petróleo de origem vegetal (JOSÉ, 2012).

Quadro 19. Tecnologia de pirólise

Processo	Tempo de residência	Taxa de reação	Temperatura (°C)	Produtos principais
Carbonização	Hr/dias	Muito pequena	400	Carvão vegetal
Convencional	5-30 min	Pequena	600	Carvão e bio-óleo
Rápida	0,5-5 s	Média	650	Bio-óleo
<i>Flash</i>	<1 s	Alta	650-1000	Bio-óleo e gás
Ultra-rápida	<0,5s	Muito alta	1000	Gases combustíveis

Fonte: BRIDGWATER, 1996.

3.2.4. O carvão vegetal como resultado da pirólise lenta da biomassa florestal

3.2.4.1. Fatores que influenciam na carbonização

É importante identificar as variáveis que repercutem no produto final do processo de carbonização ou pirólise lenta. Essas variáveis podem se reunir em dois grandes grupos, aquelas inerentes ao processo e aquelas inerentes à matéria-prima. Segundo Villazon Montalvan (2013), existem variáveis que comprometem diretamente as características técnicas finais do produto e o desenvolvimento do processo, algumas podem inclusive definir o risco de acidentes, a integridade física e do patrimônio do agricultor.

Segundo Coelho Junior et. al. (2006), a diferenciação da classe de carvão corresponde à origem da matéria-prima; assim, o carvão proveniente de uma floresta nativa será um produto final de qualidade variada. Já o carvão oriundo de floresta plantada será um carvão mais homogêneo, proporcionando melhor qualidade.

Segundo a descrição de Pinheiro (2009), as variáveis que repercutem em todo o processo de carbonização são as seguintes:

- Temperatura de carbonização: é inversamente proporcional à velocidade de carbonização e implica diretamente na qualidade do carvão.
- Velocidade de carbonização: como citado anteriormente, quanto maior a temperatura, menor o tempo de carbonização, e vice-versa; isso também implica em rendimento.
- Combustão no forno de carbonização: como já citado, é o método em que haverá a combustão, se interna ou externa.
- Tipo de biomassa: nessa variável, têm-se outros fatores que influenciaram no processo, como a composição da madeira, seu teor de umidade (que influenciará na primeira parte do processo de carbonização) e as dimensões da madeira, como seção transversal.
- Tipo do forno: em função do forno, têm-se perdas térmicas, entradas de ar, tiragem e pressão.

3.2.4.2. Qualidade do carvão vegetal

Qualidade é um termo muito abrangente, e a qualidade do carvão está relacionada às características técnicas segundo o uso final que dele se pretende. Assim, entende-se que a qualidade do carvão para o uso industrial não será a mesma que se espera do carvão a ser utilizado no uso doméstico, a de carvão ativado, etc.

Em termos gerais, um bom carvão é aquele que apresenta um teor de carbono fixo elevado e um baixo teor de voláteis e cinzas. Oliveira et al. (2010) explicam que melhores propriedades químicas do carvão, maiores teores de carbono fixo e menores teores em substâncias voláteis e cinzas estão associados à madeira com altos teores de lignina, para determinadas condições de carbonização. Cada faixa de temperatura gera um produto diferente, sendo que a temperatura final tem grande influência na qualidade do carvão vegetal (OLIVEIRA et al., 2010).

A qualidade do carvão vegetal é determinada por suas propriedades físicas e químicas: densidade, poder calorífico superior, resistência mecânica ou friabilidade, umidade e composição química

(carbono fixo, cinzas e materiais voláteis). O rendimento em carbono fixo apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e densidade da madeira e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. O teor de materiais voláteis é influenciado pela temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da madeira (CARMO, 1988), sendo a temperatura o principal parâmetro que regula os teores de materiais voláteis e carbono fixo do carvão (OLIVEIRA et al., 2010).

No que diz respeito à qualidade do carvão vegetal para o uso doméstico, Pennise (2003) indica que o carvão deve ter uma suficiente concentração de voláteis para uma queima constante e boa, e também possuir suficiente poder calorífico e teor de carbono para poder cumprir a sua função de cozimento.

Um alto teor de carbono torna difícil queimar o carvão. Uma produção veloz do carvão é uma consideração de economia de tempo, embora rapidez de produção não muitas vezes se reflita na preferência por eficiência e qualidade do carvão vegetal (PENNISE, 2003).

No Brasil, não existe um padrão nacional que defina a qualidade do carvão para fim doméstico. Em nível estadual, por outro lado, o estado de São Paulo é o único a ter estabelecido uma diretriz a esse respeito. Assim, a Resolução SAA - 10, de 11 de julho de 2003, do estado de São Paulo, define a norma de padrões mínimos de qualidade para carvão vegetal como base para certificação de produtos pelo sistema de qualidade de produtos agrícolas, pecuários e agroindustriais.

A Resolução indica, no artigo segundo, subíndice três, com relação às características químicas, que o carvão vegetal deveria apresentar os seguintes indicadores em base seca: carbono fixo acima de 75,0 %, cinzas abaixo de 1,5 % e umidade abaixo de 5,0 % (SÃO PAULO, 2003).

3.2.5. Balanço de massa e emissões gasosas durante o processo

O processo de transformação da biomassa florestal para combustível, seja como lenha, carvão vegetal, *pellet*, etc., precisa de utilização de grandes quantias de energia. Segundo Baird e Cann (2012), se essa energia é proveniente da combustão de combustíveis fósseis, o balanço líquido de CO₂ é, parcial ou totalmente, perdido.

Quando a floresta é abatida para fornecer novas terras de cultivo, as árvores e arbustos são muitas vezes queimados no local, gerando assim dióxido de carbono e a energia da biomassa não sendo aproveitada de uma forma produtiva. Além disso, o cultivo convencional, no solo provoca ação microbiana que oxida o carbono orgânico armazenado no solo, libertando assim mais CO₂ no ar (BAIRD; CANN, 2012).

Por outro lado, Pennise (2003) indica que a carbonização da biomassa florestal colhida de florestas secundárias ou de plantações florestais não causa um incremento líquido das concentrações de CO₂ na atmosfera, desde que ocorra um manejo sustentável (PENNISE, 2003).

Na realidade da agricultura familiar no município de Biguaçu, a liberação de novas terras de cultivo acompanha o aproveitamento da energia contida na biomassa florestal. A microbacia se caracteriza pelo sistema de uso de solo na forma de corte e queima e no uso dos recursos florestais, principalmente para a produção de carvão vegetal (FANTINI et al., 2010). Dessa forma, o balanço zero das emissões de CO₂ é favorecido.

Alcançar baixas emissões atmosféricas é outro aspecto importante da produção de carvão, tanto a partir de um ponto de vista da poluição do ar na área como do ponto de vista da emissão de gases de efeito estufa em um nível global. O tradicional carvoeiro de poucos recursos pode não considerar as preocupações de poluição do ar como uma questão séria, uma vez que a tentativa de gerar renda suficiente é um motivo comum para o exercício da profissão. No entanto, uma vez que a ineficiência da

produção de carvão leva não somente a um grande desperdício de recursos de madeira e eventual perda de rendimento, mas também para uma significativa poluição do ar (PENNISE, 2003).

Alguns aspectos a serem considerados ainda no balanço de carbono são: idade da floresta, condições de cultivo e tipos de espécies a serem cultivadas. Nesse sentido, Baird e Cann (2012) complementam, assinalando que, se uma floresta abatida é bastante jovem, no seu desenvolvimento (em vez de madura), armazenaria Carbono adicional durante o seu crescimento.

No que diz respeito às emissões gasosas da pirólise de biomassa, em termos gerais, um número considerável de diferentes substâncias químicas é emitido durante a queima sob a forma de gases e aerossóis (líquidos e sólidos em suspensão).

Estes poluentes incluem monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, (em grande parte de partículas na gama abaixo de 10 μm de diâmetro aerodinâmico) e outra matéria orgânica composta predominantemente por hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), tais como o benzenopireno e outros compostos orgânicos voláteis, tais como benzeno e formaldeído (SMITH, 1987); (De KONING et al., 1985).

Ainda, se a combustão for proveniente do carvão mineral, pode liberar também óxidos de enxofre e elementos tóxicos, incluindo arsênico e flúor (FINKELMAN et al., 1999). As implicações para o homem, da exposição a tais substâncias, estão detalhadas no Quadro 20.

No que diz respeito à produção de carvão, tem-se como principal aspecto a questão das emissões de poluentes na fumaça durante o processo. Esses poluentes são resultantes do processo de combustão incompleta, e a sua composição e quantidade variam em função de diversos fatores. Smith (1987) indica que a quantidade e as características dos poluentes produzidos durante a queima vão depender de vários fatores, como a composição do combustível (incluindo-se o teor de água), as condições de combustão (temperatura, fluxo de ar e umidade), o modo de queima, e até mesmo o formato do forno (SMITH, 1987).

Quadro 20. Características toxicológicas das substâncias contidas na fumaça de combustão incompleta de biomassa.

Poluente	Características toxicológicas
Particulados	Irritação bronquial, inflamação, reatividade incrementada, redução da depuração mucociliar, redução resposta de macrófagos.
CO	A oferta de oxigênio aos tecidos é reduzida em razão da formação da carboxihemoglobina.
NO ₂	Reatividade brônquica, aumento da susceptibilidade a infecções pulmonares bacterianas e virais.
SO ₂	Reatividade brônquica (outros <i>end-points</i> comuns ao material particulado).
Poluentes orgânicos	Carcinogenicidade, co-carcinogenicidade, muco coagulação, toxicidade dos cílios, incremento da sensibilidade alérgica, aumento da reatividade das vias aéreas.

Fonte: Adaptado do *Air Quality Guidelines, Global Update 2005* (WHO, 2006).

As substâncias emitidas durante o processo de pirólise lenta de biomassa florestal incluem monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), outros compostos orgânicos voláteis não-metânicos (NMVOC), e material particulado. Assim, também, estão presentes concentrações de óxidos de nitrogênio (NO, NO₂, e NO_x). O dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso são importantes gases de efeito estufa. O monóxido de carbono e os compostos orgânicos voláteis não-metânicos afetam indiretamente o aquecimento global através de reações fotoquímicas atmosféricas, as quais, por sua vez, afetam os níveis de gases de efeito estufa (PENNISE, 2003).

A emissão de produtos de combustão incompleta é muito importante, uma vez que CH₄, NMVOC e CO têm mais potenciais elevados de aquecimento global (GWP), ou capacidade de causar o aquecimento da atmosfera da Terra, por mol quilograma de carbono, do que o CO₂. Também são de muita importância as partículas, o CO, e os hidrocarbonetos que são

poluentes atmosféricos que prejudicam a saúde (PENNISE et al., 2001).

Segundo a descrição de Pennise (2003), o processo de carbonização, pirólise da biomassa, o uso do carvão vegetal, seja no âmbito doméstico ou industrial, detêm um papel importante no ciclo global do carbono.

Poucos estudos têm sido realizados para determinar as concentrações dos poluentes na fase gasosa do processo de carbonização. Considerando-se que as condições experimentais têm sido diferentes entre elas, são dificilmente comparáveis entre si.

Até o momento, no entanto, as emissões atmosféricas da produção de carvão são pouco caracterizadas em bancos de dados existentes de emissão de gases de efeito estufa, provavelmente porque os fornos para fazer carvão utilizados [...] não são facilmente monitorados, como eles são normalmente operados em áreas remotas ao longo de muitos dias ou mesmo semanas para uma única corrida (PENNISE, 2003).

O Quadro 21 apresenta um resumo dos estudos realizados referentes à determinação de concentração de poluentes na fase gasosa do processo de carbonização nos últimos anos.

Dada a emissão de grandes quantidades de produtos de combustão incompleta durante o processo de carbonização, Pennise (2003) indica que pode ser esperado que o uso de carvão vegetal possa ter um impacto maior sobre o aquecimento global do que a sua quota de demanda de combustível.

Quadro 21. Resumo das pesquisas realizadas na determinação de concentração de poluentes durante o processo de carbonização [g de poluente/kg de carvão produzido).

Pesquisa				Fatores de emissão						
	Tipo de forno	Localização	Rendimento gravimétrico	CO ₂	CO	CH ₄	NM/VO	N ₂ O	NOx	Material particulado
PENNISE, 2003	Rabo quente	Brasil	34,1	1382	324	47,6	80,9	0,04	0,02	
	Tijolo	Brasil	28,7	1533	373	56,8	45,9	0,05	0,01	
	Retangular	Brasil	36,4	543	162	36,5	23,9	0,01	5E-3	
	Terra	Quênia	22,6	1992	207	35,2	90,3	0,12	0,08	41,2
BROCARD, et al., 1996	Terra	África	27,6	1593	254	39		0,11	0,24	
SMITH, et al., 1999	Terra	Tailândia	29,9	3838	755	89,9	293			2200
UNFCCC, 2012	Terra			6512		38,2				

*GEE's database para o setor informal de carvão

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das pesquisas acima citadas.

3.2.6. Atmosfera, poluição e qualidade do ar

A atmosfera pode ser entendida como a fina capa de ar que circunda o planeta Terra desde sua superfície e onde não existe limite superior perfeitamente definido e a sua densidade diminui com a altura até confundir-se com a atmosfera solar (DONN, 1978).

A atmosfera terrestre nada mais é do que uma mistura de gases, inodora e incolor que forma uma capa delgada ao redor da Terra (LISBOA, 2007). A atmosfera apresenta em sua estrutura concentrações quase constantes das substâncias que a compõem, com exceção das concentrações de vapor de água.

A principal função dessa camada delgada de gases é servir como regulador térmico da superfície terrestre. Assim, abarba as temperaturas do dia com as da noite, e a sua massa representa aproximadamente um milionésimo da massa total da Terra (LISBOA, 2007).

O vapor de água resulta de um processo físico de evaporação, não sendo integrante da mistura de gases, utilizando a atmosfera como meio de transporte. Sua composição varia de 0 - 4%, no máximo (LISBOA, 2007).

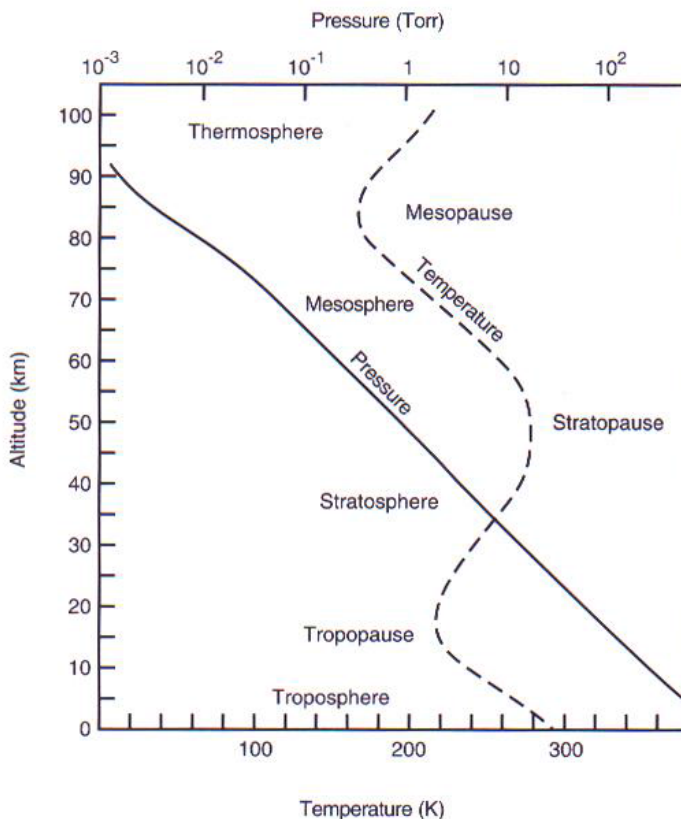
A atmosfera pode ser dividida em quatro camadas diferentes, definidas pela pressão e temperatura, de acordo com a altitude. Assim, tem-se a troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera (Figura 4).

A troposfera é a camada que vai desde a superfície da Terra até aproximadamente 12 km ou 15 km de altitude. Nela estão presentes a maior parte do vapor da água, as nuvens e nela se dão as chuvas, as quais favorecem a lavagem e eliminação dos poluentes da atmosfera (FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000).

Na troposfera existe uma relação inversamente proporcional entre a temperatura e a altitude (exceto nos casos de inversão térmica). Isto ocorre pelo efeito do esquentamento da superfície terrestre pela absorção da radiação solar. Devido a ascensão do ar quente, o processo da mescla vertical dos gases é altamente favorecido. Assim as substâncias emitidas nessa camada ascendem junto com o ar quente na camada superior imediata da atmosfera (estratosfera), através da tropopausa, em poucos

dias, dependendo das condições climáticas (FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000).

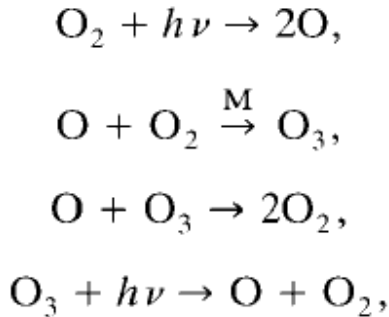
Figura 4. Divisão das camadas da atmosfera.



Fonte: FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000.

Na tropopausa, o perfil térmico muda da relação inversamente proporcional na troposfera para uma relação proporcional entre altura e temperatura na estratosfera. A causa para essa mudança é a atividade das reações fotoquímicas entre o ozônio e o oxigênio; propostas por Chapman nos anos de 1930 e conhecidas como o Ciclo de Chapman. Essas reações são responsáveis pela geração de calor latente e o subsequente esquentamento dos gases nessa camada.

Figura 5. Ciclo de Chapman.



Fonte: FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000.

O ozônio estratosférico é essencial para a manutenção da vida na Terra, ele absorve as ondas do tipo A ($\lambda < 290$ nm) dos raios do Sol (radiação actínica) que nela chegam (FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000). Assim, a energia remanescente pela dissociação do ozônio é devolvida ao sistema como calor. Nessa camada, raramente ocorrem mesclas verticais das substâncias nela contida; conseqüentemente, nela é possível observar camadas de partículas que persistem por longos períodos de tempo.

