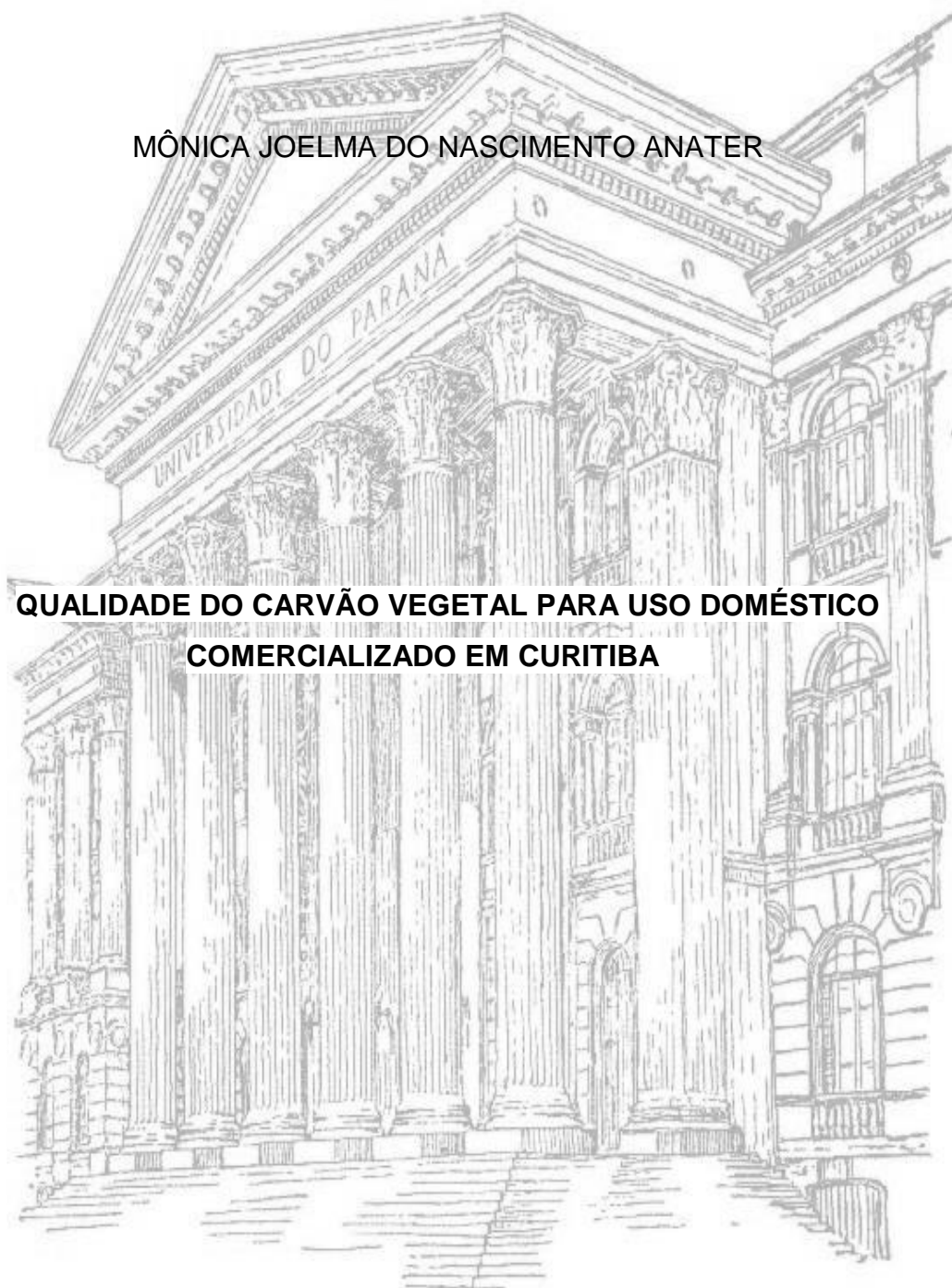


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÔNICA JOELMA DO NASCIMENTO ANATER

**QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO
COMERCIALIZADO EM CURITIBA**



CURITIBA

2017

MÔNICA JOELMA DO NASCIMENTO ANATER

**QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO
COMERCIALIZADO EM CURITIBA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Bioenergia, no curso de Pós-Graduação em Bioenergia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta.
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Martha Andrea Brand.

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A535 Anater, Mônica Joelma do Nascimento
Qualidade do carvão vegetal para uso doméstico
comercializado em Curitiba.
/ Mônica Joelma do Nascimento Anater. – Palotina, 2016
74f.

Orientador: Carlos Roberto Sanquetta.
Coorientador: Martha Andrea Brand.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor Palotina, Programa de Pós-Graduação em Bionergia.

1. Testes de qualidade. 2. Consumo residencial de carvão
vegetal 3. Propriedades do carvão vegetal. I. Sanquetta, Carlos
Roberto. II. Brand, Martha Andrea. III. Universidade Federal
do Paraná. IV. Título.

CDU 620.91



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor PALOTINA
Programa de Pós-Graduação BIOENERGIA - UEL - UEM - UEPG - UNICENTRO
- UNIOESTE - UFPR

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA - UEL - UEM - UEPG - UNICENTRO - UNIOESTE - UFPR da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **MONICA JOELMA DO NASCIMENTO ANATER** intitulada: **QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO COMERCIALIZADO EM CURITIBA**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Palotina, 25 de Janeiro de 2017.


CARLOS ROBERTO SANQUETTA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


DIMAS AGOSTINHO DA SILVA

Avaliador Externo (UFPR)


ANA PAULA DALLA CORTE

Avaliador Externo (UFPR)

*Dedico esse trabalho ao meu pai
Elton Edson Airton Pedro Anater,
pelo seu apoio e incentivo durante
toda minha trajetória.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Carlos Roberto Sanquetta, por me acolher e me ajudar em todos os aspectos, fazendo da experiência de mestrado, uma das mais significantes e gratificantes da minha vida profissional.

À minha coorientadora Martha Andréa Brand pelo auxílio durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Dimas, que com seu conhecimento e experiência no assunto, me proporcionou ideias e soluções de vários problemas encontrados ao longo do caminho.

Agradeço aos meus pais, Elton e Selzira, que se esforçaram para me manter bem nos momentos mais difíceis dessa jornada.

Ao Fernando, que me auxiliou nos experimentos de todo meu trabalho. Ao Alexandre e ao Aurélio que de igual maneira, me guiaram para a conclusão deste trabalho.