A mesosfera é a camada que se encontra a uma altitude aproximada entre 50 km e 80 km, essa camada se caracteriza em razão da relação inversamente proporcional entre temperatura e altitude pela diminuição do ozônio presente. Nessa camada, novamente se favorece a mescla vertical das substâncias.

Segundo a descrição de Finlayson-Pitts et al. (2000), numa altitude de aproximadamente 85 km., onde se encontra a camada denominada termosfera, a temperatura é novamente incrementa pela absorção maior da radiação actínica com comprimentos de onda $\lambda < 200$ nm pelo O_2 e o N_2 principalmente (FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000).

As zonas de transição entre as diferentes camadas são denominadas tropopausa, estratopausa e mesopausa, respectivamente. As suas altitudes dependem de aspectos como latitude, temporada e ano.

Sobre a composição da atmosfera, os estudos indicam que esta se desenvolveu junto com a superfície terrestre durante os diferentes períodos evolutivos da Terra até chegar na composição atual.

É sabido que a atmosfera da Terra tem uma composição diferente daquela observada há 3,5 bilhões de anos. Nessa época, quando as primeiras moléculas vivas se formaram, a atmosfera era provavelmente livre de oxigênio e consistia de uma variedade de gases como dióxido de carbono, vapor d'água, e talvez pequena quantidade de metano, amônia e hidrogênio (LISBOA, 2007).

O principal catalisador na mudança da composição da atmosfera foi o processo de fotossíntese das plantas, favorecido pela aparição de estruturas mais complexas na superfície, derivado das inúmeras mudanças pela radiação ultravioleta nos primórdios da evolução.

Assim, o processo de fotossíntese transforma o CO_2 em O_2 que é devolvido para a atmosfera. O processo é apresentado na seguinte equação.



Equação 2. Processo de fotossíntese.

A fotossíntese libera oxigênio gasoso; conseqüentemente, essas transformações bioquímicas em massa deram origem a quase todo o O_2 atmosférico (MANAHAN, 2001).

Além dos principais constituintes do ar (N_2 , O_2 , gases nobres, etc.), as principais espécies químicas presentes no ar não poluído são as seguintes: óxidos inorgânicos (CO , CO_2 , NO_2 , SO_2); oxidantes (O_3 , H_2O_2 , OH^- , O_2H^- , NO_3); redutores (CO , SO_2 , H_2S); componentes orgânicos (alcanos, sendo o metano o mais abundante entre as espécies orgânicas); alcenos, arilas, carbonilas, nitratos orgânicos, etc.); espécies fotoquimicamente ativas (NO_2 , formaldeído); ácidos (H_2SO_4); bases (NH_3); sais (NH_4HSO_4) e espécies reativas (como os radicais livres). Materiais particulados (sólidos e líquidos) também estão presentes e

funcionam geralmente como suporte (meio) para reação entre as espécies químicas (MANAHAN, 2001).

Quadro 22. Gases constituintes da atmosfera.

Componente gasoso	Percentual (% vol)
Nitrogênio	78,08
Oxigênio	20,95
Argônio	0,934
Dióxido de Carbono	0,036
Neônio	$1,818 \times 10^{-3}$
Hélio	$5,24 \times 10^{-4}$
Metano	$1,6 \times 10^{-4}$
Criptônio	$1,14 \times 10^{-4}$
Oxido nitroso	$3,0 \times 10^{-5}$
Monóxido de Carbono	$1,2 \times 10^{-5}$
Xenônio	$8,7 \times 10^{-6}$
Amônia	$10^{-7} \sim 10^{-8}$

Fonte: MANAHAN, 2000.

Por outro lado, em referência ao conceito de poluição atmosférica, ele abrange uma série de atividades, fenômenos e substâncias que contribuem para a deterioração da qualidade natural da atmosfera, e os poluentes atmosféricos são substâncias que geram esse efeito negativo ao ambiente (ALMEIDA, 1999).

A resolução CONAMA n.º 003, de Junho de 1990, explica o conceito da seguinte maneira:

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade

e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 1990).

Entretanto, não se deve confundir concentração de poluentes no ar com qualidade do ar, já que a qualidade do ar depende de vários aspectos, dentre eles a concentração de poluentes no ar.

(...) mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas que determinam uma maior ou menor diluição dos poluentes (CETESB, 2015).

Assim, o nível de qualidade do ar vai depender das características meteorológicas da troposfera e das concentrações emitidas pelas fontes poluidoras. Essa interação vai determinar o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores (CETESB, 2015).

De forma geral, o grupo de poluentes indicadores da qualidade do ar é constituído pelos seguintes compostos e elementos: monóxido de carbono, dióxido de enxofre, material particulado e ozônio, mais o dióxido de nitrogênio (Quadro 23).

A razão da escolha desses parâmetros como indicadores de qualidade do ar está ligada à sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam à saúde e ao meio ambiente (CETESB, 2015).

A quantidade desses poluentes presentes no ar dá ideia do nível de poluição atmosférica, sendo que existe uma infinidade de substâncias que podem ser encontradas.

Além dos compostos e elementos citados, existe também necessidade de verificar e quantificar as concentrações das emissões² do dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), metano (CH₄), os clorofluorcarbonetos (CFC), os hidrofluorcarbonetos (HFC), os

² Pelo compromisso assumido na ratificação no protocolo de Kyoto através da PNCM.

perfluorcarbonetos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6). Essas substâncias são conhecidas como gases de efeito estufa.

Embora esses compostos não afetem diretamente a qualidade do ar, eles são substâncias gasosas que absorvem parte da radiação infravermelha, emitida principalmente pela superfície terrestre, e dificultam seu escape para o espaço, aquecendo assim a temperatura média na troposfera.

Uma vez emitidos na atmosfera, os poluentes não permanecem inertes. Nesse caso, podem ocorrer tanto transformações físicas quanto químicas. As físicas envolvem fenômenos dinâmicos, como movimento e dispersão atmosféricos, difusão turbulenta e redução das concentrações dos poluentes por diluição. Já as transformações químicas podem compreender as mais diversas reações, como oxidações catalíticas, processos fotoquímicos, reações ácido-base, etc., todos envolvendo os mais diversos compostos químicos presentes no meio (ALTWICKER, 1999).

Quadro 23. Quadro geral dos principais poluentes atmosféricos.

Poluente	Características	Fontes principais	Efeitos
Partículas inaláveis finas (MP _{2,5})	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho < 2,5 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera), como sulfato e nitrato, entre outros	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas inaláveis (MP ₁₀) e fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira suspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.

<p>Partículas totais em suspensão (PTS)</p>	<p>Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 50 micra.</p>	<p>Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua suspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.</p>	<p>Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.</p>
<p>Dióxido de enxofre (SO₂)</p>	<p>Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado em SO₃, que na presença de vapor de água passa rapidamente a H₂SO₄. É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.</p>	<p>Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.</p>	<p>Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.</p>

Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (que contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido em forma fotoquímica pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, às plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: Adaptado de CETESB, 2015.

3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.3.1. Levantamento de campo e planejamento da coleta

O levantamento de dados em campo foi realizado com base nas etapas detalhadas a seguir: a primeira etapa consistiu na calibração dos instrumentos de medição de umidade da madeira e do carvão vegetal, a segunda etapa baseou-se na construção de um forno típico de carvão vegetal numa das propriedades agrícolas da região para a realização dos testes; na sequência, a terceira etapa consistiu no acompanhamento de três processos de pirólise lenta de biomassa de Bracatinga (*Mimosa scabrella*) e três processos de Licurana (*Hieronyma alchorneoides*).

A terceira etapa baseou-se na amostragem e na preparação do material lenhoso, carbonífero e das cinzas residuais do processo, a fim de caracterizá-lo em laboratório.

O material utilizado (Figura 6) consistiu em medidor de umidade de madeira de marca Marrari© modelo M65, medidor de umidade para granulados marca Marrari© modelo M75, balança, tubetes plásticos de amostragem, furadeira de impacto de 750W, brocas de madeira de 14 mm., trenas e pás pequenas para colheita do material.

Figura 6. Material utilizado.



Com o objetivo de calibrar o medidor de umidade, foram medidas as leituras de umidade pelo instrumento M65 em bits, em 5 toras de lenha de cada espécie, seguindo-se as indicações do fabricante. As toras encontravam-se estocadas em pilhas, recebendo ação do ambiente. Conforme informações dos próprios agricultores, as toras tinham idade inferior a 15 anos, já que foram coletadas em áreas de pouso.

Na sequência, foram coletadas amostras das toras, as quais foram devidamente identificadas, armazenadas em sacos plásticos fechados para evitar alterações e levadas até o Laboratório de Tecnologia da Madeira do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages, para determinação de umidade. Dessa forma, foi desenvolvida a curva de umidade para cada uma das espécies.

A calibração do medidor de umidade Marrari© modelo M75 foi feita no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, em Lages.

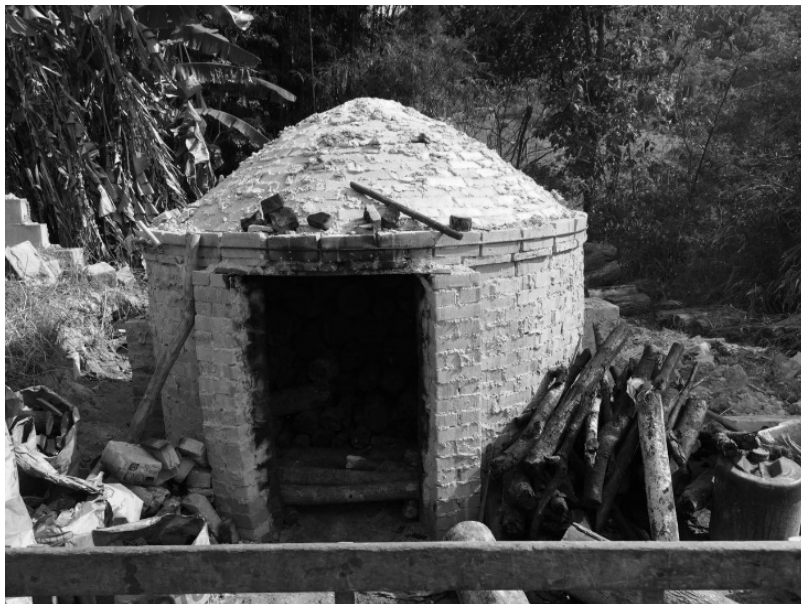
Para o acompanhamento do processo de pirólise lenta, foi construído um forno de carbonização, representativo daqueles instalados na região, o qual foi instalado na propriedade de um agricultor familiar tradicional na comunidade de São Matheus, no interior do município de Biguaçu.

O forno construído (Figura 7) tem uma capacidade de 2,62 m³ de lenha, com um volume interior de 4,86 m³. O diâmetro interno do forno é de 1,2 m. e tem uma parede de 0,1 m de espessura (Figura 7).

As condições de operação do forno, durante o carvoejamento, seguiram o mesmo padrão daquele utilizado pelos agricultores tradicionalmente.

Estando o sistema de amostragem pronto, foram realizadas três repetições de pirólise lenta por espécie, em que foram coletadas amostras de lenha, carvão e cinzas.

Figura 7. Forno piloto.



Fonte: Elaboração própria.

Para cada repetição de carbonização foi medido o teor de umidade de cada tora de madeira que ingressou no forno, bem como foram coletadas as medidas de comprimento e diâmetro das toras. O teor de umidade foi medido com o medidor Marrari© modelo M65.

Com o objetivo de determinar a massa total da lenha que ingressou no forno, e sendo inviável a medição individual de cada tora, foi desenvolvida uma curva de densidade, como função do teor de umidade, por espécie.

As curvas foram desenvolvidas com base na amostragem das toras ingressadas no forno. Foram escolhidas aleatoriamente dez toras por fornada para serem caracterizadas. Assim, nessas toras, foram medidos massa, teor de umidade, comprimento e diâmetro.

Das toras amostradas foram coletadas também as serragens, por meio de cisalhamento mecânico com uma broca metálica, nos tubinhos. Essas amostras ajudaram na determinação de composição elementar, análise imediata e poder calorífico superior, em laboratório.

Na finalização do processo de pirólise lenta, foram medidos o volume e a massa do carvão produzido, assim como as cinzas e o material não carbonizado. No carvão, foi medido ainda o teor de umidade e determinada a densidade aparente do mesmo. As cinzas remanescentes no forno foram consideradas com teor de umidade de 1% e foi determinada também a densidade aparente.

Tanto no carvão, como nas cinzas, foram colhidas dez subamostras nos tubinhos, para sua caracterização em laboratório quanto à composição elementar, à análise imediata e ao poder calorífico superior.

Quadro 24. Detalhe do processo de amostragem por repetição.

	Lenha	Carvão	Cinzas	Total
Bracatinga	10	10	10	30
Licurana	10	10	10	30
Total	20	20	20	60

Fonte: Elaboração própria.

3.3.2. Análises de laboratório

3.3.2.1. Identificação, caracterização e quantificação da biomassa florestal, carvão vegetal e cinzas

Nas amostras de lenha coletadas foram realizadas as análises a continuação detalhadas; teor de cinzas (700°C), porcentagem de carbono fixo e porcentagem de voláteis (900°C) em Termobalança Gravimétrica (TGA), conforme a norma ASTM 1762 (ASTM, 2007) e o poder calorífico superior (PCS) em calorímetro, conforme a norma DIN 51900 (DIN, 2000).

Após cada processo de carbonização, as amostras de carvão vegetal de cada espécie utilizada no processo foram avaliadas quanto ao teor de cinzas (700°C), composição elementar, segundo a norma ASTM E 870 – 82 (ASTM, 1982), porcentagem de carbono fixo e porcentagem

de voláteis (900°C) em Termobalança Gravimétrica (TGA), conforme a norma ASTM 1762 (ASTM, 2007) e o poder calorífico superior (PCS) em calorímetro, conforme a norma DIN 51900 (DIN, 2000).

As cinzas remanescentes do processo de carbonização foram avaliadas em composição elementar segundo a norma ASTM E 870 – 82 (ASTM, 1982) e em função do teor de carbono fixo em termobalança gravimétrica, conforme a norma ASTM 1762. (ASTM, 2007).

3.3.2.2. Análise elementar

A análise elementar de um resíduo sólido é um parâmetro importante para o balanço de massa e de energia nos processos de conversão termoquímica. Inclui a determinação dos teores de C, H, N, S e O.

A análise elementar está orientada pelas diretrizes descritas na norma ASTM E 870 – 82 (ASTM, 1982); e, mais especificamente para a determinação instrumental, é usada a norma ASTM D 5373-02 (ASTM, 2002).

Os equipamentos de análise elementar determinam as concentrações de Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Enxofre contidos em materiais orgânicos homogêneos. A massa nominal da amostra utilizada para a determinação da composição elementar é de (2-10) miligramas, sendo a análise destrutiva.

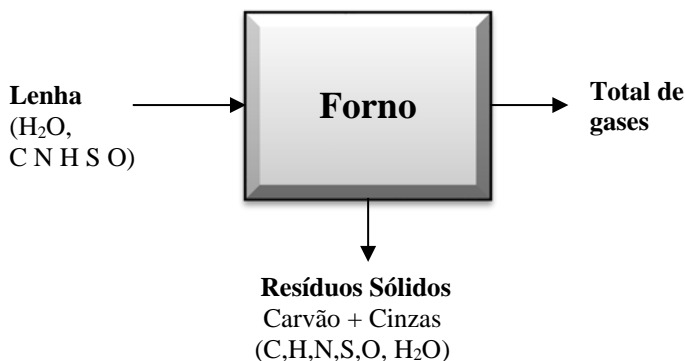
O resultado final é apresentado como porcentagem da massa ou em partes por milhão, conforme determinado pelo operador. Os resultados podem ser calculados numa base definida pelo usuário, incluindo base seca.

3.3.3. Balanço de massa e cálculos

Para o balanço de massa, primeiramente definiu-se o processo e seu fluxograma, conforme apresentado na Figura 13. Foram utilizados os resultados obtidos na análise elementar e na análise imediata da lenha, do carvão e das cinzas, para calcular a fração mássica do carbono dos gases na saída.

Assim, o fator de emissão de Carbono total foi calculado na base de Kg de carvão produzido no balanço de massa. O princípio do cálculo do balanço neste trabalho segue o princípio adotado no Relatório de Referência quanto às emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis: Abordagem Bottom-up do Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, quanto ao cálculo do fator de emissão de CO₂ pela carbonização de madeira (OSCIP E&E, 2010).

Figura 8. Inputs e outputs principais para o balanço de massa.



Fonte: Adaptado de ACM0021/version01.0.0 (CDM, 2012).

O balanço de carbono então foi realizado seguindo a premissa de:

$$\text{Lenha} = \text{CarvãoVegetal} + \text{cinzas} + \text{Gases}$$

A quantidade de Carbono emitida (ω) é a diferença entre o carbono contido na lenha no ingresso do processo e o carbono contido no carvão vegetal e nas cinzas, então:

$$\omega_{jk}^i = X_{jk}^i \text{lenha} \times \delta^{TU} \times v_{jk} - [(X_{jk}^i \text{cv} \times m_{jk}^{cv}) + (X_{jk}^i \text{cz} \times m_{jk}^{cz})]$$

Equação 3. Quantidade de Carbono emitida.

Onde:

ω = Quantidade de carbono emitida nos gases.

X_{jk}^i = Fração mássica de i no componente (lenha, carvão (cv), cinzas (cz)).

δ^{TU} = Densidade da madeira ao teor de umidade.

m = massa do componente (carvão (cv), cinzas (cz)).

v = volume da lenha.

i = elemento C.

j = Espécie (Bracatinga, Licurana).

k = repetição.

Em seguida, a fim de obter o fator de emissão de carbono (kg) por kg de carvão produzido, dividiu-se em ambos os lados da equação, pela massa de carvão (m_{cv}) dessa maneira e, rearranjando a equação, o fator de emissão é dado por:

$$\Pi_{jk}^i = \frac{X_{jk}^i \text{ lenha } \times \delta^{TU} \times v_{jk}}{m_j^{cv}} - \frac{X_{jk}^i \text{ cz } \times m_{jk}^{cz}}{m_j^{cv}} - X_{jk}^i \text{ cv}$$

Equação 4. Fator de emissão de Carbono.