À Bruna, que se tornou além de uma colega de laboratório, uma amiga para a vida toda, me influenciando, ajudando, apoiando e me incentivando a perseguir meus sonhos.

Aos meus amigos e colegas que fiz ao longo desses dois anos no BIOFIX, e aos de outros tempos, que sempre me deram uma palavra de conforto nos momentos difíceis.

Ao Robson que me ajudou, me apoiou e colaborou nos mais diferentes aspectos, serei eternamente grata pelo apoio e dedicação.

Aos membros da banca por suas contribuições para esse trabalho.

A todos que de alguma maneira me ajudaram nesses dois anos, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Predomina no atual cenário brasileiro a utilização de carvão vegetal em alternativa ao mineral, devido a grande abundância de terras para plantações de florestas e a baixa qualidade do carvão mineral de origem nacional. Toda a produção de carvão vegetal é utilizada para consumo interno, tanto industrial como residencial. A parcela correspondente ao setor residencial, por sua vez é baixa, o que faz com que haja poucas normativas que assegurem uma cadeia produtiva sustentável e de qualidade ao consumidor. A qualidade é uma característica influenciada por diversos fatores, como a origem florestal da madeira, o tipo de forno de carbonização, o modo de transformação, transporte e armazenamento do carvão vegetal. Visto isso, são necessários estudos que avaliem a qualidade desse biocombustível para uso doméstico, desconhecida pelo consumidor e muitas vezes pelo próprio fabricante. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do carvão vegetal para uso doméstico na região de Curitiba, Paraná. Para isso, foram coletadas 15 marcas comercializadas na cidade e analisadas suas propriedades físicas e energéticas, sendo elas: teor de umidade, poder calorífico superior, análise química imediata, índice de quebra e abrasão, densidade relativa aparente, densidade relativa verdadeira e porosidade. As análises foram realizadas no Laboratório de Energia da Biomassa (LEB) e no Centro de Excelência sobre fixação de Carbono na Biomassa (BIOFIX), ambos pertencentes à Universidade Federal do Paraná (UFPR). Os valores foram submetidos a análise de variância e quando verificadas diferenças estatisticamente significativas aplicou-se o teste de Scott-Knott, a 5% de significância. O carvão analisado apresentou teor de umidade médio (5,79%) com baixa variação entre as amostras, médio teor de voláteis e de carbono fixo (22,93% e 74,95% respectivamente) e alto teor de cinzas (2,12%) com altas variabilidades entre as amostras. O poder calorífico foi considerado médio ($7.321,03 \text{ kcal.kg}^{-1}$) com grande variação entre amostras. Do mesmo modo, a densidade relativa aparente ($0,329 \text{ g.cm}^{-3}$) e a densidade relativa verdadeira ($1,394 \text{ g.cm}^{-3}$) tiveram grande variabilidade entre amostras, sendo considerados como valores médios. O teor de finos, resultado da análise do índice de quebra e abrasão, foi considerado baixo (8,27%). Foi verificado que a produção e o consumo do carvão vegetal são predominantemente regionalizados, com a distância média entre a produção e o consumo de 17,7 km. A Bracatinga e o Eucalipto são as espécies mais utilizadas para a produção do carvão vegetal, e apesar da falta de informações e padronização em algumas embalagens, todas possuíam registros em órgãos ambientais federais e/ou estaduais. Foi observada forte correlação linear positiva entre o teor de carbono fixo e o poder calorífico superior e entre a densidade relativa aparente e a densidade relativa verdadeira, além disso, observou-se forte correlação linear negativa entre o teor de materiais voláteis e o teor de carbono fixo e entre o teor de materiais voláteis e o poder calorífico superior. Conclui-se que a qualidade do carvão vegetal utilizado em Curitiba é intermediária, no entanto, quase que a totalidade das amostras não atenderia as exigências do Selo Premium de São Paulo.

Palavras-chave: Testes de Qualidade; Consumo Residencial de Carvão Vegetal; Propriedades do Carvão Vegetal.

ABSTRACT

The current Brazilian scenario is predominated by the use of charcoal as an alternative to mineral, due to the great abundance of land to forest plantations and the low quality of mineral coal of national origin. All charcoal production is used for domestic consumption, both industrial and residential. The share corresponding to the residential sector, in turn is low, which means that there are few regulations that ensure a sustainable productive chain and quality to the consumer. The quality is influenced by several factors such as the origin of the wood, the type of carbonization furnace, the mode of transformation, transport and storage of charcoal. Given this, studies are needed to assess the quality of this biofuel for domestic use, unknown by the consumer and often by the manufacturer. Thus, the objective of this study was to investigate the quality of charcoal for domestic use in the region of Curitiba, Paraná. For this, 15 brands marketed in the city and analyzed their physical and energetic properties. They were: moisture content, calorific value, immediate chemical analysis, breaking and abrasion index, apparent and true specific gravity and porosity. The analyzes were carried out at the Biomass Energy Laboratory (LEB) and at the Center of Excellence on Carbon Fixation in Biomass (BIOFIX), both belonging to the Federal University of Paraná (UFPR). The values were submitted to an analysis of variance and when the differences were statistically significant the Scott-Knott test was applied, with 5% of significance. The charcoal analyzed presented medium moisture content (5.79%) with low variation between samples, medium volatile and fixed carbon content (22.93% and 74.95%, respectively) and, with low variation between samples, high ash content (2.12%) with high variability between samples. The calorific value was considered medium ($7,321.03 \text{ kcal.kg}^{-1}$) with great variation among the samples. Similarly, the apparent relative density (0.329 g.cm^{-3}) and the true relative density (1.394 g.cm^{-3}), have great variability among samples, considered as medium values. The fine content resulting from the analysis of the breaking and abrasion index was considered low, with 8.27% of fines generated after the tests. It was found that the production and consumption of charcoal is predominantly regionalized, with the average distance between production and consumption of charcoal of 17.7 km. The most used species for the production of charcoal are Bracatinga and Eucalyptus, and despite the lack of information in some packages and lack of standardization of these, all had records in federal and/or state environmental agencies. A strong positive linear correlation was observed between the fixed carbon content and the gross calorific value and between the apparent relative density and the true relative density, in addition, a strong negative linear correlation was observed between the volatile matter content and the carbon content between volatile matter content and gross calorific value. It is concluded that the quality of charcoal used in Curitiba is intermediate, however, almost all the samples would not meet the requirements of the Premium Seal of São Paulo.