Onde:

Π = Fator de emissão de carbono por kg de carvão.

X_{jk}^i = Fração mássica de i no componente (lenha, carvão (cv), cinzas (cz)).

δ^{TU} = Densidade da madeira ao teor de umidade.

m = massa do componente (carvão (cv), cinzas (cz)).

v = volume da lenha.

i = elemento C.

j = Espécie (Bracatinga, Licurana).

k = repetição.

O rendimento gravimétrico, o rendimento volumétrico e o fator de empilhamento de lenha dentro do forno também foram determinados como a relação em massa de carvão e madeira, a relação em volume de carvão e lenha e a relação volume de madeira enforada e volume total do forno, respectivamente.

3.3.4. Análise estatística dos dados

As variáveis estudadas foram analisadas estatisticamente por meio do programa Statistical Analysis Software, SAS/STAT. Foi aplicado um teste de amplitudes múltiplas de Duncan (*Duncan's multiple range test*) para identificar os pares de médias (de pelo menos três) que difiram estatisticamente.

O teste de Duncan compara a amplitude de um conjunto de médias amostrais com uma amplitude mínima significativa calculada. Se a amplitude das médias do conjunto exceder a amplitude mínima significativa calculada, as médias da população são declaradas significativamente diferentes.

Foi aplicado também o teste T-student para todas as variáveis analisadas a 95% de probabilidade.

Foi realizada uma tabela de correlação entre as variáveis com base no coeficiente de correlação de Pearson.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

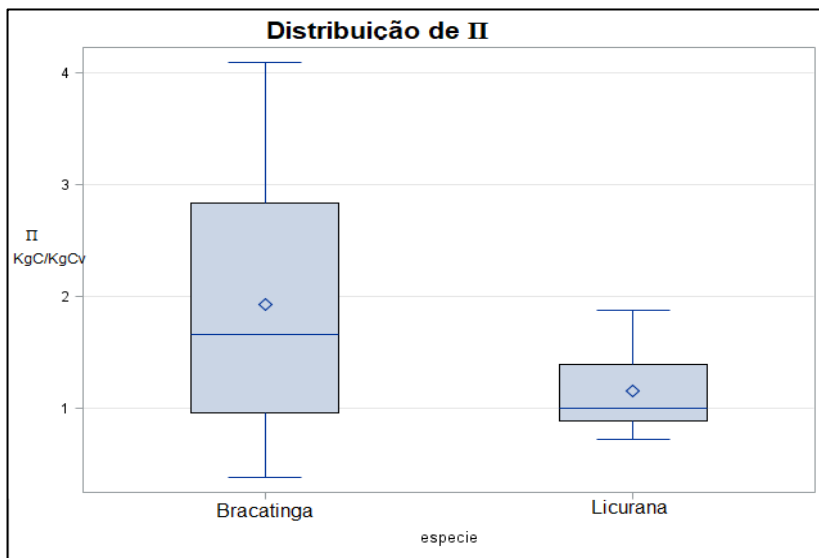
O cálculo do fator de emissão de Carbono total por kg de carvão produzido (II) indica uma diferença estatística quanto às médias por espécie, e o teste t demonstrou a equidade das variâncias.

O valor médio calculado de fator de emissão (Figura 10) foi de 1,52 kg de C por kg de carvão para um rendimento gravimétrico de 16%. Sendo o valor médio para Bracatinga de 1,92 KgC/KgCv e para Licurana de 1,16 KgC/KgCv (Figura 9).

Embora a amplitude dos cálculos da Bracatinga flutuem de 0,5 KgC/KgCv até 4 KgC/KgCv, os testes de significância para normalidade foram aceitáveis. Assim 95% dos cálculos encontram-se abaixo do valor médio calculado, tendo como limite inferior 1 KgC/KgCv (Figura 11).

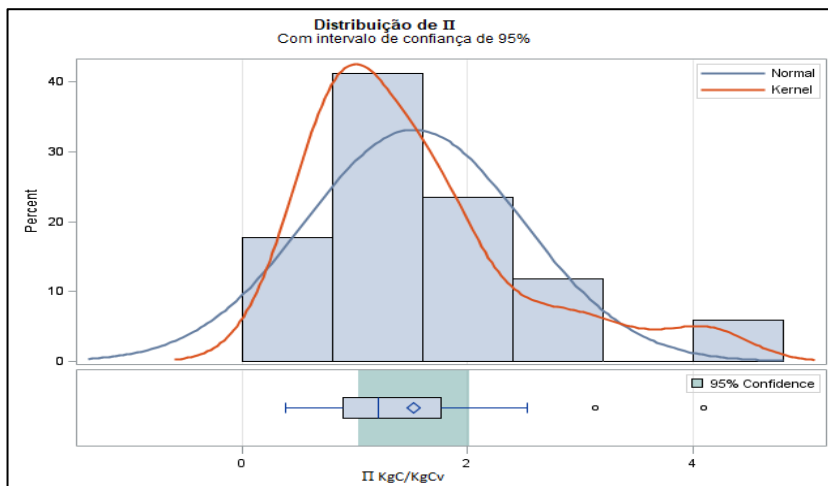
Da mesma maneira, os cálculos para Licurana apresentam-se mais centralizados com uma amplitude menor e com 95% dos dados ao redor da média calculada. Os limites do intervalo foram delimitados entre 0,84 e 1,48 KgC/KgCv e um desvio padrão de 0,41 (Figura 11).

Figura 9. Fator de emissão calculado por espécie.



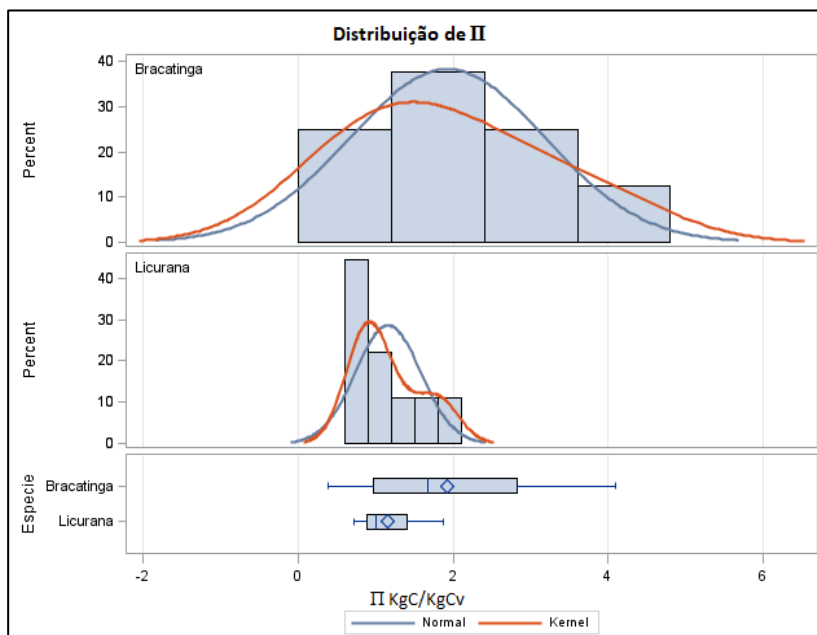
Fonte: Elaboração própria.

Figura 10. Distribuição do fator de emissão.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 11. Distribuição dos fatores de emissão por espécie.

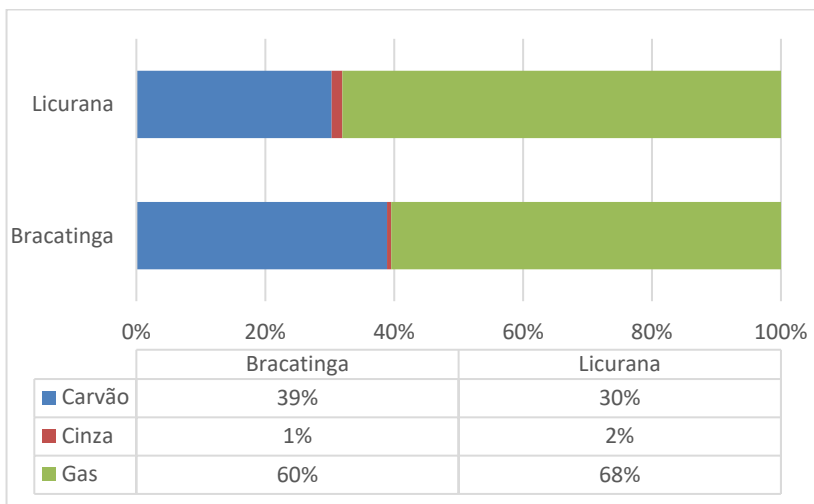


Fonte: Elaboração própria.

Com relação ao teor de Carbono nas diversas saídas do processo, os dados demonstram que, no mínimo, 60% do teor de C na lenha são emitidos ao ambiente em forma de gás na fumaça (Figura 12).

Da mesma forma, em média, 35% é retido no carvão e 1% nas cinzas no final do processo. Esta distribuição está altamente influenciada pelo rendimento gravimétrico, e, em melhores condições de combustão, espera-se reter uma maior quantidade de C no carvão.

Figura 12. Distribuição do C durante o processo.



Fonte: Elaboração própria.

Por outro lado, o monitoramento das emissões por fornada e por espécie (Figura 13) apresentou o valor mais elevado de Π na terceira fornada de Bracatinga e na primeira fornada da Licurana. As amplitudes de Π são maiores para a Bracatinga do que para a Licurana.

Quadro 25. Características técnicas da lenha, carvão e cinzas.

		Teor umidade	C	Teor de Carbono fixo	PCS
Unidade		%	%	%	Kcal/Kg
Lenha	Bracatinga	25,25	36,28	12,51	4567
	Licurana	26,44	32,54	18,75	4642
Carvão	Bracatinga	8,23	88,45	65,67	7048
	Licurana	7,82	60,87	68,32	7160
	Nativa	8,02	74,66	66,99	7104
Cinzas	Bracatinga	1	23,31	16,98	2400
	Licurana	1	55	31,74	3012

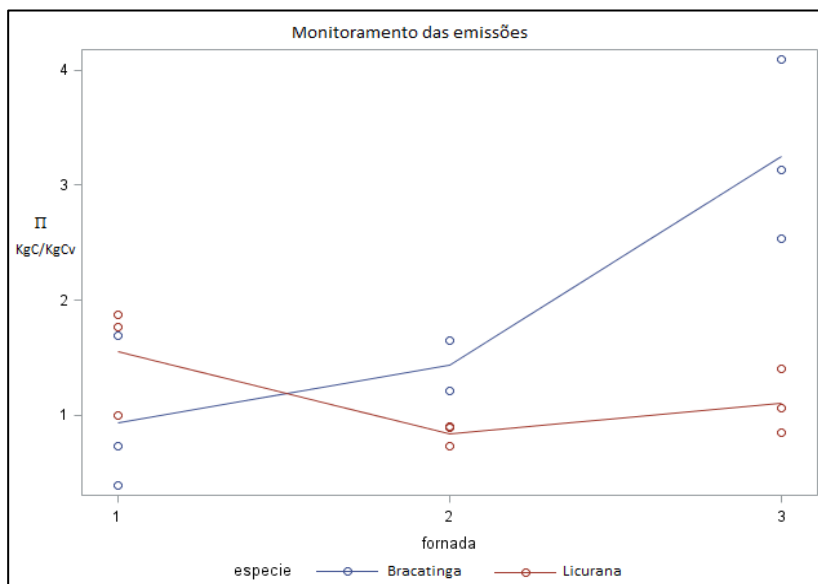
Fonte: Elaboração própria.

Em relação às características da lenha, carvão e cinzas obtidas durante o monitoramento, observou-se que o PCS do carvão vegetal de Licurana é maior do que da Bracatinga. O teor de umidade médio enfornado da lenha de Bracatinga foi de 25,25% e da Licurana de 26,44% em base seca.

Os coeficientes de correlação de Pearson (Anexo D) indicam que o Π está inversamente associado com o teor de umidade da madeira, diretamente correlacionado com o teor de Carbono fixo e teor de carbono da madeira, como também com o teor de Carbono no carvão.

A correlação do Π com o teor de umidade indica, então, que, quanto menor o teor umidade, menor o valor de Π ; assim é evidente a importância da utilização de madeira seca no processo de pirólise lenta, maximizando o rendimento gravimétrico e minimizando as concentrações de Carbono nas emissões.

Figura 13. Monitoramento das emissões por espécie.



Fonte: Elaboração própria.

A correlação do Π com o teor de carbono e o teor de carbono fixo confirma a relação direta de maiores emissões a maior teor de C na madeira. Assim, espécies com maior teor de C na sua composição elementar emitirão um maior Π do que aquelas com menor teor. O valor médio do teor de carbono foi de 36,28% para Bracatinga e de 32,54% para Licurana. Já para o TCF, a Bracatinga apresentou 12,5% e a Licurana 18,75%.

Pode-se afirmar também que o teor de voláteis na madeira não tem relação com as emissões de C durante o processo de pirólise lenta da biomassa florestal.

O valor de Π pode ser afetado também pelo teor de Carbono fixo presente no carvão vegetal. Afinal, o TCF no carvão é um indicativo das condições do processo de pirólise lenta, e um maior valor de TCF indica melhores condições de combustão. Dessa forma, as condições de combustão são essenciais na determinação do valor Π .

Por outro lado, não foi verificada correlação entre o teor de C elementar e TCF nas cinzas com o Π , reforçando assim o entendimento de que as condições de combustão e as características da lenha no início do processo irão influenciar no valor de Π .

Ao considerar os fatores de emissão existentes na literatura (Quadro 21), é possível verificar que os fatores encontrados neste trabalho são inferiores àqueles apresentados na literatura, muito embora não seja possível realizar uma comparação direta, visto que a literatura traz tipos de fornos distintos daqueles aqui estudados. Se for levado em consideração, ainda, o rendimento gravimétrico dos fornos (~16%) aqui estudados, é possível constatar que a contabilidade de emissões de gases de combustão pela pirólise lenta de biomassa florestal (carbonização ou carvoejamento) está sendo superestimada no contexto local.

Alguns aspectos a serem considerados ainda no balanço de Carbono são: idade da floresta, condições de cultivo e tipos de espécies a serem cultivadas. Nesse sentido, Baird e Cann (2012) complementam, assinalando que, no desenvolvimento de uma floresta abatida (em vez de madura), ela armazenaria Carbono adicional durante o seu crescimento.

Por outro lado, Pennise (2003) indica que a carbonização da biomassa florestal colhida de florestas secundárias ou de plantações

florestais não causa um incremento líquido das concentrações de CO₂ na atmosfera, desde que ocorra um manejo sustentável (PENNISE, 2003).

3.5. CONCLUSÕES

Em relação à emissão de gases durante o processo, esta pesquisa demonstrou que a contabilização dos mesmos estaria sendo superdimensionada, quando aplicados os valores padronizados de fatores de emissão para o processo. Ainda mais, existe uma leve diferença entre as emissões das diversas espécies utilizadas no processo, e isso vai depender do teor de Carbono na madeira, teor de Carbono fixo no carvão e a umidade da madeira no ingresso do processo. As condições do processo de pirólise vão influenciar em maior medida o teor das emissões, do que as espécies enforadas.

Foram identificadas também a importância e a necessidade de conscientização dos produtores para trabalharem com madeiras secas (com o menor teor de umidade possível) a fim de melhorar o rendimento gravimétrico e minimizar as emissões de carbono na fumaça.

Observou-se, também, que o carvão produzido na região estudada tem características técnicas compatíveis com aquelas esperadas para o uso residencial doméstico. Isso em relação ao PCS e ao teor de voláteis, em torno dos 30%.

**ASPECTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE
BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA
FAMILIAR EM SANTA CATARINA**

CAPÍTULO 4

**AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MITIGAÇÃO DE
EMISSÕES**

CAPÍTULO 4: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES

4.1. INTRODUÇÃO

Tecnologias de mitigação e a sua viabilidade econômica de implementação são avaliadas neste capítulo, propondo assim alternativas acessíveis para os agricultores.

4.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2.1. A mitigação de emissões gasosas

O termo mitigação, que é uma substantivação do verbo mitigar, na sua forma léxica, é um verbo prenominal ou transitivo que significa o ato de diminuir a intensidade de algo, fazer com que fique mais brando, calmo ou relaxado. Em termos ambientais, a mitigação pode ser entendida como uma ação antrópica a fim de minimizar e/ou remediar um determinado impacto ambiental negativo, seja esse no meio antrópico, como no meio biofísico.

Essa intervenção pode ser excetuada por meio de medidas de caráter preventivo, de maximização de eficiência ou de compensação. O termo mitigação, segundo o portal bioclimático, envolve todo tipo de intervenção humana voltada para a redução de emissões dos gases do efeito estufa (GEEs), de forma a atingir o objetivo central da Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (CQMC) e do Protocolo de Kyoto (BIOCLIMÁTICO, 2017).

Segundo o Portal Bioclimático, existem dois instrumentos básicos para a mitigação, os quais consistem na produção de informação científica de apoio, que tem como principal ator o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), e o desenvolvimento de iniciativas voltadas para a redução de GEEs, a cargo dos formuladores de políticas públicas, que é a etapa mais importante do processo por ser a instância que concretiza o esforço de mitigação (BIOCLIMÁTICO, 2017).

A Convenção sobre a mudança do clima (1992), no seu artigo 3, parágrafo 3, estipula o princípio referente à adoção de medidas de mitigação e a sua abrangência.

As Partes devem adotar medidas de precaução para prevenir, evitar ou minimizar as causas da mudança do clima e mitigar seus efeitos negativos. Quando surgirem ameaças de danos sérios ou irreversíveis, a falta de plena certeza científica não deve ser usada como razão para postergar essas medidas, levando em conta que as políticas e medidas adotadas para enfrentar a mudança do clima devem ser eficazes em função dos custos, de modo a assegurar benefícios mundiais ao menor custo possível. Para esse fim, essas políticas e medidas devem levar em conta os diferentes contextos socioeconômicos, ser abrangentes, cobrir todas as fontes, sumidouros e reservatórios significativos de gases de efeito estufa e adaptações, e abranger todos os setores econômicos. As Partes interessadas podem realizar esforços, em cooperação, para enfrentar a mudança do clima (CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS, 1992).