Keywords: Quality Testing; Residential Charcoal Consumption; Properties of Charcoal.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DE CARVÃO VEGETAL POR SETORES	17
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DE CARVÃO VEGETAL ORIUNDO DE FLORESTAS PLANTADAS E NATIVAS	19
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE COLETA, AMOSTRAGEM, PREPARO DAS AMOSTRAS E TESTES REALIZADOS EM CADA FASE DO PROCESSO E SINALIZAÇÃO DO ITEM ONDE PODE SER VERIFICADO NO TRABALHO.	34
FIGURA 4 - AMOSTRA DE CARVÃO VEGETAL SENDO MOÍDA EM MOINHO DE FACAS	36
FIGURA 5 - CALORÍMETRO ADIABÁTICO UTILIZADO PARA TESTE DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR	37
FIGURA 6 - TAMBOR ROTATIVO COM MOTOR ACOPLADO COM CONTROLE DE VELOCIDADE PARA TESTE DE TAMBOREAMENTO	38
FIGURA 7- PRESENÇA DE ALÇA E ACENDEDOR NAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	46
FIGURA 8 - LOCAL DE FABRICAÇÃO DAS MARCAS DE ORIGEM PARANAENSE.....	49
FIGURA 9 - PORCENTAGEM DE AMOSTRAS QUE CONTINHAM ATIÇOS E/OU IMPUREZAS E EXEMPLO DE ATIÇO ENCONTRADO EM UMA DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL	52
FIGURA 10 - COMPARAÇÃO DA MÉDIA DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL COM O ESTIPULADO PELO SELO PREMIUM PARA TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (TMV), TEOR DE CARBONO FIXO (TCF) E TEOR DE CINZAS (TCZ).....	56
FIGURA 11 - ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL OBTIDO PARA AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	61
FIGURA 12 - ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL OBTIDO PARA AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DA FÓRMULA SUGERIDA.	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DAS TECNOLOGIAS PARA PIRÓLISE DA BIOMASSA	26
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL .	27
TABELA 3 - TIPO DE ESTABELECIMENTOS ONDE FORAM ADQUIRIDAS AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL NA CIDADE DE CURITIBA.	35
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ACORDO COM SUA FRIABILIDADE SEGUNDO OLIVEIRA ET AL. (1982).....	39
TABELA 5 - PREÇO POR EMBALAGEM E POR QUILO E PRESENÇA DE ACESSÓRIOS NAS EMBALAGENS DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	45
TABELA 6 - DESCRIÇÃO DO LOCAL DE FABRICAÇÃO E ORIGEM FLORESTAL, OBTIDOS EXCLUSIVAMENTE POR MEIO DAS INFORMAÇÕES DAS EMBALAGENS DE CARVÃO VEGETAL.	47
TABELA 7 - TEOR DE UMIDADE, PODER CALORÍFICO E PRESENÇA DE ATIÇOS DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	50
TABELA 8 - ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	53
TABELA 9 - DENSIDADE RELATIVA APARENTE (DRA), DENSIDADE RELATIVA VERDADEIRA (DRV), POROSIDADE E TEOR DE FINOS GERADO (FRIABILIDADE) PARA AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	57
TABELA 10 - COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS NESTE TRABALHO COM VALORES OBTIDOS POR OUTROS AUTORES COM TRABALHOS SEMELHANTES DE CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE DE CARVÃO VEGETAL.....	59
TABELA 11 - INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL DE ACORDO COM FÓRMULA SUGERIDA POR PUROHIT E NAUTIYAL (1987) E DE ACORDO COM FÓRMULA SUGERIDA NESTE TRABALHO PARA AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	60

TABELA 12 - CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON PARA TODAS AS CARACTERÍSTICAS ANALISADAS DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	63
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	ASPECTOS DA UTILIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL NO BRASIL	16
2.2	CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL E RELAÇÃO COM A QUALIDADE	25
2.3	LEGISLAÇÕES VIGENTES SOBRE O COMÉRCIO DE CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	COLETA, ETIQUETAGEM, ARMAZENAMENTO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	35
3.2	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS	36
3.2.1	Teor de umidade	37
3.2.2	Poder Calorífico Superior	37
3.2.3	Análise Química Imediata	38
3.2.4	Índice de quebra e abrasão (Friabilidade)	38
3.2.5	Densidade Relativa Aparente	39
3.2.6	Densidade Relativa Verdadeira	40
3.2.7	Porosidade	41
3.2.7	Índice de Valor Combustível (FVI)	41
3.3	ESTATÍSTICA E ANÁLISE DOS DADOS	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES CONTIDAS NAS EMBALAGENS DE CARVÃO VEGETAL	45

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.....	49
4.3 ÍNDICE DE VALOR DE COMBUSTÍVEL (FVI) E CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL	59
4.4 IMPLICAÇÕES E CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROBLEMÁTICA DO CARVÃO VEGETAL NO PARANÁ.....	63
5 CONCLUSÕES	66
6 RECOMENDAÇÕES	68
REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A biomassa é uma das mais importantes e tradicionais fontes de energia renovável utilizada atualmente no planeta. Uma de suas principais vantagens é devido ao seu potencial na contribuição para a solução dos problemas ambientais causados pela utilização de combustíveis fósseis. A mitigação do efeito estufa é possível através do uso sustentável da biomassa como combustível e/ou como forma de sequestro de carbono da atmosfera, substituindo diretamente os combustíveis fósseis e reduzindo consideravelmente as emissões de enxofre e óxidos de nitrogênio (LORA e ANDRADE, 2009).

No uso doméstico, a biomassa é geralmente utilizada na forma *in natura*, como lenha para queima em fogão ou aquecimento doméstico, ou transformada em carvão vegetal, utilizado principalmente na cocção de alimentos. Segundo Ribeiro e Vale (2008), o carvão vegetal para uso doméstico deve possuir alta densidade aparente, baixo teor de umidade e de materiais voláteis, baixos teores de cinzas, altos teores de carbono fixo e alto poder calorífico.

Pode-se citar que a qualidade é o maior problema associado ao uso doméstico do carvão vegetal. A baixa qualidade do produto, além de causar prejuízos financeiros ao consumidor, poderá trazer prejuízos à saúde deste. Segundo Rosa (2010) um carvão vegetal proveniente de madeira muito heterogênea pode possuir partes não carbonizadas, que por sua vez, podem emitir mais de 130 substâncias tóxicas, contaminando assim alimentos e pessoas. Por esse motivo, é necessário o investimento na boa qualidade do carvão vegetal produzido, principalmente para uso doméstico, onde o consumidor não costuma utilizar métodos que minimizem a inalação desses gases tóxicos.