Dessa maneira, estudos de viabilidade de mitigação de impactos adversos das diversas atividades antrópicas representam uma necessidade nos diversos elos das cadeias produtivas no país.

Especificamente no contexto da produção tradicional de carvão vegetal por agricultores familiares, alguns sistemas e adaptações podem ser adotados para aprimorar aspectos ambientais, econômicos e melhorar a ergonomia durante o processo produtivo.

4.2.2. Tecnologias de mitigação

Tendo em vista que a carbonização é um processo de conversão térmica de biomassa, e que o processo se caracteriza por ser um processo de combustão incompleta, a concentração das diversas substâncias liberadas na atmosfera irá depender do nível de eficiência de conversão, quer dizer, do rendimento gravimétrico.

O contexto de produção, como já descrito, está baseado em fornos artesanais do tipo rabo quente, feitos de argila e tijolos, onde o agricultor familiar objetivou minimizar o valor do investimento inicial na sua construção. Ainda, o fato de que os produtores se consideram, a si

mesmos, como agricultores em vez de carvoeiros, representa uma condição importante no momento de se avaliar a implementação de tecnologias alternativas de produção.

Levando-se em conta as considerações de valores baixos de investimento inicial, como características de utilização dos fornos, foi possível encontrar na literatura duas tecnologias que poderiam ser adaptadas à realidade local; as fornalhas para combustão de gases e o sistema de recuperação de voláteis (SRV).

Segundo o relato de Oliveira (2014), as fornalhas de combustão acopladas aos fornos de alvenaria têm o objetivo de incinerar os gases gerados durante o processo de carbonização, transformando a poluição em energia na forma de calor. Essa etapa completa o processo de combustão dos gases, emitindo assim quase totalmente CO₂.

Por outro lado, o SRV é um sistema que permite a condensação da fração gasosa na produção de carvão vegetal, para a obtenção do chamado líquido pirolenhoso, utilizado como inseticida na agricultura, aprimorando assim o desempenho ambiental do processo, abrindo a possibilidade de um novo produto gerador de renda.

Rodrigues (2016), ao desenvolver o diagnóstico ambiental da produção de carvão no estado do Rio Grande do Sul (RS), compara as duas tecnologias perante cinco critérios a fim de verificar a possibilidade de implementação no contexto da agricultura familiar.

Quadro 26. Comparação das tecnologias de mitigação.

Critério	Fornalhas	S.R.V.
Investimento inicial	Alto	Baixo
Rendimento gravimétrico	28%-33%	30%
Redução das emissões	96%(CH ₄) 93%(CO)	50%
Obtenção de coprodutos	Não	Sim
Potencial de incremento de ingressos	Não	Sim

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2016).

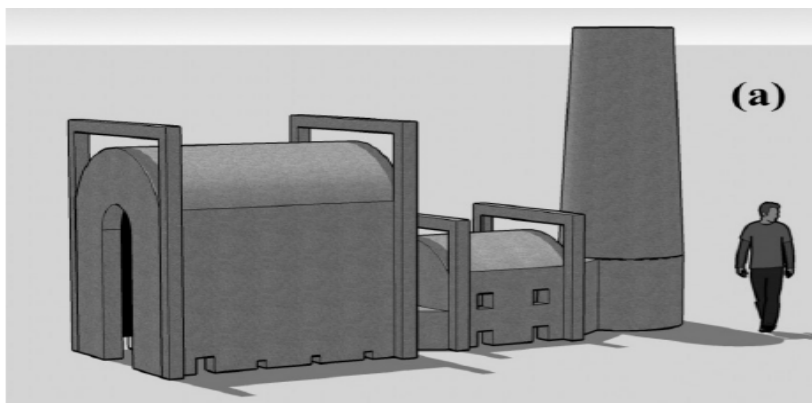
4.2.2.1. Fornalhas para combustão de gases de pirólise lenta de biomassa

Tendo em vista que o CH_4 tem 25 vezes mais potencial de aquecimento global do que o CO_2 , o acoplamento das fornalhas nos fornos minimizaria essas emissões, mitigando assim o seu potencial de aquecimento global. Em palavras de Cardoso et al. (2010), a redução das emissões de gases de efeito estufa na carbonização, por meio da combustão dos mesmos, além das vantagens para o meio ambiente, pode ser economicamente interessante a partir da possibilidade de gerar projetos de créditos de carbono.

Assim, o desenvolvimento de uma fornalha capaz de queimar os gases da carbonização em fornos de alvenaria, torna-se um passo importante para uma nova perspectiva para a produção de carvão vegetal, buscando mitigar os impactos negativos e otimizar a produção e a qualidade do carvão vegetal (CARDOSO et al., 2010).

Cardoso et al. (2010), em sua pesquisa, confeccionaram um sistema de fornalha acoplado na chaminé de um forno retangular em escala piloto para queima de gases da carbonização (Figura 14). O forno tinha capacidade para 10 metros estéreos de madeira, com paredes de 20 cm de largura e tijolos maciços.

Figura 14. Vista geral do forno com a chaminé acoplada.



Fonte: CARDOSO et al., 2010.

O sistema forno-fornalha foi projetado para a carbonização de 10 metros estéreos de madeira, tendo a possibilidade de carbonização da madeira tanto na vertical quanto na horizontal. O forno foi desenvolvido com quatro aberturas laterais, sendo uma em tamanho maior, para efetuar a ignição do forno e as demais, para o controle da carbonização. A fornalha também foi construída com quatro aberturas laterais para o controle da oxigenação dentro da câmara de combustão. Entre o forno e a fornalha foi colocada uma guilhotina, para controle dos gases para dentro da câmara de combustão (CARDOSO et al., 2010).

Ainda, a fornalha e a chaminé receberam, no interior de suas paredes, revestimento de manta cerâmica, a qual foi aderida com argamassa refratária. E foi feito também um piso de tijolo maciço, a fim de minimizarem-se as perdas de calor e intercâmbio de umidade com o solo.

Figura 15. Detalhe da fornalha de combustão.



Fonte: CARDOSO et al., 2010.

Como resultado da pesquisa de Cardoso et al. (2010), observou-se que as concentrações de metano foram reduzidas a valores próximos de zero e houve redução significativa nas concentrações de monóxido de carbono, evidenciando, com isso, que a maior parte desse gás fosse oxidada e liberada na forma de CO_2 .

Cardoso et al. (2010) explicam ainda que a fornalha funcionou adequadamente como queimador de gases da carbonização, tendo 33% do tempo total de carbonização com chama constante na câmara de combustão, reduzindo quase a totalidade dos gases emitidos.

A fim de manter o sistema em funcionamento e para que o gasto de combustível para manter a chama acesa seja desprezível, Cardoso et al. (2010) salientam a necessidade de se ter um sistema de quatro fornos, alimentando uma chaminé central, funcionando em um sistema sincronizado de rodízio.

Segundo a descrição de Oliveira (2014), pesquisas que estão em andamento, objetivando a viabilidade técnica da implantação das fornalhas, verificaram a viabilidade técnica e ambiental da sua utilização. Os testes têm demonstrado melhorias no rendimento gravimétrico, assim como nas características físicas e químicas, além de minimizar até 96% das emissões de gases de alto potencial de aquecimento global. (CARDOSO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013).

4.2.2.2. Sistema de recuperação de voláteis

Um aspecto importante na produção de carvão vegetal, tendo em vista a melhoria na eficiência do processo de carbonização, é a possibilidade de recuperação de subprodutos gerados durante o processo.

Subprodutos do processo de carvoejamento, como briquetes, alcatrão vegetal, ácido pirolenhoso podem se tornar fontes de renda, por apresentarem, muitas vezes, um valor até superior ao próprio carvão vegetal, além de melhorar o desempenho ambiental do processo pela minimização de emissões de voláteis na atmosfera.

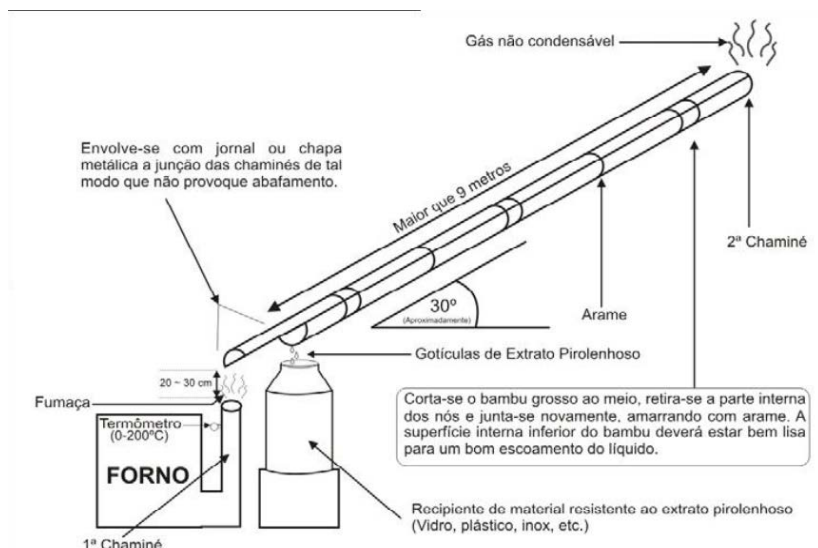
Os subprodutos são obtidos por meio da condensação dos gases durante a conversão da madeira em carvão vegetal, permitindo assim a obtenção do chamado líquido pirolenhoso, utilizado como inseticida na

agricultura e com potencial de uso como fertilizante na agricultura orgânica.

Assim, também através da lavagem e condensação dessa fração gasosa, obtém-se o alcatrão vegetal, que, destilado, dá origem a vários compostos, entre eles o piche, considerado um resíduo poluente, mas que atualmente vem sendo utilizado na fabricação de tintas, vernizes, resinas e outros produtos, anteriormente obtidos através de derivados do petróleo (PASSA et al., 2001).

O SRV consiste em uma adaptação na chaminé do forno de um sistema de condensação natural por tubos de entre 6 m e 8 m, inclinados em um ângulo entre 30° e 40° , e uma abertura para coleta dos condensados em recipiente adequado.

Figura 16. Esquema genérico de um SRV.



Fonte: Miyasaka et al., 2006 apud Rodrigues, 2016.

Segundo a descrição de Gonçalves et al. (2010), não há uso de nenhum método artificial para o resfriamento dos gases, apenas a própria circulação dos ventos existentes em torno do tubo. O SRV melhora também as condições de trabalho ao redor dos fornos.

Segundo a descrição de Campos (2007), um extrato pirolenhoso de boa qualidade resultará de um processo de coleta adequado, colocando assim os indicadores a serem considerados na implementação do SRV (inclinação do tubo, material, tempo de coleta e temperatura). A temperatura aplicada no processo de condensação pode inibir ou ativar compostos bioativos, sendo um importante fator para definir a qualidade do extrato pirolenhoso.

Figura 17. SRV acoplado a um forno tipo rabo quente.



Fonte: Gonçalves et al. (2010).

4.2.3. Os coprodutos da pirólise da biomassa florestal

O carvão é um dos muitos produtos resultantes da pirólise da biomassa florestal, o licor pirolenhoso, assim como o alcatrão, também pode ser obtido durante o processo de pirólise.

Caso sejam utilizados sistemas apropriados para a coleta, aproveitam-se os condensados pirolenhosos (fração pirolenhosa ou líquido pirolenhoso) e os gases não-condensáveis. A prática mais completa e eficiente é o aproveitamento do carvão vegetal, dos condensados e também dos gases não condensáveis

da madeira, pelo processo de “destilação seca”, podendo ser implantada a partir da utilização de retortas, ao invés dos fornos convencionais (CAMPOS, 2007).

Quadro 27. Potencial de uso dos produtos da pirólise da biomassa florestal.

Produto		Usos
Carvão		Metalurgia e siderurgia, carvão ativo, combustível, indústria carboquímica, agente filtrante.
Licor pirolenhoso	Metanol	Solvente de vernizes e tintas, síntese de formaldeído.
	Ácido acético	Fabricação de acetatos, síntese orgânica de corantes, produtos farmacêuticos.
	Acetona	Solvente, resinas, vernizes e plásticos.
Alcatrão		Combustível, dissolventes, desinfetantes, produtos farmacêuticos, preservação de madeiras, aromatizante.
Gases não condensáveis		Combustível, geração de eletricidade.

Fonte: BRITO; BARRICHELO, 1981.

Andrade et al. (1999) salientam que, durante a conversão da madeira em carvão vegetal, ocorre, além da concentração de carbono, uma série de fenômenos físicos e químicos, que resultam num resíduo sólido carbonoso (carvão) e numa fração gasosa. Uma parte dessa fração gasosa pode ser condensada, permitindo a obtenção do chamado líquido pirolenhoso, e a outra parte resulta em gases não-condensáveis, em parte inflamáveis, a exemplo do CO, H₂, CH₄, C₂H₆, dentre outros (ANDRADE et al., 1999).

A fase líquida que poderá ser utilizada na agricultura é o líquido pirolenhoso, denominado extrato pirolenhoso, ácido pirolenhoso, vinagre de madeira, licor pirolenhoso, fumaça líquida e bio-óleo. A carbonização da madeira é a principal fonte. Nos meios científicos, é conhecido por ácido pirolenhoso (CAMPOS, 2007).

Segundo a FAO (1987), o extrato pirolenhoso bruto é descrito como um condensado cru que é constituído em sua maior parte por água e se caracteriza por ser um líquido corrosivo, nocivo, altamente poluente e que deve ser manipulado corretamente e com muito cuidado.

O extrato pirolenhoso deve ser produzido rigorosamente dentro das recomendações para a obtenção de um produto de boa qualidade, o mais livre de alcatrão possível. O alcatrão, que é altamente poluente, contém componentes cancerígenos, como benzopirenos e outros. As técnicas de separação destes produtos são eficientes e, quando seguidas corretamente, permitem obter um produto de qualidade muito boa e livre de riscos. A presença de alcatrão no extrato pirolenhoso o torna muito tóxico e inviável para a utilização na agricultura; as impurezas devem ser eliminadas. Para o início da coleta deve-se observar a temperatura, 5 cm abaixo do topo no interior da primeira chaminé, que deve estar entre 80 a 85° C. A coleta deve ser interrompida quando a temperatura na saída da primeira chaminé atingir 120 a 150° C, e a cor da fumaça ainda estiver amarela esbranquiçada. Outra opção é manter a temperatura, resfriando o forno, caso a prioridade seja o líquido pirolenhoso. Estas medidas são importantes para reduzir a presença de alcatrão, consequentemente a toxidez do líquido pirolenhoso. O extrato pirolenhoso de boa qualidade, após o processo de decantação e filtração deve ter coloração avermelhada a amarelada e ser transparente (CAMPOS, 2007).

Sablowski (2008) explica que o líquido pirolenhoso, que pode ser obtido durante a conversão lenha carvão vegetal, é constituído por água e por compostos químicos, como os ácidos acético e fórmico, o éter, os álcoois metílico e etílico, a acetona, o alcatrão, dentre outros. Ressalta ainda que o líquido pirolenhoso, quando diluído em água e/ou urina bovina, encontra uma vasta aplicação no campo das culturas orgânica e convencional (SABLOWSKI, 2008).

Tiilikkala et al. (2010) indicam que os componentes orgânicos majoritários do licor pirolenhoso são o metanol e o ácido acético. Também estão presentes outros componentes, tais como: acetona, metil-acetona, acetaldeído, alilálcool, furanos, ácidos fórmicos, ácidos propiônicos e ácidos butíricos. Os alcatrões líquidos podem ser fracionados em constituintes leves e pesados. O primeiro é constituído por aldeídos, cetonas, ácidos e ésteres. Já a fração pesada está constituída por vários fenóis, incluindo uma alta proporção de cresóis e piche.

O uso do licor pirolenhoso na agricultura tem um amplo potencial. No Brasil, sua utilização na agricultura é recente, vem sendo divulgada e incentivada há algumas décadas e vem atraindo a atenção de pesquisadores e técnicos de várias áreas, principalmente alimentícia e agrônômica, como alternativa de um produto mais natural (CAMPOS, 2007).

Por outro lado, Tiilikkala et al. (2010) indicam que a literatura sobre a eficácia do vinagre de madeira utilizado como um pesticida é muito carente de publicações científicas. No entanto, o extrato pirolenhoso tem sido amplamente utilizado como pesticida, e o seu uso baseia-se em conhecimentos tradicionais de antigos produtores locais, localizados principalmente na África e Ásia.

Considerando-se que o mercado para tais subprodutos é ainda pouco explorado, justamente pela falta de conhecimentos técnicos, a possibilidade de se utilizar os subprodutos do processo de carbonização apresenta um grande potencial se considerada a aplicabilidade na agricultura orgânica.

Quadro 28. Propriedades físicas típicas do extrato pirolenhoso.

Propriedade física	Valor
Conteúdo de umidade	25%
pH	2,5
Gravidade específica	1,2
Análise elementar	
C	56%
H	6%
O	38%
N	0-0,1%
PCS	17-18 MJ/kg
Viscosidade (40°C e 25% de água)	40-100MPa.s

Fonte: TIILIKKALA et al., 2010.

4.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o presente estudo foi escolhida a implementação do SRV, com base nas informações contidas no Quadro 26, e outra razão reside no fato de que os custos da implementação poderiam ser cobertos pela venda do ácido pirolenhoso (AP) no médio prazo.

Dessa maneira, a determinação da viabilidade econômica do SRV foi estabelecida em três etapas: I) a construção de um forno piloto com o SRV acoplado, a fim de determinar o potencial de produção do licor pirolenhoso bruto e os custos reais de implantação; II) levantamento dos dados referentes à produção de carvão para o ano de 2016, a fim de determinar o potencial de produção de AP; e, finalmente, III) a determinação da viabilidade de implantação do sistema foi realizada usando-se indicadores econômicos e financeiros, o valor presente líquido (VPL), o valor anual equivalente (VAE), a razão benefício custo (B/C) e a taxa interna de retorno (TIR) para o investimento.