A qualidade do carvão vegetal produzido varia principalmente em função da matéria-prima utilizada, tipo de acondicionamento, tempo de estocagem e a eficiência do processo de carbonização para produção do mesmo. Geralmente, a análise da qualidade envolve a determinação dos níveis de umidade, carbono fixo, densidade aparente, teor de materiais voláteis e poder calorífico, entre outros.

Atualmente no estado do Paraná, não há nenhuma normatização que intervenha pela qualidade do carvão vegetal utilizado para uso doméstico, diferentemente do estado de São Paulo, que adotou o Selo Premium do carvão vegetal, que é uma garantia de produção sem uso de mão de obra infantil, com alto teor de carbono fixo, menor liberação de gases tóxicos e proveniente de madeira de reflorestamento.

Até o momento não há pesquisas que verifiquem a qualidade do carvão vegetal utilizado domesticamente na cidade de Curitiba, Paraná. Assim, esse trabalho tem como objetivo fornecer essas informações e, para isso, foram analisadas diversas marcas de carvão vegetal comercializadas em Curitiba a fim de identificar a qualidade de cada uma, visando, assim, fornecer um diagnóstico geral da qualidade do produto vendido na cidade, gerando dados que possam auxiliar em sua normatização.

1.1 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Fornecer um diagnóstico geral da qualidade do carvão vegetal utilizado para fins domésticos na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Levantar os locais de fabricação e/ou empacotamento do carvão vegetal comercializado em Curitiba;
- Caracterizar valores para as propriedades específicas que colaboram na determinação da qualidade do carvão vegetal, tais como: teor de umidade, poder calorífico superior, análise química imediata, índice de quebra e abrasão, densidade relativa aparente e densidade relativa verdadeira;
- Verificar se as amostras se adéquam ao nível mínimo de qualidade estabelecido pelo Selo Premium de São Paulo;
- Verificar aspectos da embalagem, tais como: se é possível a rastreabilidade do produto por parte do consumidor; se há presença

ou ausência de alça e acendedor; se há padronização das embalagens; se possuem registros em órgãos ambientais estaduais e/ou federais; entre outros.

- Verificar IVC como metodologia de ranqueamento de qualidade de carvão vegetal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS DA UTILIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL NO BRASIL

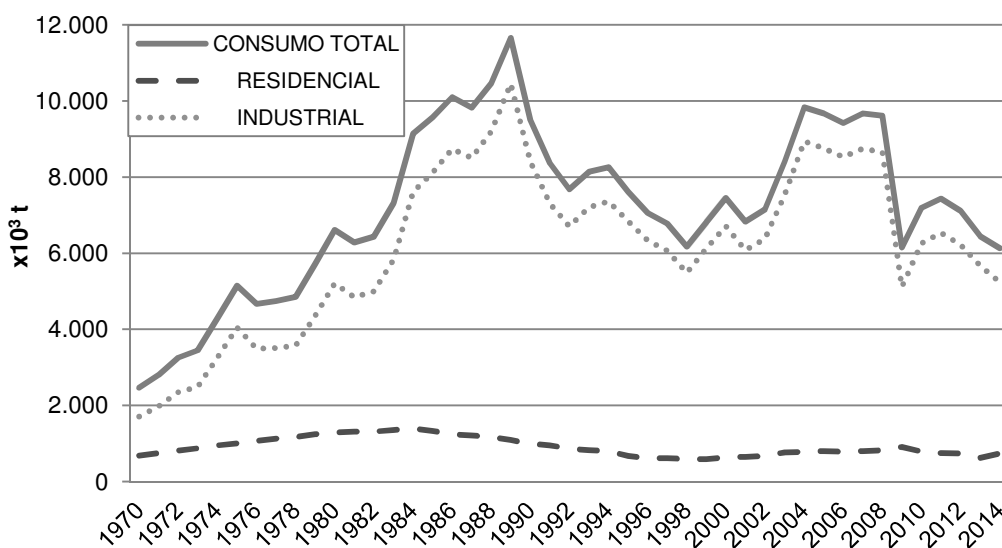
O uso da madeira na matriz energética mundial é definido por muitas variáveis, tais como nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas e questões econômicas e ambientais envolvidas para cada país (BRITO, 2007). Para Cortez et al. (2009), a madeira é considerada como reserva estratégica de energia para o país que a possui, tendo como grande vantagem a produção desvinculada de crises econômicas e políticas, garantindo segurança de suprimento e uso.

Uma das maneiras mais comuns de aproveitar a biomassa é transformando-a em carvão vegetal. O Brasil é autossuficiente na produção de carvão vegetal e utiliza toda sua produção para consumo interno (EPE, 2016), além disso, não possui a cultura da utilização de carvão mineral, principalmente pela baixa disponibilidade deste combustível no país, restrito apenas a região Sul, e pela abundância de outras fontes para utilização energética, como biomassa e fontes hídricas (CHAVES, 2008). Assim, pela alta disponibilidade de matéria-prima florestal, grande parte do carvão para consumo interno tem origem vegetal.

A maior demanda por carvão vegetal no Brasil é para a indústria siderúrgica, que o utiliza como agente redutor na produção de ferro-gusa e aço, responsável pelo consumo de 70,23% de todo carvão disponível no país no ano de 2014. No mesmo ano, para fins residenciais, foi registrado o consumo de 740.164 toneladas de carvão vegetal, o que correspondeu a 12,06% do total utilizado no Brasil (EPE, 2016).

Segundo EPE (2016) a maior parte da energia consumida pelo setor residencial vem da eletricidade (45,8%), seguidos pelo gás liquefeito de petróleo (GLP) (26,4%) e lenha (24,6%). O carvão vegetal, por sua vez, representa apenas 1,9% desse montante. Enquanto isso, no setor industrial, ele é responsável por 3,9% do consumo total de energia (Figura 1).

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DE CARVÃO VEGETAL POR SETORES



FONTE: Adaptado de EPE (2016).

Para Carrieri-Souza et al. (2014) a produção de carvão vegetal no Sul do Brasil não é reconhecida como uma atividade oficialmente relevante, apesar de ser uma importante atividade geradora de emprego e renda para os agricultores. Segundo os autores, grande parte do carvão vegetal encontrado nos estabelecimentos comerciais hoje ainda é produzida de forma clandestina, que por sua vez, faz com que não haja assistência técnica para produtores e vendedores de carvão vegetal, em que a perspectiva de solucionar problemas de insalubridade, por exemplo, é reduzida. Além disso, quesitos de qualidade são pouco considerados, tornando a questão ainda mais preocupante.

Segundo Mota (2013), os pequenos produtores de carvão vegetal não têm acesso aos avanços tecnológicos, não possuem mão de obra qualificada e, muitas vezes, não possuem acesso às leis trabalhistas, fazendo que, geralmente, produzam carvão utilizando madeira nativa, ao passo que os grandes produtores possuem tecnologias, mão de obra qualificada e rígidas fiscalizações sobre a produção do carvão vegetal. Essa diferença faz com que a eficiência produtiva por esses dois tipos de produtores seja diferente, o que pode influenciar diretamente na qualidade do carvão vegetal produzido.

Uma das grandes complicações intrínsecas da falta de apoio técnico e financeiro aos pequenos produtores é a escolha do sistema de transformação da madeira em carvão vegetal. Segundo Sánchez (2010) e Cortez et al. (2009), essa escolha está condicionada ao nível de eficiência e de emissões desejado,

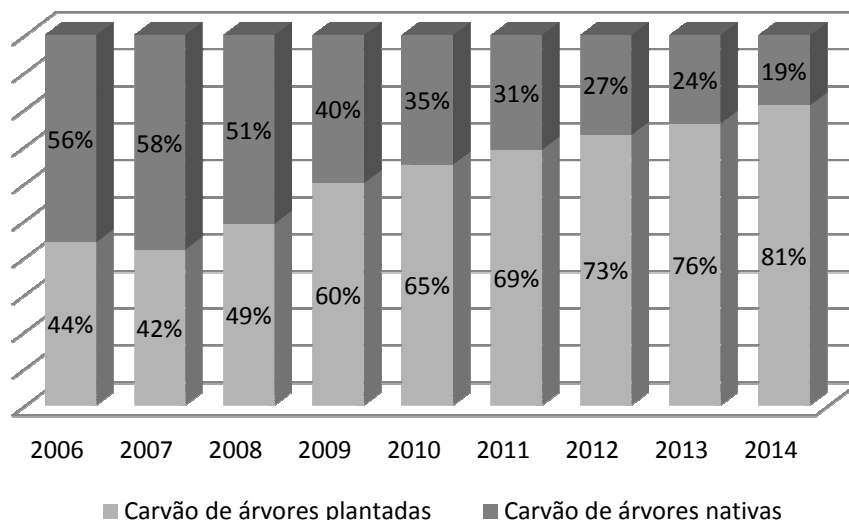
custo do investimento e de operação, além do espaço disponível para a alocação do sistema. Assim, devido à falta de incentivos ao setor, o produtor opta por um sistema visando lucratividade, o que faz com que outros fatores não sejam considerados, tais como as emissões geradas e a eficiência do forno.

A prática descrita acima traz consigo consequências ambientais negativas, que aliado ao modo de obtenção da matéria-prima pode ser ainda mais impactante. Segundo Nogueira e Lora (2003) a produção de carvão vegetal no Brasil se desenvolve basicamente de duas maneiras: a primeira, do modo tradicional, utilizando lenha cortada de florestas nativas; e a segunda utilizando lenha de floresta plantada. O grande obstáculo da produção tradicional é que em muitas situações, o uso de floresta nativa não é regulamentado, o que faz que o produtor adote métodos de extração clandestina de madeira.

A fiscalização da origem do carvão vegetal é feita através do Documento de Origem Florestal (DOF) e algumas características podem ser observadas a fim de identificar a origem dos produtos, através de variações na forma, comprimento, massa específica, entre outros. Características muito variadas em uma determinada amostra podem indicar origem nativa (VITAL et al., 2014).

Segundo o Instituto Brasileiro de Árvores (IBA), o consumo nacional de carvão vegetal é em sua maioria de origem plantada. Em 2006, o total correspondente de carvão utilizado proveniente de florestas nativas foi de 56%. Esse número decaiu ao longo dos anos, e em 2014 chegou a um total abaixo de 20% (IBA, 2015).

FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DE CARVÃO VEGETAL ORIUNDO DE FLORESTAS PLANTADAS E NATIVAS



FONTE: Adaptado de IBA (2015).

Ao contrário da tendência nacional, a produção de carvão vegetal no estado do Paraná se dá, em sua maioria pela extração vegetal, que correspondeu a 21.841 toneladas no ano de 2015, equivalente a 2,2% de toda produção brasileira. No mesmo ano, a produção de carvão vegetal com lenha de silvicultura foi de 18.812 toneladas, correspondente a 0,3% da produção do país (PARANÁ EM DADOS, 2015).

Segundo Vital et al. (2014), a identificação da origem do carvão vegetal (nativa ou plantada) é difícil, pois envolve a distinção de padrões sutis na anatomia do produto. Um carvão de origem de reflorestamento pode ser identificado geralmente quando apresentam um aspecto mais uniforme, já que a colheita se dá na mesma idade. O carvão de lenha nativa gera um produto com ausência de brilho nos carvões de menor diâmetro ou na periferia dos de maior diâmetro.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) o consumo de carvão vegetal de florestas plantadas cresceu 61,4% entre 2009 e 2012, passando de 11 milhões de mdc¹ em 2009 para 17,8 milhões de mdc em 2012. Entre os fatores citados, está a pressão constante dos grandes consumidores nacionais e internacionais, preferindo carvão de

¹ 1 mdc equivale a 1 m³ de carvão

áreas plantadas às nativas, aliado ao aumento das exigências nacionais através de leis e regulamentos (ABRAF, 2013).

Segundo ABRAF (2013), o setor de Siderurgia e Carvão Vegetal foi responsável em 2012 por 14.956 empregos diretos e 157.036 empregos indiretos no Brasil, apenas por florestas plantadas. Ainda segundo ABRAF (2013), o setor gerou naquele ano um total de 21.531 empregos diretos e 226.080 indiretos quando tratado florestas plantadas e nativas, o que indica que os empregos gerados pela utilização de florestas nativas no setor eram 43% do total gerado.

Segundo IBA, no ano de 2014, de um total de 7,74 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil, 15,2% foi correspondente ao setor destinado à siderurgia e carvão vegetal (IBA, 2014).