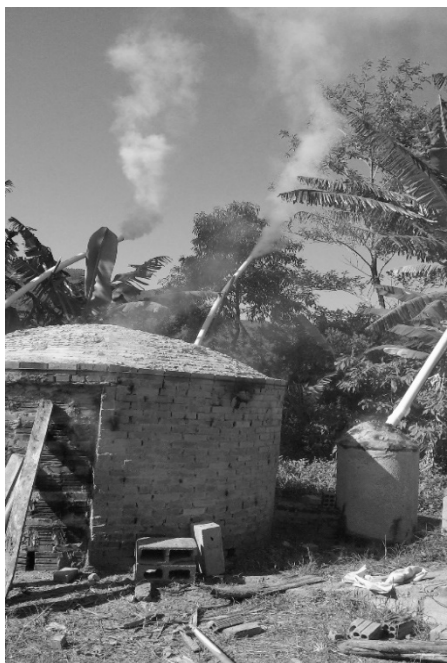
Assim, no final de 2014, um forno com o SRV acoplado foi construído para determinar o rendimento de AP por kg de carvão produzido. Foi utilizado um forno de 12 m³. Em ambos os casos, madeira e carvão também foram medidos no início e no final do processo. O

rendimento do AP foi elaborado depois de três repetições e corrigido com base no Relatório Técnico nº 264 da EMBRAPA (2011).

O SRV proposto foi erguido com materiais que não diferiram dos empregados na construção tradicional dos fornos. Foram utilizados tijolos maciços, argila, água, três seções tubulares de concreto de 50 cm de diâmetro e três tubos de cloreto de polivinila de 6 metros cada.

O SRV foi adaptado às três chaminés do forno, e sua operação se baseou no diferencial de pressão entre o ambiente e as condições internas do forno para permitir que os gases passassem pelo sistema todo. A recuperação do AP é baseada no condensado de gases por diferencial de temperatura, que se dá através dos tubos de PVC. As seções de concreto servem como câmara de pre arrefecimento de gases e a recuperação de AP ocorre quando a temperatura interna do forno está entre 90°C e 130°C.

Figura 18. SRV implementado no local de estudo.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 19. Detalhe da coleta do licor pirolenhoso.



Fonte: Elaboração própria.

Na sequência, foram visitadas 12 famílias produtoras de carvão na região e inventariados 17 fornos. Além dos números de fornos, foram levantados dados da produção referente ao ano de 2016, capacidade dos fornos, números de fornadas feitas no ano, número de sacas de carvão utilizadas, tipo de lenha utilizada e se o carvão representava principal fonte de renda.

Os dados do rendimento dos fornos foram cruzados com o fator de rendimento gravimétrico proposto por Villazon Montalvan (2013), de 50% em volume, e as quantidades de sacas utilizadas para a comercialização do carvão.

Finalmente, a determinação do impacto nos lucros através da obtenção de AP foi calculada com base nos rendimentos médios da produção e nos preços médios no mercado local de carvão e AP. O estudo de viabilidade do sistema foi realizado, utilizando o VPL, VAE, B/C e TIR com base no valor total do investimento e nos custos típicos da propriedade.

O VPL é um indicador que representa a diferença positiva entre receitas e custos, atualizados para uma determinada taxa de desconto, e a viabilidade de um projeto será positiva desde que seu valor seja maior do que zero.

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

Equação 5. Valor Presente Líquido.

Onde:

R_j = Receita no final do ano j .

C_j =Custo no final do ano j .

i = taxa de desconto.

n = duração do projeto, em anos.

O VAE é um critério econômico que transforma o valor presente líquido em um fluxo anual e constante de receitas/custos, de duração igual ao horizonte do projeto. A viabilidade do projeto estará definida quando o VAE for maior do que zero, indicando que os benefícios periódicos são maiores do que os custos periódicos.

$$VAE = \frac{VPL * i}{[1 - (1 + i)^{-n}]}$$

Equação 6. Valor Anual Equivalente.

Onde:

VPL= Valor Presente Líquido.

i= taxa de desconto.

n= duração do projeto, em anos.

A TIR é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento. A alternativa de investimento com a TIR mais elevada é normalmente a preferida; também, deve-se levar em consideração que colocar o investimento em um banco é sempre uma alternativa. Assim, se nenhuma das alternativas de investimento atingir a taxa de rendimento bancária ou a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), esse investimento não deve ser realizado.

$$VPL = 0 = \text{Investimento Inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1 + TIR)^t}$$

Equação 7. Taxa Interna de Retorno.

Onde:

VPL= Valor Presente Líquido.

Ft= Fluxo de caixa.

t= período, em anos.

N= duração do projeto, em anos.

A Razão Benefício-Custo representa a relação entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, para certa taxa de desconto. O projeto será economicamente viável se apresentar valor de B/C maior que a unidade, sendo tanto mais viável quanto maior for esse valor.

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j (1 + i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-j}}$$

Equação 8. Razão Benefício-Custo.

Onde:

B/C = Razão Benefício-Custo à taxa de desconto i .

R_j = receita no final do ano j .

C_j = custo no final do ano j .

i = taxa de desconto.

n = duração do projeto, em anos.

Para desenvolver o fluxo de caixa, utilizou-se o valor de venda referência de carvão de R\$ 12 por pacote de 7 kg e R\$ 4 por litro de AP para os três anos iniciais e R\$ 5 para os anos quatro e cinco, respectivamente.

Quanto à operação do SRV, observou-se durante a sua utilização que não há necessidade de algum operador extra, então foram mantidas as considerações de uma pessoa trabalhando durante o processo de carvão, ganhando R\$ 788 por mês.

Quanto aos custos variáveis, considerou-se o requisito anual da madeira de R\$ 50 por m^3 . Também foi considerada a depreciação do SRV e do forno em um período de seis anos e uma margem de segurança de 5% sobre o investimento inicial. Quanto aos impostos líquidos, utilizou-se um imposto líquido total de 33% sobre o lucro bruto.

Embora as taxas de desconto normalmente utilizadas em projetos florestais variam entre 6% e 12% ao ano (LIMA JÚNIOR et al., 1997) a taxa de desconto utilizada foi de 25%, a fim de balancear o risco da implementação do SRV. Para o cálculo da TIR foi utilizada a taxa de 12% como referência.

4.4. RESULTADOS

O custo de implantação do SRV para um forno típico da região com três chaminés foi de R\$ 2.300. Os custos contemplam a aquisição de tijolos, tubos de PVC, mão de obra, caixas de armazenamento do AP, argila, água, cal e as seções circulares de concreto. O investimento inicial para a implementação de SRV não é tão elevado, tendo em vista que os tijolos e a argila estão disponíveis nas propriedades dos agricultores familiares e a aquisição de tubos de PVC e concreto não atinge valores elevados.

Quanto ao rendimento do AP, foi verificada uma relação de $0,166 \pm 0,003$ litros de AP por kg de carvão produzido, sendo que o rendimento volumétrico lenha carvão foi de 50% para cada fornada, e foram obtidos 117 ± 4 L de licor.

Quadro 29. Rendimento de produção de AP.

Repetição	Sacas [unidades]	Carvão [kg]	Licor Pirolenhoso [L]	Rendimento [L/kg Cv]
1	104	728	120	0,164
2	100	700	118	0,168
3	98	686	112	0,163

Fonte: Elaboração própria.

O levantamento da capacidade instalada e a produção de carvão para o ano de 2016 na região estudada demonstrou um potencial de recuperação do AP de aproximadamente 1600 litros por mês proveniente do sistema de roça de toco na região estudada (Quadro 29).

As melhorias no rendimento da produção indicam um impacto positivo de 39% sobre as receitas líquidas para os agricultores pela recuperação do AP. Esse valor pode ser ainda maior se considerada a melhoria no rendimento gravimétrico, aspecto que não foi avaliado nesse estudo (Quadro 31).

Quadro 30. Potencial de produção de AP na região estudada.

	Ano	Mês
Lenha [m3]	907.307	75.608
Carvão [kg]	117.950	9.829
Licor Pirolenhoso [L]	19.579	1.631

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 31. Impacto nas receitas pela produção de AP na região estudada.

	Ano	Mês
Receita líquida	R\$ 202.200	R\$ 16.850
Receita potencial	R\$ 78.318	R\$ 6.526
Impacto na receita líquida		39%

Fonte: Elaboração própria.

Com relação ao fluxo de caixa, a sua construção foi realizada com base nos dados experimentais do forno piloto com o SRV em funcionamento, rendimento de licor e rendimento de carvão. Ainda, a partir do terceiro ano, foi aplicado um incremento de 5% anual nos custos fixos e variáveis por efeito da inflação. No ano 4, foi previsto um valor de investimento correspondente à depreciação prevista dos equipamentos utilizados, os quais detêm uma vida útil de três anos.

O fluxo de caixa (Quadro 32) apresenta valores positivos para cada um dos cinco anos previstos para recuperação do investimento feito pelo agricultor. Esses valores, embora positivos, não são tão significativos para os últimos dois anos avaliados. Essa situação é um reflexo do valor necessário para o investimento no início do quarto ano e do incremento dos custos por efeito da inflação e manutenção dos preços de venda pelo período todo.

Os indicadores econômicos e financeiros (Quadro 33) calculados demonstraram a viabilidade de implantação da tecnologia de SRV, desde que a abertura do mercado do AP seja garantida. O VPL e o VAE foram maiores do que 0, demonstrando assim a viabilidade do investimento; a taxa B/C foi maior do que 1, demonstrando que os benefícios da implantação foram superiores aos dos custos previstos, e a TIR de 57% demonstra a facilidade de recuperação do investimento durante os cinco anos.

Quadro 32. Fluxo de caixa previsto (em Reais).

Ano	0	1	2	3	4	5
Investimento	2.300,00				1.115,00	
(+) RECEITAS		21.456,00	21.456,00	21.456,00	22.860,00	22.860,00
Carvão		15.840,00	15.840,00	15.840,00	15.840,00	15.840,00
Licor pirolenhoso		5.616,00	5.616,00	5.616,00	7.020,00	7.020,00
(-) CUSTOS FIXOS		9.456,00	9.928,80	10.425,24	10.946,50	11.493,83
Salário		9.456,00	9.928,80	10.425,24	10.946,50	11.493,83
(-) CUSTOS VARIÁVEIS		7.920,00	7.920,00	8.316,00	8.731,80	9.168,39
Matéria prima		7.200,00	7.200,00	7.560,00	7.938,00	8.334,90
Outros		720,00	720,00	756,00	793,80	833,49
(-) DEPRECIAÇÃO		1.205,00	1.205,00	1.205,00	1.205,00	1.205,00
= LUCRO BRUTO		2.875,00	2.402,20	1.509,76	861,70	992,78
(-) IMPOSTOS		948,75	792,73	498,22	284,36	327,62
= LUCRO LÍQUIDO	- 2.300,00	1.926,25	1.609,47	1.011,54	577,34	665,16

Fonte: Elaboração própria.

Por outro lado, deve-se levar em consideração que os pressupostos de viabilidade, quanto a rendimento e preços de venda podem sofrer alterações. Ainda, a ineficiência da venda do licor inviabilizaria a implantação toda, criando também um passivo ambiental de difícil estocagem em grandes volumes e dificilmente aproveitado na sua totalidade pelos agricultores.

O investimento inicial é alcançável pelos agricultores locais e a recuperação do investimento demandará cinco anos. A implementação resulta em um aumento de 39% nos lucros. Como consequência, o SRV é economicamente rentável, ambientalmente correto e socialmente desejado. Com esta base, a implementação do SRV pode ser considerada como uma infraestrutura viável em escala regional.

Quadro 33. Indicadores econômicos e financeiros.

Indicador	Referência	Valor
Valor Presente Líquido (VPL)	> 0	R\$ 994,73
Valor Atual Equivalente (VAE)	> 0	R\$ 369,89
Relação Benefício Custo (B/C)	> 1	1,15
Taxa Interna de Retorno (TIR)		57%

Fonte: Elaboração própria.

4.5. CONCLUSÕES

No que diz respeito às tecnologias de mitigação de emissões, e considerando as características de produção, existem duas tecnologias passíveis de adaptação aos fornos utilizados na região estudada, as Fornalhas e o SRV. Tendo em vista a negligência governamental, o potencial de intercâmbio no mercado de créditos de carbono ao serem utilizadas as fornalhas, essas tecnologias tornam-se inviáveis, por não se ter como recuperar o investimento necessário para a instalação. Assim, o SRV se apresenta como uma alternativa a ser considerada pela obtenção do AP.

A implantação do SRV, então, pressupõe um investimento inicial não tão elevado para os agricultores locais e a possibilidade da recuperação do investimento, desde que o mercado para o AP seja estabelecido e fomentado, para um período de cinco anos. A

implementação do SRV resultaria em um incremento anual de 39% nos lucros, pela obtenção e comercialização do licor pirolenhoso.

Como consequência, a implementação do SRV é economicamente viável, ambientalmente correta e socialmente desejada; com esta base, o SRV pode ser considerado como uma infraestrutura verde e viável de implementação em escala regional.

**ASPECTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE
BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA
FAMILIAR EM SANTA CATARINA**

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O contexto brasileiro da produção de carvão, especialmente na região Sul, é um exemplo claro da conclusão de Chidumayo (2013) em relação à negligência governamental para o setor econômico-agrícola de produção de bioenergia de pequeno porte. A inexistência de dados confiáveis no órgão governamental encarregado das estatísticas sobre a produção de carvão é um claro exemplo disso.

Essa inexistência de dados dificulta uma avaliação precisa sobre os impactos da atividade na sua cadeia de valor. Em Santa Catarina, a produção de carvão vegetal é ignorada e foi deixada no setor informal entre as atividades do setor agrícola florestal, ainda que ela represente uma fonte principal de renda e detenha um potencial alto de tributos.

Recentemente, a produção de carvão vegetal foi enquadrada como uma atividade industrial dentro da categoria “Indústrias diversas” na resolução do CONSEMA 98/2017. Nessa resolução, que define as atividades sujeitas ao licenciamento, enquadra-se a produção de carvão como uma atividade industrial, que implica em obtenção de três licenças para legalizar a produção. Esse processo de licenciamento ambiental inviabiliza a produção legal por pequenos agricultores, já que gera um custo de aproximadamente 75% da produção anual, e coloca assim uma pressão maior sobre os recursos florestais ao favorecer a ilegalidade.

Dessa forma, a produção legal é desmotivada, mitiga-se sua prevalência e desconsidera-se o papel que o carvão vegetal pode desempenhar no desenvolvimento rural, especialmente porquanto a produção utiliza um recurso disponível localmente e de fonte renovável.

Existe, por parte do governo, então, uma dicotomia entre desenvolvimento rural sustentável e compromissos assumidos na esfera ambiental, já que, por um lado, grandes esforços e recursos são alocados em diversos planos de desenvolvimento (como o plano de Agricultura de Baixo Carbono, ABC) e, por outro, a negligência com relação ao setor produtivo de pequeno porte legal torna desencorajante algumas atividades no setor.

O entendimento sobre atividades com relação ao carvão vegetal como atividades normais da agricultura, conforme descrito por Sepp (2008), revela-se como um aspecto chave para abordar o desenvolvimento rural e o desenvolvimento sustentável, não só acerca dos impactos ambientais de sua produção, mas para os resultados positivos nos aspectos socioeconômicos. A produção de carvão vegetal deve gerar emprego e lucro local em áreas rurais e urbanas. Além disso, a eficácia da sustentabilidade do carvão vegetal no Sul do Brasil é condicionada pela adoção adequada de políticas nesse segmento econômico da agricultura.

Em vista da Agenda de Paris e dos ODS, os aspectos ambientais durante a produção de carvão ultrapassam o simples entendimento dos aspectos do manejo florestal; os impactos da atividade estão altamente relacionados ao processo de produção e ao contexto socioeconômico onde está inserida.

5.2. CONCLUSÕES

Com relação aos impactos da atividade, em uma análise mais ampla da produção tradicional de carvão em pequena escala, os impactos ambientais tendem a ser neutros. A dinamização das florestas e a equidade de gênero são contabilizadas como as variáveis impactantes mais positivas durante a produção tradicional. Os riscos para a saúde humana podem ser considerados como as atividades de impacto mais negativas; e um aspecto crítico da avaliação diz respeito às emissões atmosféricas de poluentes.

Em relação à emissão de gases durante o processo, esta pesquisa demonstrou que a contabilização dos mesmos estaria sendo superdimensionada, quando aplicados os valores padrão de fatores de emissão para o processo. Ainda mais, existe uma leve diferença quantitativa entre as emissões das diversas espécies utilizadas no processo, e isso vai depender do teor de carbono na madeira, teor de carbono fixo no carvão e da umidade da madeira no ingresso do processo. As condições do processo de pirólise vão influenciar em maior medida as emissões do que as espécies enforçadas.

Foram identificadas também a importância e a necessidade de conscientização dos produtores de que devem trabalhar com madeiras secas (com o menor teor de umidade possível) a fim de melhorar o rendimento gravimétrico e minimizar as emissões de carbono na fumaça.

Observou-se, também, que o carvão produzido na região estudada tem características técnicas compatíveis com aquelas esperadas para o uso residencial doméstico. Isso em relação ao PCS e ao teor de voláteis, em torno dos 30%.

No que diz respeito às tecnologias de mitigação de emissões, e considerando-se as características de produção, existem duas tecnologias passíveis de adaptação aos fornos utilizados na região estudada, as Fornalhas e o SRV. Tendo em vista a negligência governamental; e o potencial de intercâmbio no mercado de créditos de carbono ao serem utilizadas as fornalhas, essas tecnologias tornam-se inviáveis, por não se ter como recuperar o investimento necessário para a instalação. Assim, o SRV se apresenta como uma alternativa a ser considerada pela obtenção do AP.