De acordo com Brand (2010), projetos de manejo de sistemas nativos direcionados para geração de energia possuem muitas restrições impostas aos produtores, o que faz com que desistam ou alterem o projeto, transformando-o em um projeto de uso alternativo do solo, onde há a substituição da vegetação nativa por uma cultura agrícola anual ou perene. Isso ocorre, principalmente, porque o órgão responsável pela liberação do manejo florestal é o IBAMA, enquanto de substituição do solo é o Ministério da Agricultura, onde os processos são mais ágeis. Segundo a autora, a opinião pública e a ação de órgãos não governamentais, são agravantes da situação, principalmente ao transformar a floresta em carvão vegetal, já que a visão pública brasileira é negativa acerca do processo produtivo do carvão vegetal.

Em contrapartida ao prejuízo causado pela extração ilegal de lenha, é grande o potencial de substituição do carvão de florestas nativas pelo carvão de florestas plantadas no país, já que o Brasil é muito propício para implantação destas, especialmente para as espécies do gênero *Eucalyptus* spp. (MOTA, 2013). Além de *Eucalyptus* spp., o *Pinus* é outro gênero muito utilizado para produção de carvão vegetal. O Paraná é o terceiro estado com maior concentração de plantios florestais, estando atrás de Minas Gerais e São Paulo, e em sua maioria as florestas plantadas do estado são de *Pinus* (75,8%) (ABRAF, 2013).

Aragão et al. (2008), em seu estudo sobre consumo de lenha pela atividade cerâmica demonstraram que há uma dificuldade cada vez maior para

obtenção de lenha e discutiram que a implantação de florestas para utilização energética está se tornando cada vez mais necessária. Isso pouparia a utilização de florestas nativas, que vem sendo utilizadas indiscriminadamente.

Apesar dos inúmeros casos de desmatamento para produção de carvão vegetal, a grande maioria do setor é dita como vantajosa no contexto ambiental. O carvão vegetal quando comparado ao carvão mineral, apresenta grandes vantagens: é uma forma renovável de energia, possui um menor teor de enxofre, é mais barato, emite menos CO₂, uma vez que emite apenas o que sequestrou durante o crescimento da planta, evita o êxodo rural e possui uma logística menos exigente (SILVA, 2008).

Domesticamente, o carvão vegetal é utilizado para aquecimento, em lareiras, por exemplo, e, principalmente, para cocção de alimentos, como churrasco, alimento de grande importância cultural do país (DIAS JÚNIOR et al. 2015). Isso faz com que seja essencial a produção de um carvão vegetal com qualidade para que não haja prejuízos para quem o utiliza.

Segundo Penisse et al. (2001), no processo de carbonização de lenha para transformação em carvão vegetal pode haver a liberação de mais de 130 substâncias tóxicas, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, que podem causar câncer, mutações genéticas e alteração no funcionamento do sistema endócrino. Segundo Rosa (2010), se a lenha for muito heterogênea, algumas peças, no processo de carbonização, podem não ser transformadas completamente, sendo que uma grande concentração de materiais voláteis pode ainda estar presente nessas peças, chamadas de “atiços”. Submeter essas peças ao processo de degradação térmica para, por exemplo, preparar alimentos, pode liberar essas substâncias tóxicas.

O controle da produção de carvão vegetal é dificultoso principalmente em estados onde há carência de legislações que amparem o consumidor, como é o caso do Paraná, onde as cadeias de produção são variadas, dificultando ainda mais a rastreabilidade do produto. Segundo Batalha e Silva (2007), cadeia produtiva pode ser definida como a soma de todas as operações realizadas para transformar uma matéria-prima em um produto final nas mãos de um usuário, ou seja, envolve todas as etapas de produção, comercialização e transporte.

A realidade da produção do carvão vegetal é praticamente desconhecida pelos consumidores e até mesmo pelos órgãos oficiais o que faz que políticas públicas voltadas a realidade sejam não pensadas (CARRIERI-SOUZA et al., 2014).

Segundo Carrieri-Souza et al. (2014) os principais atores da cadeia produtiva do carvão vegetal são:

- Produtor de carvão vegetal: que pode adquirir o carvão vegetal de terceiros ou produzir sua própria matéria-prima;
- Intermediário do carvão vegetal em embalagens informais: que adquire carvão vegetal de produtores e revende a estabelecimentos varejistas ou churrascarias, em embalagens informais;
- Intermediário embalador: que compra carvão vegetal de produtores e o acondiciona em embalagens formais. O intermediário pode ser tanto uma microempresa quanto um produtor que irá vender o produto com nota fiscal de produtor rural. Este tipo de ator pode tanto vender diretamente aos estabelecimentos varejistas (atuando também como distribuidores), como também pode vender o carvão vegetal a um segundo intermediário;
- Intermediário distribuidor: este ator possui marca própria de carvão vegetal e paga ao intermediário embalador para que encha suas embalagens com carvão vegetal. Assim, o produto fica pronto para distribuição em estabelecimentos varejistas.

Segundo Mota (2013) a cadeia produtiva do carvão vegetal para uso siderúrgico pode ser caracterizada de acordo com seus fatores críticos. Esses fatores cabem também ao setor voltado para o uso doméstico que, segundo o autor, podem ser classificados em:

Fatores críticos tecnológicos

- Falta de material genético adequado para a produção de carvão vegetal;
- Alto custo de fertilizantes;
- Alto custo de máquinas e equipamentos na colheita florestal;
- Deficiência no manejo florestal;
- Falta de reaproveitamento de gases dos fornos de produção;

- Baixa qualidade da madeira;
- Pouco desenvolvimento e incorporação de novas tecnologias;
- Baixo rendimento dos fornos utilizados para produção de carvão vegetal.

Fatores críticos não tecnológicos

- Falta de mão de obra qualificada;
- Elevados encargos sociais e impostos;
- Baixa produção de carvão vegetal oriundo de floresta plantada.

Fatores críticos de mercado

- A falta de planejamento de suprimento do carvão vegetal pelas siderúrgicas;
- Aquisição e uso de carvão vegetal oriundo de mata nativa;
- Qualidade do carvão vegetal (teor de finos) e;
- Aumento da produção de ferro provocado por preços favoráveis no mercado internacional.

Brito (1990) cita que grande parte da produção nacional de carvão vegetal ainda está baseada na utilização de tecnologias de produção pouco eficientes, com baixo controle operacional e com quase nula preocupação com recuperação de gases emitidos durante o processo. Hoje, isso ainda é uma realidade no Brasil, pois os gases emitidos no processo representam produtos químicos com grande valor agregado (principalmente o alcatrão), e que, se recuperados trazem também grandes vantagens ambientais, já que estes podem ser transformados em insumos químicos e energéticos.