A implantação do SRV, então, pressupõe um investimento inicial que não é tão elevado para os agricultores locais. A recuperação do investimento é possível em um período de cinco anos, desde que o mercado para o AP seja estabelecido e fomentado. A implementação do SRV resultaria em um incremento anual de 39% nos lucros, pela obtenção e comercialização do licor pirolenhoso.

Como consequência, a implementação do SRV é economicamente viável, ambientalmente correta e socialmente desejada; com esta base, o SRV pode ser considerado uma infraestrutura verde e viável de implementação em escala regional.

Assim, o processo de pirólise lenta de biomassa florestal no contexto da agricultura familiar na região estudada tem um impacto ambiental neutro, menor concentração de carbono nas emissões gasosas e, ainda, existem alternativas viáveis de melhora do desempenho ambiental quanto a esse quesito.

5.3. RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista as limitações operacionais encontradas no presente trabalho, e, ainda, em referência aos resultados do trabalho, recomenda-se para pesquisas futuras os seguintes pontos:

No que diz respeito ao Valor Global de Impacto, poderiam ser considerados outros aspectos ambientais e categorias de impacto, os quais

poderiam influenciar o resultado final da avaliação; outrossim, também, poderia ser aplicado um questionário aos representantes dos órgãos ambientais competentes, associações e outros portadores de interesse no tema, a fim de identificar conflitos e pontos críticos no entendimento acerca dos impactos causados.

Em relação ao fator de emissão de Carbono, recomenda-se fortemente uma pesquisa em condições similares das apresentadas neste trabalho, realizando medições diretas nas chaminés dos fornos, a fim de qualificar melhor as emissões quanto às substâncias emitidas.

Também é recomendável realizar um acompanhamento mais prolongado da produção e expandir o estudo para outras espécies frequentes na composição florestal da região estudada.

Aconselha-se fomentar uma parceria junto às instituições públicas de pesquisa e de apoio ao desenvolvimento, para implementação de programas e projetos amparados em políticas públicas que possam ajudar a estabelecer um mercado competitivo do licor pirolenhoso.

Quanto à viabilidade, a verificação real de aplicabilidade do AP na agricultura orgânica, o desenvolvimento de novas pesquisas nesse tópico, assim como também a caracterização do AP quanto às propriedades físicas e químicas são cruciais para as ações de abertura de mercado.

Propõe-se também a concretização do balanço de Carbono do sistema do uso da terra como um todo, a fim de justificar o seu impacto perante as discussões atuais de mudança climática, mitigação de efeitos da mudança climática, bem como do potencial de aquecimento global.

Finalmente, sugere-se atualizar os dados dos inventários nacionais de emissões de GEE, considerando-se que os fatores de emissão utilizados estão superestimando a contabilidade do carvão proveniente de pequenos agricultores na região Sul do Brasil.

**ASPECTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE
BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA
FAMILIAR EM SANTA CATARINA**

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ADAMS, C. As roças e o manejo da Mata Atlântica pelos caiçaras: uma revisão. **Interciência**, n. 25(03), 2000, p. 143-150.

ADAMS, C.; MUNARI, L.; VAN VLIET, N.; MURRIETA, R.; PIPERATA, B.; FUTEMMA, C.; SPRESSOLA-PRADO, V. Diversifying incomes and losing landscape complexity in quilombola shifting cultivation communities of the Atlantic Rainforest (Brazil). **Human Ecology**, n. 41(Issue 1), 2013, p. 119-137. doi:10.1007/s10745-012-9529-9.

AJAYI, A.; OGUNTUNDE, P.; ABIODUN, J.; MOACIR DE SOUZA, D. Numerical analysis of the impact of charcoal production on soil hydrological behavior, runoff response and erosion susceptibility. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, 2009, p. 137-145. doi:10.1590/S0100-06832009000100015.

ALMEIDA, I. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. São Paulo: Dissertação. (Mestrado em Engenharia em Minas) Departamento de Engenharia em Minas, Universidade Politécnica de São Paulo, 1999.

ALTWICKER, E. R. **Environmental Engineer's Handbook**. Boca Raton: CRC Press, 1999.

ANDRADE, M.; CUNHA, L.; GANDRA, G. Reestruturação na siderurgia. **BNDES setorial** n. 9. Brasília: BNDES, 1999.

ARAÚJO, L.; BAUER, E.; TORESAN, L.; MONDARDO, M.; ELIAS, L. **Atividades “invisíveis” na agricultura familiar: o caso da produção de carvão vegetal no município de Biguaçu-SC**. In: 51º Congresso da SOBER 2013. p. 1-13. Belém: UFPA, 2013.

ARNOLD, M.; PERSSON, R. Reassessing the fuelwood situation in developing countries. **International Forestry Review** (5), 2003, p. 379-383.

Fonte:
http://www.cifor.org/publications/pdf_files/articles/AArnold0301.pdf?q=fuelwood.

ASSIS, C.; TRUGILHO, P.; MENDES, L.; SILVA, J.; LIMAJ, T. Sistema alternativo para carbonização de madeira. **Scientia Forestalis**, n. 36, v. 78, 2008, p. 133-140.

BAILIS, R. ; RUJANAVECH, C. ; DWIVEDII, P. ; VILELA, A. ; CHANG, H. ; MIRANDA, R. Innovation in charcoal production: a comparative life-cycle assessment of two kiln technologies in Brazil. **Energy for Sustainable Development**, n. 17, 2013, p. 189-200.

BAIRD, C.; CANN, M. **Environmental Chemistry** (5. ed.). New York: W.H. Freeman and Company, 2012.

BAUER, E. **Mudanças no uso da terra em Biguaçu-SC**: agricultores em permanente processo de adaptação. Florianópolis: Dissertação. (Mestrado em Agroecossistemas). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

BIOCLIMÁTICO. (2017). Disponível em <http://www.bioclimatico.com.br/document.aspx?IDDocument=43>. Acesso em: 30 jun. 2017.

BRIDGWATER, A. (1996). **Thermal Biomass Conversion and Utilization-** Biomass Information System (EUR16863 ed.). Luxemburgo: Eueopan Commission, 1996.

BRIDGWATER, A. Biomass fast pyrolysis. **Thermal Science**, n. 8, 2004, p. 21-49.

BRITO, J. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. Piracicaba: Documentos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Florestais, 1990.

BRITO, J.; BARRICHELO, L. **Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia** (Série Técnica, v. 2, 5. ed.). Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1981.

BROCARD, D.; LACAUX, C. ; LACAUX, J. ; KOUADIO, G. ; YOBOUE, V. Emissions from the combustion of biofuels in western Africa. Em L. J. S. (Ed.), **Biomass Burning and Global Change** p. 350-360). Cambridge: MIT Press, 1996.

CALAIS, D. **Florestas energéticas no Brasil**: demanda e disponibilidade. Belo Horizonte: Associação Mineira de Silvicultura, 2009.

CAMPOS, A. Técnicas para produção de extrato pirolenhoso para uso agrícola. **Circular Técnica**, 65. ed. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 2007.

CAMPOS, L. **SGADA. Sistema de Gestão e Avaliação de Desempenho Ambiental**: uma proposta de implementação. Florianópolis: Tese. (Doutorado em Engenharia de Produção). Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

CARDOSO, M.; DAMÁSIO, R.; CARNEIRO, A.; JACOVINE, L.; VITAL, B.; BARCELOS, D. Construção de um sistema de queima de gases da carbonização para redução da emissão de poluentes. **Cerne**, n. 16 (Suplemento), 2010, p. 115-124.

CARRIÉRRE, S. M.; LETOURMY, P.; MCKEY, D. B. Effects of remnant tree in fallows on diversity and structure of forest regrowth in a slash-and-burn agricultural system in southern Cameroon. **Journal of Tropical Ecology**, 18: 375-396, 2002.

CARVALHO, A. **Caracterização da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de cinco espécies florestais utilizadas na região de Biguaçu, SC**. Lages: Dissertação. (Mestrado em Engenharia Florestal). Centro de Ciências Agroveterinárias. UDESC ed.: Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, 2013.

CARVALHO, R. M.; SOARES, T.; VALVERDE, S. Caracterização do Setor Florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Ciência Florestal**, n. 15, v. 1, 2005, p. 105-118.

CASTRO, H.; GOUVEIA, N.; ESCAMILLA-CEJUDO, J. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, n. 6, 2003, p. 135-149.

CAVALLERI, M. **Quantificação da concentração de material particulado total ao qual o produtor está exposto no processo de descarregamento nos fornos tradicionais de carvão vegetal no município de Biguaçu/SC**. Florianópolis: Monografia. (Graduação em

Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2015.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**: relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2014. São Paulo, 2014.

CGEE. **Avaliação sócio ambiental dos obstáculos econômicos, técnicos e regulatórios para atingimento da meta de redução de emissões na siderurgia brasileira**. Brasília: MDIC, 2014.

CHIDUMAYO, E. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. **Forest Ecology and Management**, n. 70, 1994, p. 353-357. doi:10.1016/0378-1127(94)90101-5.

CHIDUMAYO, E.; GUMBO, D. The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world: A synthesis. **Energy for Sustainable Development**. v. 17, 2013, p. 86-94. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2012.07.004.

CMMAD. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

COELHO JUNIOR, L.; CALEGÁRIO, N. N.; REZENDE, J. Análise temporal do preço do carvão vegetal oriundo de floresta nativa e de floresta plantada. **Scientia Forestalis**, s/n (70), 2006, p. 39-48.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução** n. 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental. Brasília, 1986.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução** n. 003, de 01/1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília, 1990.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS. (1992). MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0005/5390.pdf. Acesso em: jun. 2017.

CORTEZ, L.; LORA, E.; GÓMEZ, E. **Biomassa para energia**. Campinas: Unicamp, 2008.

CUNHA, G. **Valoração da saúde humana em estudos de impacto ambiental**. Florianópolis: Tese. (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2013.

DAJOZ, R. **Ecology principles**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

D'ALMEIDA, C.; VÖRÖSMARY, C.; HURTT, G.; MARENGO, J.; DINGMAN, S.; KEIM, B. The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. **International Journal of Climatology**, n. 27, 2007. p. 633-647. doi:10.1002/joc.1475.

DE KONING, H.; SMITH, K.; LAST, J. **Biomass fuel combustion and health**. Geneve: Bulletin of the World Health Organization, 1985.

De LUCA, F. **Botar a roça**: agricultura de corte e queima e manejo de bracingais em Biguaçu/SC (CCA-UFSC ed.). Florianópolis: Monografia (Graduação em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

DERANI, C. **Direito ambiental econômico** (2. ed.). São Paulo: MaxLimonad, 2001.

DIAS, V. S. ; VILLAZON MONTALVAN, R. A. Perspectivas sustentáveis da implantação de um forno alternativo de carvoejamento no município de Biguaçu/SC e suas implicações legais. (Plenum, Ed.) **Revista Internacional de Direito Ambiental**, n. 2, v. 5, 2013, p. 317-332.

DONN, W. **Meteorologia**. Barcelona: Revertè, 1978. (610p.)

ESTADO DE SÃO PAULO. NORMA - PMQ 3-03 PARA CARVÃO VEGETAL. **Resolução SAA n.10**, de 11 de jul. 2003 (Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. ed.). São Paulo: Diário Oficial Estado de São Paulo, v. 113, n. 129. 2003.

FANTINI, A. C.; ULLER-GÓMEZ, C.; GARTNER, C.; VICENTE, N. R.; SCHLINDWEIN, S. L.; BAUER, E.; MENEZES, G. T. Produção de carvão e de saberes na agricultura familiar de SC. **Agropecuária Catarinense**, n. 23, 2010, p. 13-15.

FAO. **Métodos simples para fabricar carvão vegetal**. (ESTUDIO FAO: MONTES 41. ed.). Roma, 1983.

FAO. FAO FORESTRY. Paper, 41. **Recovery of by products from hardwood carbonization**. 1987. Disponível em: http://www.fao.org/docrep/x5328e/x5328e0d.htm#chapter_12. Acesso em: 27 Jul. 2015.

FAO. **FAOSTAT. 2012**. Disponível em FAOSTAT: <http://faostat3.fao.org/home/index.html>. Acesso em: 18 mar. 2013

FAO. **Durban Declaration, 2050 vision for forests and forestry**. África do Sul, Durban, 2015. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/wfc2015/Documents/Durban_Declaration_FINAL.pdf. Acesso em: 16 maio 2017.

FAO. **FAOSTAT. 2015**. Disponível em <http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE>. Acesso em: 15 jun. 2015.

FAO. **The charcoal transition: greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods**. (J. van Dam, Ed.) Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.

FINKELMAN, R.; BELKIN, H.; ZHENG, B. Health impacts of domestic coal use in China. **Proceeding of the National Academy of Science in USA**, n. 7 v. 96, 1999. p. 3427-3431.

FINLAYSON-PITTS, B.; PITTS JR, J. **Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments and Applications**. Irvine: Academic Press, 2000.

GHILARDI, A.; MWAMPAMBA, T.; DUTT, G. What role will charcoal play in the coming decades? Insights from up-to-date findings and reviews. **Energy for Sustainable Development**, 2013 n. 17, p. 73-74.

GLASSER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, 2002, n. 35, p. 219-230. doi:10.1007/s00374-002-0466-4.

GONÇALVES, F.; SILVA, A.; FERRARO, A.; COSTA, N.; SOUZA, R.; TOSATO, A. Captação de líquido pirolenhoso da carbonização de madeira de *Eucalyptus cloeziana* em forno rabo quente. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 2010, n. 5, v. 2, p. 232-237. doi:10.5039/agraria.v5i2a647.

GUERRA, C. B. **Meio ambiente e trabalho no mundo do eucalipto** (2. ed.) Belo Horizonte, Brasil: Associação Agência Terra, 1995.

HÖLSCHER, D.; SÁ, T.; BASTOS, T.; DENICH, M.; FÖLSTER, H. Evaporation from young secondary vegetation in eastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, n. 193, 1997, p. 293-305.

IAIA. International Association for Impact Assessment. **Principles of environmental impact assessment best practice**. Fargo, 1999.

IBGE. (2006). **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 12 set. 2012.

IBGE. (2011). **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2011/default_pdf.shtm. Acesso em: 11 mar. 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Fonte: **Dados Históricos de São José/SC**: http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php. Acesso em: 01 jun. 2014.

INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica** (SOS Mata Atlântica ed.). São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011.

JOAQUIM, M. **Carvão vegetal**: uma alternativa para os produtores rurais do sudoeste goiano. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. Brasília: Dissertação. (Mestrado em Ciências

Florestais) Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, 2009.

JOSÉ, H. Combustão e combustíveis. **Apostila Química Tecnológica Geral**. Florianópolis: UFSC, 2012.

KAMMESHEIDT, L. The hole of tree sprouts in the restoration of stand structure and species diversity in tropical moist forest after slash and burn agriculture in Eastern Paraguay. **Plant Ecology**, 139:155-165, 1998.

KATO, M.; DEMARINI, D.; CARVALHO, A.; REGO, M.; BONFIM, A.; LOOMIS, D. World at work: Charcoal producing industries in northeastern Brazil. **Occup. Environ. Med.**, n. 62, 2005, p. 128-132. doi:10.1136/oem.2004.015172.

KLEIN, R. Ecologia da Flora e Vegetação do Vale do Itajaí. *Sellowia*, n. 32, v. 32, 1980, p. 164-369.

LANGER, M. **Estudo da produção de bio-óleo a partir da pirólise de lodos sanitários**. Florianópolis: Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

LIMA JÚNIOR, V.; REZENDE, J.; OLIVEIRA, A. Determinação da taxa de desconto a ser usada na análise econômica de projetos florestais. **Cerne**, n. 3, v. 1, 1997, p. 45-66.

LISBOA, H. **Controle da poluição atmosférica**. Montreal: Apostila, 2007.

MANAHAN, S. Environmental Science, Technology and Chemistry: **Environmental Chemistry**. Boca Raton: CRC Press, 2000.

MANAHAN, S. **Fundamentals of Environmental Chemistry** (2. ed.). Boca Raton: CRC Press, 2001.

MCLAUGHLIN, C. **The University of West Indies**. 2008. Disponível em The Digital Library Services: http://www.uwispacespace.uwi.edu/dspace/bitstream/handle/2139/2759/CherylAltheaMcLaughlin_MPhil.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 2 maio 2017.

MILIEU LTDA. (2004). **Assessment of the Effectiveness of European Air Quality Policies and Measures: Final Report on Task 3.2; Case Studies comparing the EU experience with the experience of the USA and other countries**. Brussels: NERI, 2004. Disponível em http://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/activities/pdf/task_3_2_general.pdf. Acesso em: 21 jul. 2015.

MME. **Balanco Energético Brasileiro**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2012.

NASCIMENTO, L.; FRANCISCO, J. Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city. **Cad. Saúde Pública**, n. 29, v. 8, 2013, p. 1565-1571.

OGUNTUNDE, P. G.; ABIODUM, B. J.; AJAYI, A. E.; VAN DE GIESEN, N. Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, n. 171(Issue 4), 2008, p. 591-596. doi:10.1002/jpln.200625185.

OLIVEIRA, A.; CARNEIRO, A.; VITAL, B.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B.; CARDOSO, M. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, n. 38, v. 87, 2010, p. 431-439.

OLIVEIRA, A.; SALLES, T.; PEREIRA, B.; CARNEIRO, A.; BRAGA, C.; SANTOS, R. Viabilidade econômica da produção de carvão vegetal em dois sistemas produtivos. **Floresta**, n. 44, 2014, p. 143-152.

E&E OSCIP. (2010). Relatórios de Referência. **Emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis: abordagem Bottom-up**. Ministério da Ciência e Tecnologia Brasília, 2010.

PASSA, V.; PRAUCHNER, M.; ARAÚJO, R.; MELO, B.; BATISTA, M. (2001). **Boletim UFMG: cientistas pesquisam novos usos para resíduo do carvão vegetal, que tem fama de poluente**. Disponível em <https://www.ufmg.br/boletim/bol1324/quarta.shtml>. Acesso em: 14 set. 2013.

PENNISE, D. **Greenhouse Gas, Indoor Air Pollution, and Wood Use Implications of the Charcoal Fuel Cycle** (Ph.D Thesis ed.). Berkeley: University of California, 2003.