Mota (2013) destaca que para aumentar o desempenho produtivo na produção de carvão vegetal é essencial que se adote inovações tecnológicas que atendam pontos como qualidade, sustentabilidade, eficiência produtiva, competitividade da cadeia, conhecimento da demanda e consumo e condições socioeconômicas dos produtores de madeira e/ou de carvão vegetal. Assim, segundo o autor, será possível criar políticas públicas para incentivar plantios florestais, melhorar o acesso ao crédito rural, entre outros incentivos que serão

primordiais para o sucesso ou o fracasso do programa de incentivo à produção de carvão vegetal.

Simioni e Hoeflich (2010) afirmam que para um melhor aproveitamento da cadeia produtiva da biomassa é necessário investimentos, principalmente em pesquisas, desenvolvimento de novas tecnologias e capacitação de mão de obra, visando uma melhora na eficiência do uso das matérias-primas florestais. Ainda, segundo os autores, há uma necessidade de reorganização do processo de obtenção de matéria-prima florestal, que deve visar também o aproveitamento dos resíduos sólidos gerados para a produção de energia. Mota (2013) afirma que para que o país mantenha sua produtividade de carvão vegetal, é essencial o aumento da área florestal plantada, uso tecnologias mais avançadas e aprimorar a estratégia ambiental. Nesse contexto são essenciais apoio e estratégia política.

Apesar de vários autores citarem o caminho a ser seguido para que haja uma melhora em toda a cadeia produtiva do carvão vegetal, o cenário atual brasileiro ainda está longe disso. Entre os pontos mais negativos está ainda a grande utilização de florestas nativas, baixa condição socioeconômica e de trabalho de grande parte dos produtores, clandestinidade e falta de investimentos (Simioni e Hoeflich, 2010; Mota, 2013).

A atividade carvoeira é predominantemente realizada por homens (Lustosa Júnior, 2014). Além disso, a atividade é caracterizada pela baixa escolaridade dos trabalhadores. No trabalho de Lustosa Júnior (2014) 78% dos trabalhadores de uma carvoeira do Piauí possuíam ensino fundamental incompleto. Pimenta et al. (2006) fizeram um estudo sobre as condições ergonômicas na atividade de produção de carvão vegetal em fornos do tipo “rabo-quente”. No seu estudo, 40% dos entrevistados sentiam dor em alguma parte do corpo após o término da jornada de trabalho, e 30% sentiam muito cansaço físico, sendo que a maioria dos trabalhadores sentem maiores dores nas costas do que em outras partes do corpo. Ainda, segundo o seu estudo, dos trabalhadores estudados, 75% possuíam o primeiro grau incompleto e 20% nenhum grau de escolaridade. Porém, o Índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG), que avalia os limites de tolerância para que o trabalhador não sofra maiores danos no seu período laboral, estava dentro dos limites estabelecidos pela NR-15.

Segundo Sampaio (2008) a atividade ainda é vista também negativamente pelos moradores da cidade onde a carvoaria está instalada, já que o lucro gerado é dividido muitas vezes por moradores que não são do próprio município, gerando poucos benefícios para a localidade.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL E RELAÇÃO COM A QUALIDADE

Há muitas maneiras de classificar os recursos energéticos da biomassa. Quando associados aos biocombustíveis, os recursos podem ser classificados em dendrocombustíveis, agrocombustíveis e resíduos urbanos. Os dendrocombustíveis são os combustíveis que utilizam a biomassa lignocelulósica e seus produtos. Uma das principais matérias-primas para a produção de dendrocombustíveis é a madeira (lenha) (CORTEZ et al., 2009)

A madeira pode ser dita como uma fonte primária de energia, já que é obtida diretamente da natureza. Já o carvão vegetal é uma fonte secundária, pois é um produto resultante da conversão de um combustível primário que é a lenha (CORTEZ et al., 2009). O carvão vegetal é também classificado como um dendrocombustível de uso indireto da madeira, já que é um subproduto da exploração florestal, resultante do processamento da madeira através de um processo termoquímico (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Para Brito e Barrichelo (1981) o carvão vegetal é o termo usado para designar o produto sólido gerado pelo processo de carbonização da lenha. Segundo os autores, o rendimento da transformação de lenha seca em carvão vegetal gira em torno de 25 a 35%.

Para Nogueira e Lora (2003) o carvão vegetal é o produto obtido do processo de carbonização, ou pirólise lenta, que tem como objetivo converter a lenha em um combustível mais homogêneo, com menor teor de umidade e com uma maior densidade energética.

A pirólise é o processo onde ocorre a degradação térmica da biomassa em ausência total ou quase total de agente oxidante a temperaturas relativamente baixas, transformando-a em outros combustíveis, que podem ser tanto sólidos, líquidos ou gasosos (NOGUEIRA E LORA, 2003). Assim:

Pirólise: Biomassa + calor → carvão vegetal + gases + alcatrão + condensáveis

Segundo Nogueira e Lora (2003), diferentes condições de temperatura e tempo de residência do processo de pirólise, afetam diretamente no tipo de produto resultante e a proporção das fases líquida, sólida e gasosa. Como possível verificar na Tabela 1, ao passo que a taxa de aquecimento aumenta, em geral, é favorecido a formação de fração líquida e gasosa a partir da biomassa, enquanto que se mantida uma taxa de aquecimento baixa com alto tempo de residência, é favorecida a fração sólida.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DAS TECNOLOGIAS PARA PIRÓLISE DA BIOMASSA

TECNOLOGIA	TEMPO DE RESIDÊNCIA	TAXA DE AQUECIMENTO	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	PRODUTO PRINCIPAL
Carbonização Convencional	Horas-dias	Muito pequena	400	Carvão vegetal
Rápida	5-30 min	Pequena	600	Gás e líquido
Flash	0,5 - 5 s	Intermediária	650	Gás e líquido
Ultrarrápida (Gaseificação)	<1 s	Alta	<650	Gás e líquido
A vácuo	< 0,5 s	Muito alta	1000	Gás e líquido
	2 - 30 s	Intermediária	400	Gás e líquido

FONTE: BRIDGEWATER (1991) *apud* NOGUEIRA E LORA (2003).

Para uma mesma espécie vegetal, quanto maior sua temperatura de carbonização menor será o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, em consequência da maior exposição da matéria ao processo de degradação térmica, assim, haverá maior emissão de gases nas maiores temperaturas de pirólise (MACHADO, VOGEL e SILVA, 2014).

Segundo Nogueira e Lora (2003), em laboratório na carbonização controlada da lenha (a 450°C), a cada 100 kg de lenha seca, 42 kg se transformam em carvão vegetal, 20 kg em gases não condensáveis, 35,5 em ácido pirolenhoso e 4,5 em alcatrão. Em processos mais eficientes é verificado um controle de temperatura e recuperação do material volátil, aumentando a porção de carvão vegetal produzido, porém, o rendimento de produção do carvão vegetal está intrinsecamente relacionado ao nível de tecnologia utilizada.

Para Sánchez (2010) e Pennise et al. (2001) a produção específica de carvão vegetal constitui em uma fonte de poluentes atmosféricos, tais como monóxido de carbono e dióxido de carbono, entre outros gases de efeito estufa.

Segundo Machado (2015) na carbonização ocorre o escurecimento da lenha, o aumento da concentração de carbono, que passa de aproximadamente 50% na madeira para valores até superiores a 80% no carvão, e o aumento do poder calorífico, que na madeira seca observa-se valores de aproximadamente 4500 kcal/kg e no carvão vegetal pode chegar a 8000 kcal/kg. Além disso, ocorre também a redução da resistência mecânica, tornando o carvão mais friável que a madeira, a diminuição da densidade e da hidrosopicidade, o aumento da porosidade e do carbono fixo e a diminuição do teor de voláteis (Tabela 2).

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL

MADEIRA	CARVÃO VEGETAL
50% de C	87% de C
6% de H	2% de H
43% de O	4% de O
1% de cinzas	7% de cinzas
Teor de umidade aproximado 30%	Teor de umidade máxima 7%

FONTE: NOGUEIRA E LORA (2003).

O método de obtenção do carvão será determinado de acordo com o uso final deste. De acordo com Brito e Barrichelo (1981) existem diversos tipos de carvão vegetal, entre eles para uso doméstico, carvão metalúrgico, carvão para gasogênio, carvão ativo, carvão para indústria química, entre outros. Especificamente, para uso doméstico, o carvão não deve ser muito duro, deve ser facilmente inflamável e ter baixo teor de emissão de fumaça, e pode ser facilmente obtido nas temperaturas entre 350°C a 400°C.

Segundo Carvalho et al. (2012) é difícil chegar a um consenso sobre a definição do termo qualidade. Há diversas abordagens diferentes que podem definir o tema. A qualidade de um produto, resumidamente pode ser dita como uma variável precisa e mensurável, originária das características deste. Quando baseado no usuário o termo qualidade se torna uma variável subjetiva, onde produtos com melhor qualidade atendem melhor aos desejos do consumidor.

Uma das principais preocupações na produção de carvão vegetal é quanto à garantia de qualidade, pois pode ser influenciada por vários fatores.

Um carvão vegetal com baixa eficiência produtiva, obtidos principalmente por pequenos produtores que possuem um menor controle do processo de produção, produzirá um carvão de baixa qualidade, já que geralmente este possui uma menor retenção de carbono em conjunto com uma maior quantidade de substâncias tóxicas liberadas na atmosfera (MOTA, 2013).

Algumas propriedades do carvão vegetal estão intrinsecamente relacionadas à sua capacidade de disponibilidade de energia, e assim, relacionam-se também a qualidade do produto em si. Teor de umidade, poder calorífico, composição química, friabilidade, densidade e porosidade são as características mais determinadas a fim de estabelecer o nível de qualidade do carvão vegetal (OLIVEIRA et al. 2015).

Para Nogueira e Lora (2003), a qualidade do carvão vegetal é determinada por suas propriedades físicas e químicas. Para os autores, a composição química da madeira usada como matéria-prima para produção do carvão vegetal tem influência direta sobre a qualidade final do produto.

Segundo Mota (2013), a preocupação do pequeno produtor de carvão vegetal é com a venda do produto, e não há preocupação quanto à qualidade, rendimento ou origem da madeira. Para que haja uma melhora na qualidade do produto final, segundo a autora, é necessário que haja uma melhora em toda a cadeia produtiva do carvão vegetal, melhorando aspectos de qualidade, eficiência produtiva, sustentabilidade e adoção de inovações tecnológicas.

Para Rosa (2010), a estocagem do carvão vegetal é um dos fatores que influenciam na qualidade do mesmo. Segundo o autor supracitado, a maioria dos distribuidores aloca o carvão vegetal perto do setor de frios como estratégia de venda e não se importa com a influência disso sobre a qualidade do produto.

De acordo com Brito (1993) uma forma bastante simplista de verificar um carvão vegetal dito de “qualidade” é verificando se ele apresenta ruído metálico ao ser quebrado, se possui uma superfície de ruptura curva, lisa e sedosa, se é inodoro, duro, queima sem desprender fumaça, fagulha ou cheiro e se possui cor negra e brilhante.

Segundo Brito (1993), o teor de umidade no carvão vegetal deve ser o mais reduzido possível, do contrário, o rendimento no consumo do carvão vegetal será afetado negativamente, necessitando assim mais carvão para

gerar uma certa quantidade de calor, já que quanto maior a umidade, maior o calor necessário para a evaporação da água contida no carvão. Para Silva (1988), a umidade depende naturalmente das condições meteorológicas e do tipo de armazenamento, porém, possui influência direta nos rendimentos dos processos a qual está direcionado.

De acordo com Brito et al. (1982), a densidade do carvão vegetal é uma das características mais importantes para determinação de sua qualidade, e deve ser a maior possível, ocupando menor espaço nos equipamentos em que será utilizado. A Densidade Relativa Aparente (DRA) considera os poros de cada carvão, enquanto na Densidade Relativa Verdadeira (DRV) é descontado o volume ocupado pelos poros.

O carbono fixo pode ser dito como a quantidade de carbono contida no material (carvão vegetal) após o tratamento térmico, enquanto as cinzas são correspondentes a parcela de material inorgânico ou impurezas contidas no material (MACHADO, VOGEL e SILVA, 2014). Segundo Silva (1988) a análise química imediata, que determina Teor de Materiais Voláteis (TMV), Teor de Carbono Fixo (TCF) e Teor de Cinzas (TCZ) é diretamente ligada a temperatura de carbonização e espécie da madeira.

O poder calorífico, dito como unidade de energia disponível por unidade de massa do material, está diretamente ligado ao teor de cinzas e ao teor de carbono fixo. Segundo Machado, Vogel e Silva (2