PENNISE, D.; SMITH, K.; KITHINJI, J.; REZENDE, M.; RAAD, T.; ZHANG, J.; CHENGWEI, F. (2001). Emissions of Greenhouse Gases and other Airborne Pollutants from Charcoal making in Kenya and Brazil. **Journal of Geophysical Research**, n. 106, v. D20, 2001. p. 24143-24155.

PIMENTEL, G.; PIRES, H. Metodologias de avaliação de impacto ambiental: aplicações e seus Limites. **Revista de Administração Pública**, n. 26, v.1, 1992, p. 56-68.

PINHEIRO, P. A produção de carvão vegetal. In: Seminário: **Encuentro Regional sobre Biocombustibles y Energías Renovables**. Montevideo: UDELAR, 2009.

POPE, J.; ANNANDALE, D.; MORRISON-SAUNDERS, A. Conceptualizing sustainability assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, n. 24, v. 6, 2004, p. 595-616. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2004.03.001>.

RIBOT, J. (1993). Forestry policy and charcoal production in Senegal. **Energy Policy**, n. 21, 1993, p. 543-585.

RODRIGUES, T. **Diagnóstico ambiental da produção de carvão vegetal no município de TABAÍ –RS**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2016.

ROSENDAHL, L. Biomass Combustion Science, Technology and Engineering. **Series in Energy**: 40. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013.

SABLOWSKI, A. **Balço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva do carvão vegetal para produção de ferro gusa em Minas Gerais**. Brasília: Tese. (Doutorado em Ciências Florestais. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, 2008. Publicação PPGEFL.TD – 002/2008.

SÁNCHEZ, L. A diversidade dos conceitos de impacto ambiental e avaliação de impacto ambiental segundo diferentes grupos profissionais.

VII Encontro anual da seção brasileira da IAIA - International Association for Impact Assessment. Rio de Janeiro, 1998.

SÁNCHEZ, L. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SÁNCHEZ, L.; HACKING, T. An approach to linking environmental impact assessment and environmental management systems. **Impact Assessment and Project Appraisal**, n. 20, p. 25-38, 2002. doi:10.3152/147154602781766843.

SCHAFFER, W. **Mata Atlântica: patrimônio nacional dos brasileiros** (SBF ed.). Brasília: MMA, 2010.

SCHMITZ, H. **Produção de Madeira em Florestas Secundárias de Santa Catarina: ecologicamente viável e socialmente desejável.** Florianópolis: Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SCHNELLE Jr, K.; BROWN, C. **Air Pollution Control Technology Handbook.** Boca Raton, FL: CRC Press, 2002.

SCHUCH, C.; SIMINSKI, A.; FANTINI, A. Usos e potencial madeireiro do Jacatirão-açu (*Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin) no litoral de Santa Catarina. **Floresta**, n. 38(4), 2008, p. 735-741.

SEIXAS, F.; COUTO, L.; RUMMER, R. Colheita de plantios arbóreos de curta rotação para energia. **Biomassa & Energia**, n. 3(1), 2006, p. 1-16.

SEPP, S. **Shaping charcoal policies: context, process and instruments as exemplified by country cases.** Germany: GTZ, 2008.

SIMINSKI, A. **A floresta do futuro: conhecimento, valorização e perspectivas de uso das formações florestais secundárias no estado de Santa Catarina.** (CCA-UFSC ed.). Florianópolis: Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais), Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, 2009.

SIMINSKI, A.; FANTINI, A. (2007). Roça-de-toco: uso de recursos florestais e dinâmica da paisagem rural no litoral de Santa Catarina. **Ciência Rural**, n. 37(03), 2007, p. 690-696.

SMITH, K. **Biofuels, air pollution and health: a global review**. New York: Plenum Press, 1987.

SMITH, K.; PENNISE, D.M.; KHUMMONGKOL, P.; CHAIWONG, V.; RITGEEN, K.; ZHANG, J.; PANYATHANYA, W.; RASMUSSEN, R.A.; KHALIL, M.A.K. Greenhouse gases from small-scale combustion devices in developing countries: Charcoal-Making kilns in Thailand. Washington, D.C.: U.S. **Environmental Protection Agency, Office of Research and Development**, 1999.

SOMMER, R.; SÁ, T.; VIELHAUER, K.; DE ARAÚJO, A.; FÖLSTER, H.; VLEK, P. (2002). Transpiration and canopy conductance of secondary vegetation in the eastern Amazon. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 112(Issue 2), p. 103-121. doi:10.1016/S0168-1923(02)00044-8.

SOUZA, M. (2010). **Estudo exploratório sobre o sistema de produção e a comercialização do carvão vegetal produzido por agricultores familiares da microbacia de São Mateus (Biguaçu/SC)**. Florianópolis: Monografia (Curso de Agronomia). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, 2010.

SOUZA, P.; MELLO, W.; MARIANI, R.; SELLA, S. Caracterização do material particulado fino e grosso e composição da fração inorgânica solúvel em água em São José dos Campos (SP). **Química Nova**, n. 33(6), 2010, p. 1247-1253.

STEENBOCK, W.; SIMINSKI, A.; FANTINI, A.; REIS, M. (2011). Ocorrência de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) em bracatingais manejados e em florestas secundárias na região do planalto catarinense. **Árvore**, n. 35(4), 2011, p. 845-857.

SUBTIL, J. **Análise de métodos de avaliação de ecoeficiência**. São Paulo: Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo ed.). Universidade de São Paulo, 2015.

TIIKKALA, K.; FAGERNÄS, L.; TIIKKALA, J. History and Use of Wood Pyrolysis Liquids as Biocide and Plant Protection. **The Open Agriculture Journal**, n. 1, v. 4, 2010, p. 111-118.

TZANAKIS, N.; KALLERGIS, K.; BOUROS, D.; SAMIOU, M.; SIAFAKAS, N. Short-term effects of wood smoke exposure on the respiratory system among charcoal production workers. **Chest**, n. 119, 2001, p. 1260-1265. doi:10.1378/chest.119.4.1260

ULLER-GOMEZ, C.; DOROW, R. (2016). "Today we are treated like human beings!" Methodological strategies of Action Research with family farmers' practitioners of the slash-and-burn system in Southern Brazil. **International Journal of Action Research**, n. 12, v. 2, 2016, p. 172-190. doi:10.1688/IJAR-2016-02-Gomez.

ULLER-GÓMEZ, C.; GARTNER, C. **Pesquisa participativa e extensão rural como processos educativos**: reflexões e práticas com comunidades rurais de Biguaçu, SC. Florianópolis: EPAGRI, 2013.

UNFCCC. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE-**CDM Methodology PSB001**. Bonn: UNFCCC, 2012.

VALENTE, O. (1986). Carbonização de madeira de eucalipto. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, n. 12(141), 1986, p.74-82.

VAN LOO, S.; KOPPEJAN, J. **The handbook of biomass combustion and co-firing**. Londres: Earthscan, 2008.

VAN-VLIET, N.; MERTZ, O.; HEINIMANN, A.; LANGANKE, T.; PASCUAL, U.; SCHMOOK, B.; ADAMS, C.; SCHMIDT-VOGT, D.; MESSERLI, P.; LEISZ, S.; CASTELLA, J.C.; JORGENSEN, L.; BIRCH-THOMSEN, T.; HETT, C.; BRUUN, T. B.; ICKOWITZ, A.; VU, K.C.; FOX, J.; CRAMB, R.A.; PADDOCH, C.; DRESSLER, W.; ZIEGLER, A. Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment. **Global Environmental Change**, n. 22(Issue 2), 2012, p. 418-429. doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009.

VICENTE, N. **O manejo tradicional de roça itinerante em florestas secundárias**: um sistema que conserva a biodiversidade? Florianópolis:

Tese. (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais). Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

VILLAZON MONTALVAN, R. A. **Avaliação do desempenho produtivo e ambiental da implementação de uma nova tecnologia de carvoejamento no município de Biguaçu, SC.** Florianópolis: Dissertação. (Mestrado em Agroecossistemas). Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

VILLAZON MONTALVAN, R. A.; SILVA DE CARVALHO PINTO, C.; DOROW, R. Technological Implementation in the Brazilian Family Farming Context in order to Minimize CO₂ and CH₄ Emissions, a Feasibility Analysis. **European Journal of Sustainable Development**, n. 5, v. 4, 2016, p. 255-264. doi:10.14207/ejsd.2016.v5n4p255.

VITAL, M.; PINTO, M. A. **Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil.** São Paulo: Banco Nacional de Desenvolvimento- BNDES, 2009.

WHO. **World Health Organization:** Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Germany: Druckpartner Moser, 2006.

WOODRUFF, T.; AXELRAD, D.; KYLE, A.; NWEKE, O.; MILLER, G.; HURLEY, B. (2004). Trends in environmentally related childhood illnesses. **Pediatrics**, n. 113, 2004, p. 1133-1140.

ZULU, L.; RICHARDSON, R. (2012). Charcoal, livelihoods, and poverty reduction: Evidence from sub-Saharan Africa. **Energy for Sustainable Development**, 007(07), 11. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2012.07.007>.

**ASPECTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO DE PIRÓLISE LENTA DE
BIOMASSA FLORESTAL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA
FAMILIAR EM SANTA CATARINA**

APÊNDICE E ANEXOS

APÊNDICE A – Roteiro de dados a serem coletados

Nome: _____

1. Fornos na propriedade em 2016

2. Capacidade de lenha dos fornos

Forno 1 _____ mdc Forno 2 _____ mdc

Forno 3 _____ mdc Forno 4 _____ mdc

Forno 5 _____ mdc Forno 6 _____ mdc

3. Rendimento dos fornos (sacas de 7kg)

Forno 1 _____ mdc Forno 2 _____ mdc

Forno 3 _____ mdc Forno 4 _____ mdc

Forno 5 _____ mdc Forno 6 _____ mdc

4. O carvão foi feito com espécies nativas exclusivamente?

Sim _____

Não _____

5. Embalagens compradas em 2016

Vermelha de 5 kg _____ Vermelha de 7kg _____

Verde de 5Kg _____ Verde de 7kg _____

6. Embalagens usadas em 2016

Vermelha de 5 kg _____ Vermelha de 7kg _____

Verde de 5Kg _____ Verde de 7kg _____

7. Carvão produzido em 2016

Nativas _____

Outras _____

8. O carvão é a principal atividade? Sim_____ Não_____

9. O carvão é a principal fonte de renda? Sim____ Não_____

Observações:

ANEXO A – CORRELAÇÃO ENTRE ATIVIDADES E ASPECTOS AMBIENTAIS

P: Aspecto pouco significativo S: Aspecto significativo		Etapas / Atividades				
Aspectos ambientais		Corte e queima florestal	Corte e Transporte da lenha	Carbonização	Esvaziamento do forno e embalagem do carvão	Comercialização do carvão
Uso do solo	Degradação do solo	S	P			
	Alteração da topografia	S	P			
	Compactação		P			
	Fragmentação da cobertura florestal	S				
	Perda da vegetação	S	S			
Consumo de recursos	Carbono	S	S	S		S
	Energia		S	S		S
Consumo de água	Água subterrânea	P			P	
	Águas superficiais	P	P			
Emissões hídricas	Fontes pontuais			S		
	Fontes difusas			P		
Emissões atmosféricas	Material particulado	S	S	S	S	
	Odores	S	S	S	S	
	Gases e fumaça	S	S	S		

Emissões para o solo	Infiltrações para o solo		S	P		
	Resíduos sólidos		S	S	S	
Outras emissões	Ruído		S			
	Vibrações		S			
	Radiações	P		S		
Aspectos sociais	Geração de empregos			S	S	S
	Atração de pessoas					S
	Capacitação profissional	P	P			
	Demanda de bens e serviços		S		S	S
	Oportunidade de negócios					S
	Aumento local de preços			S	S	S
	Geração de impostos					S
	<i>Lifestyle</i>					S

ANEXO B – IMPACTOS NO MEIO BIOFÍSICO

X: Impacto muito importante O: Impacto pouco importante		Solo			Água					Floresta			Atmosfera		
		Perda de qualidade do solo	Contaminação do solo	Produção agrícola	Redução do nível de água subterrânea	Redução da disponibilidade da água superficial	Deterioração da qualidade de água da superfície	Deterioração da qualidade de água subterrânea	Alteração dos ecossistemas aquáticos	Dinamização do processo de sucessão vegetal	Impacto visual (paisagem)	Perda líquida de habitats	Deterioração da qualidade do ar	Interferência no ciclo Carbono	Potencial de Aquecimento Global
Aspectos ambientais	Degradação do solo	X	X	X	O			O						X	X
	Alteração da topografia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			O	X
	Compactação	O	O	X						X					
	Fragmentação da cobertura florestal	X		X	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X
	Perda da vegetação	X		X						X	X	X	O	X	
Consumo de recursos	Carbono			X					X	X			X	X	X
	Energia			O					O	O				O	O
Consumo de água	Água subterrânea			X	X			X						X	X

	Águas superficiais			X		X	X		X	X	X	X		X	X
Emissões hídricas	Fontes pontuais			X			X	X	X						
	Fontes difusas			X			X	X	X						
Emissões atmosféricas	Material particulado										O		X	X	X
	Odores										O		X		
	Gases e fumaça									X		X	X	X	X
Emissões para o solo	Infiltrações para o solo	X	X	X	O			O				X		O	
	Resíduos sólidos	X	X	X	O		X		X		X			O	
Aspectos sociais	Geração de empregos			X								O			
	Atração de pessoas			X								O			
	Capacitação profissional			X											
	Demanda de bens e serviços														
	Oportunidade de negócios			X						X				O	O
	Aumento local de preços			X											
	Geração de impostos			X											
	<i>Lifestyle</i>									X					

ANEXO C – IMPACTOS NO MEIO ANTRÓPICO

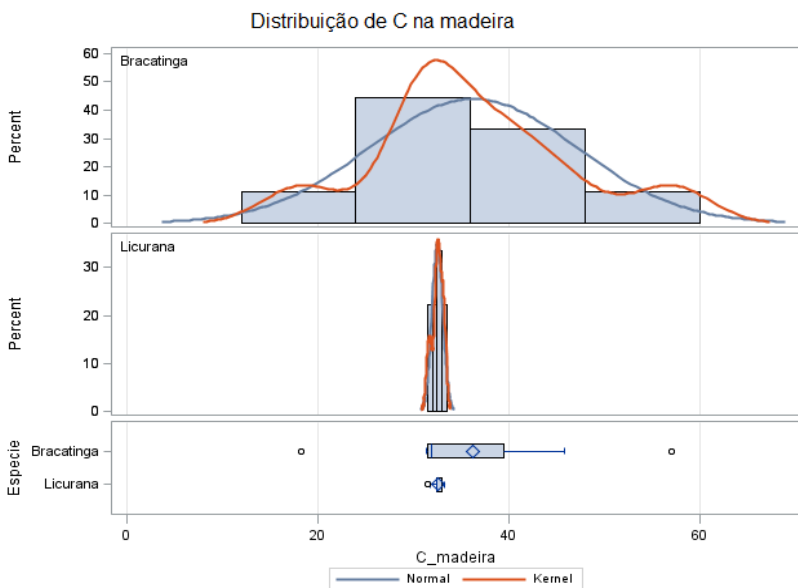
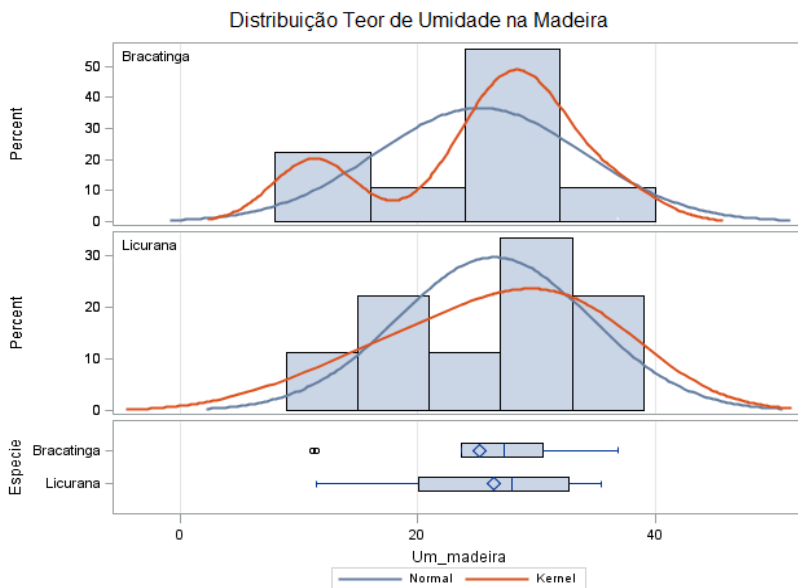
X: Impacto Muito Importante O: Impacto Pouco Importante		Saúde				Social				Econômico						
Aspectos ambientais																
		Proliferação de vectores	Incômodo e desconforto	Ferimentos e morte	Impacto sobre a saúde humana	Disseminação de doenças infecciosas	Segurança energética	Crescimento da população	Equidade de género	Perturbação da vida comunitária	Mitigação do êxodo rural	Qualidade de vida	Aumento da atividade comercial	Aumento da demanda de serviços públicos	Aumento da arrecadação tributária	Aumento da demanda sobre a atividade de comércio e serviços
Uso do Solo	Degradação do solo	O										O				
	Alteração da topografia															
	Compactação															
	Fragmentação da cobertura florestal	X	X			X				X		X				
	Perda da vegetação	O	O		O	X	O			O						
Consumo de Recursos	Carbono						X									
	Energia						X	X								
Consumo de Água	Água subterrânea	O			O	O				X		X				
	Águas superficiais	O	O		X	O		O						O		
Emissões hídricas	Fontes pontuais	O				O										
	Fontes difusas	O				O										
Emissões atmosféricas	Material particulado		X	X						O		O	O	O		

	Odores	O			X					O		O	O			
	Gases e fumaça	O	O	O								O	O	O		
Emissões para o solo	Infiltrações para o solo											O	O		O	
	Resíduos sólidos	X			X	X						O	O			
Outras emissões	Ruído		X		X					O	O					O
	Vibrações			X	X						O					
	Radiações		O	X	X						O					
Aspectos sociais	Geração de empregos				O		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Atração de pessoas					X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X
	Capacitação profissional				X	O		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Demanda de bens e serviços					X	X		X		X	X	X	X	X	X
	Oportunidade de negócios					O			O		X	X	X	X	X	X
	Aumento local de preços								X	X	O	O			O	
	Geração de impostos						X	X	X	X	O				X	
<i>Lifestyle</i>							O	O	X		X	O				

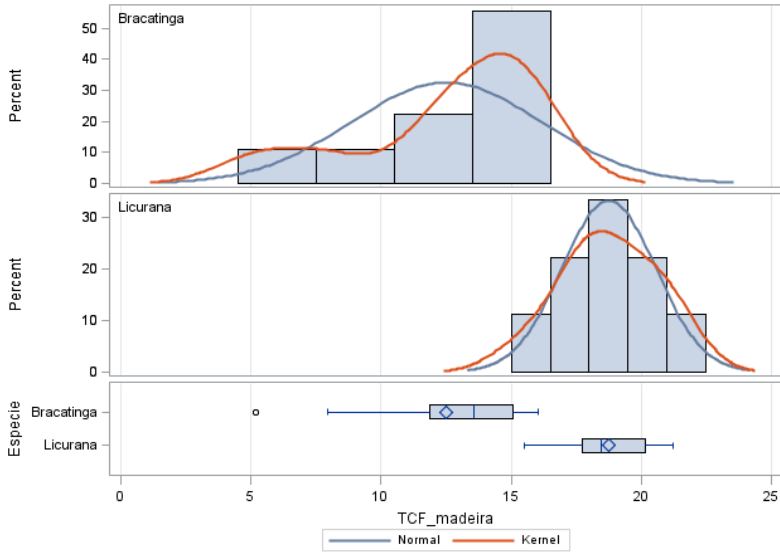
ANEXO D – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Fator Emissão		Um_madeira	Um_carvao	PCS_madeira	TCF_madeira	PCS_carvao	TCF_carvao	C_madeira	C_carvao
Um_madeira	r	-0,65171	1	0,27549	-0,42211	0,15758	-0,2418	-0,23044	-0,58507
	p	0,0046		0,2685	0,081	0,5323	0,3337	0,3576	0,0108
	n	17	18	18	18	18	18	18	18
Um_carvão	r	-0,1014	0,27549	1	-0,27592	-0,06457	-0,01378	0,03716	-0,17025
	p	0,6986	0,2685		0,2677	0,7991	0,9567	0,8836	0,4994
	n	17	18	18	18	18	18	18	18
PCS_madeira	r	0,09321	-0,42211	-0,27592	1	-0,01083	0,06387	0,12193	0,03585
	p	0,722	0,081	0,2677		0,966	0,8012	0,6298	0,8877
	n	17	18	18	18	18	18	18	18
TCF_madeira	r	-0,45003	0,15758	-0,06457	-0,01083	1	0,16906	0,15608	-0,38144
	p	0,0699	0,5323	0,7991	0,966		0,5025	0,5363	0,1183
	n	17	18	18	18	18	18	18	18
PCS_carvao	r	0,49669	-0,2418	-0,01378	0,06387	0,16906	1	0,66948	0,27762
	p	0,0425	0,3337	0,9567	0,8012	0,5025		0,0024	0,2647
	n	17	18	18	18	18	18	18	18
TCF_carvao	r	0,28403	-0,23044	0,03716	0,12193	0,15608	0,66948	1	0,11565
	p	0,2692	0,3576	0,8836	0,6298	0,5363	0,0024		0,6477
	n	17	18	18	18	18	18	18	18
C_madeira	r	0,90433	-0,58507	-0,17025	0,03585	-0,38144	0,27762	0,11565	1
	p	<.0001	0,0108	0,4994	0,8877	0,1183	0,2647	0,6477	
	n	17	18	18	18	18	18	18	18
C_carvao	r	-0,60329	0,39534	0,11155	-0,25206	-0,06093	-0,72256	-0,60453	-0,58255
	p	0,0104	0,1044	0,6595	0,3129	0,8102	0,0007	0,0079	0,0112
	n	17	18	18	18	18	18	18	18

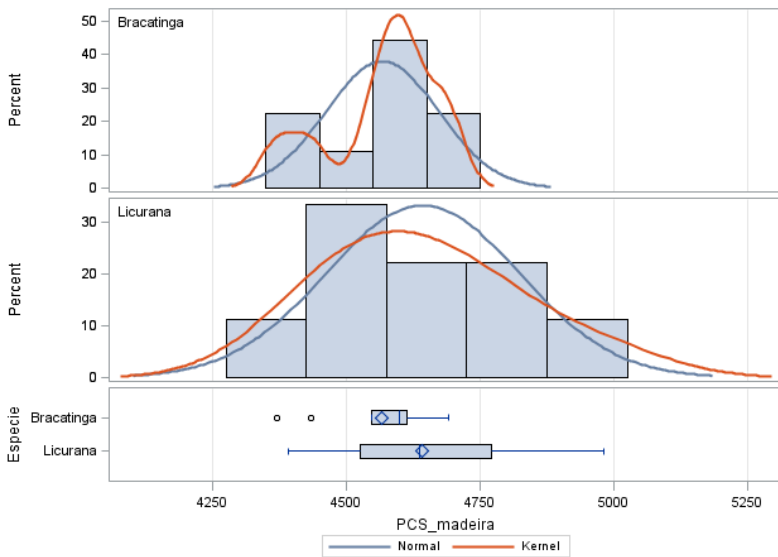
ANEXO E – CARACTERIZAÇÃO DA LENHA



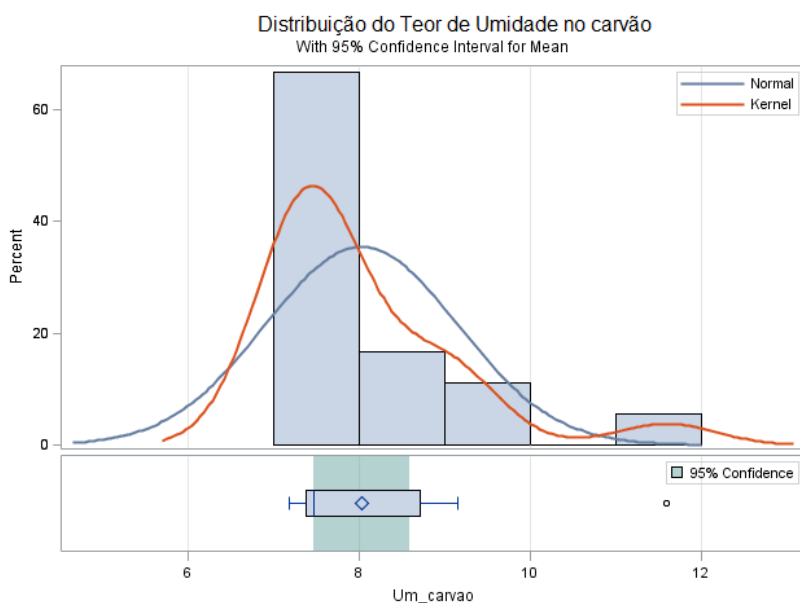
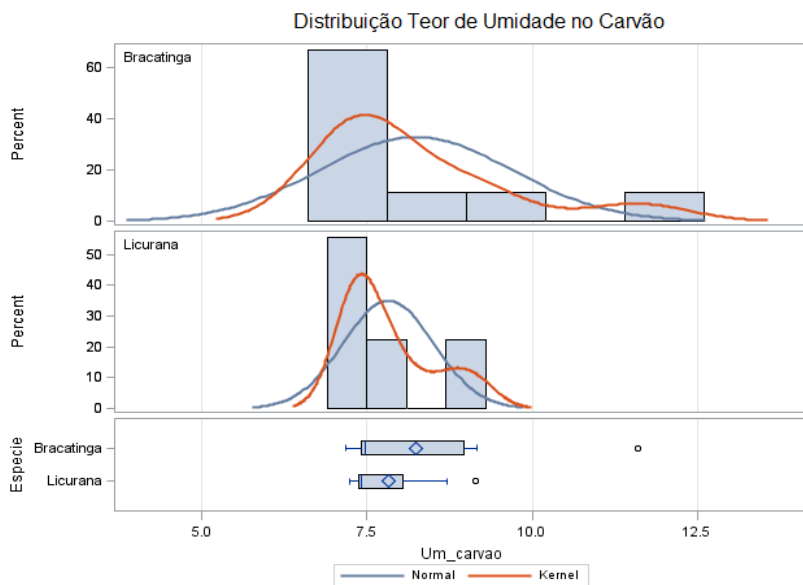
Distribuição do TCF na madeira

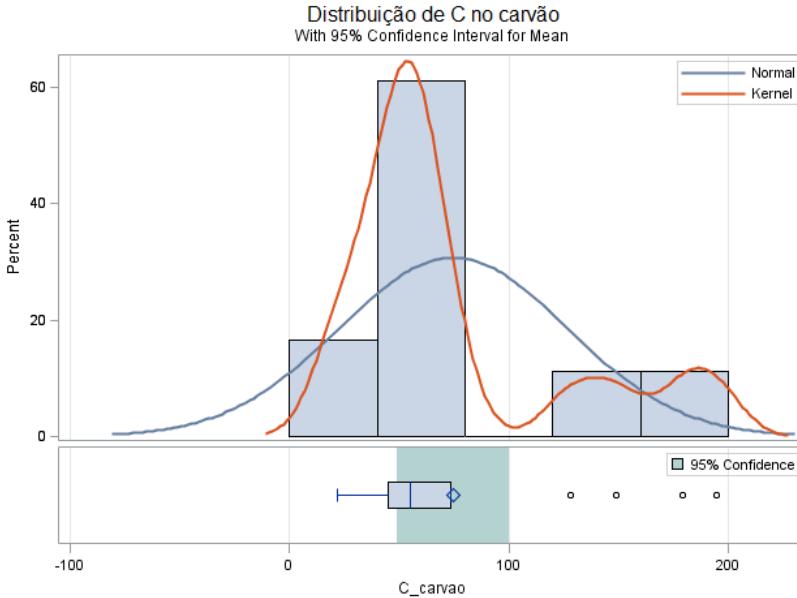
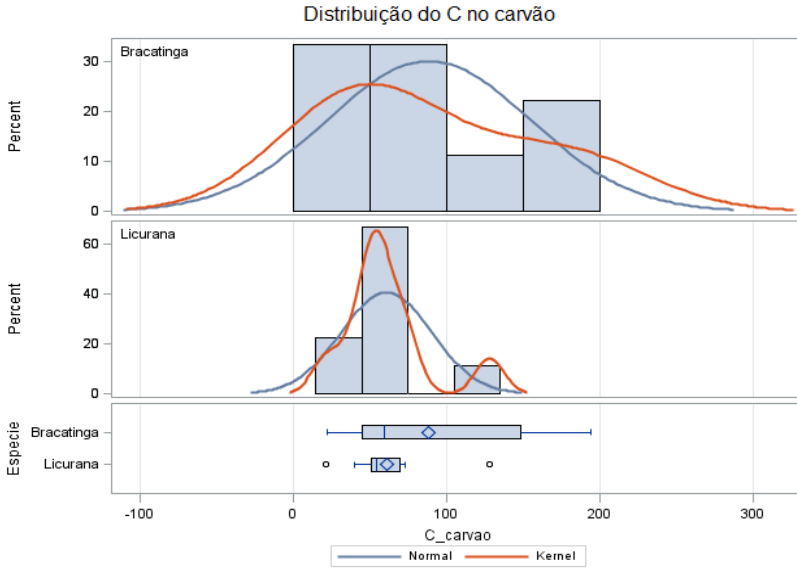


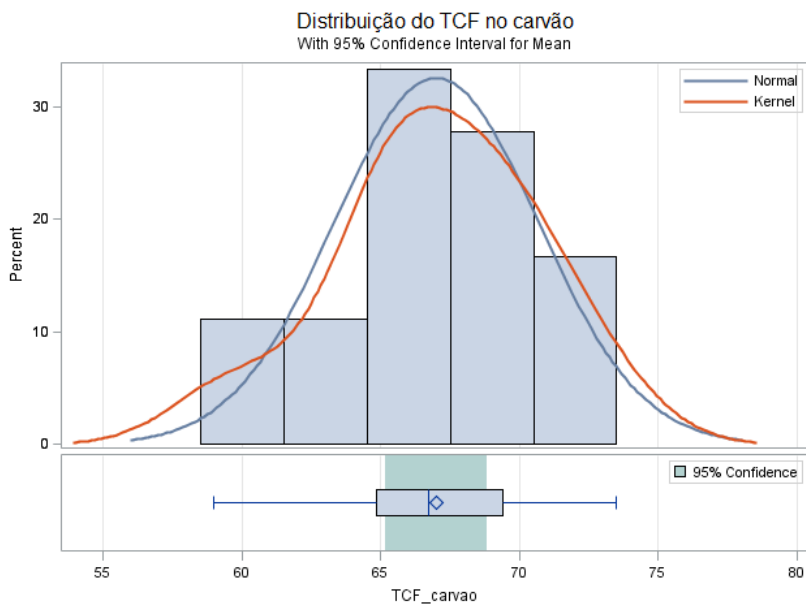
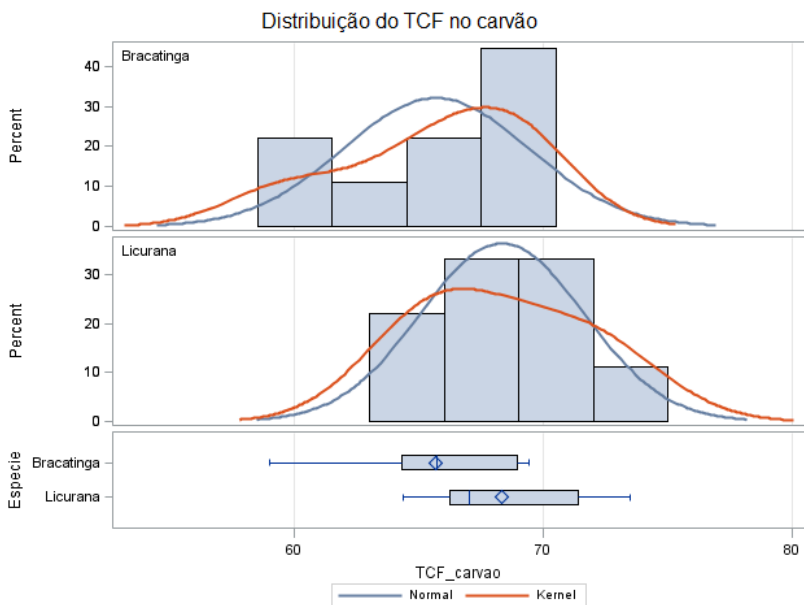
Distribuição do PCS na madeira

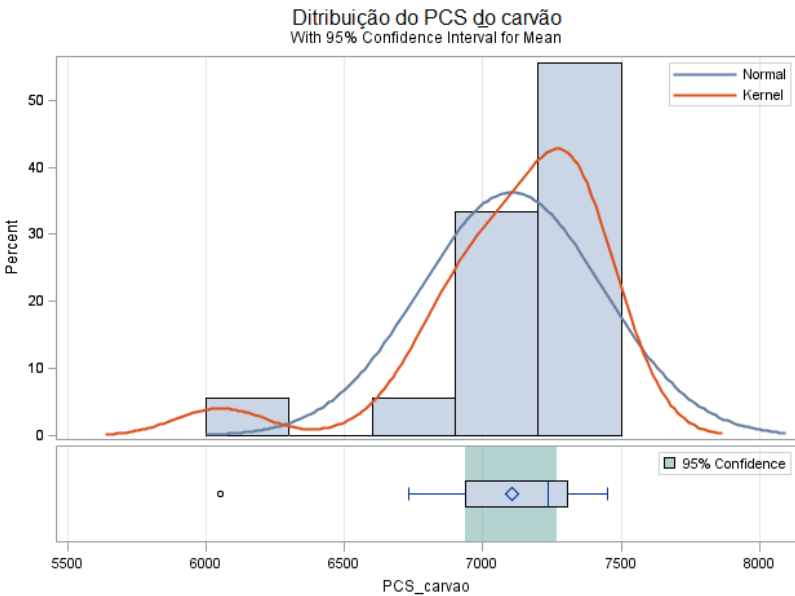
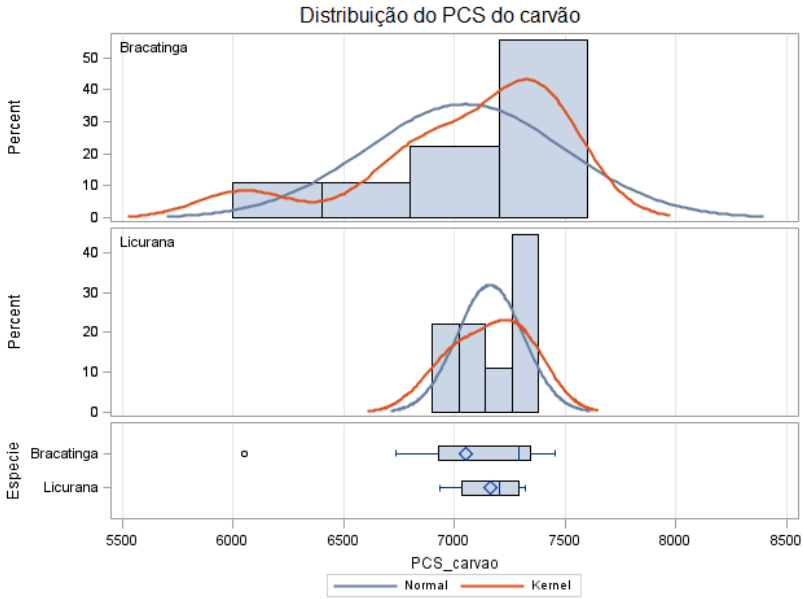


ANEXO F – CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO









ANEXO G – CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS

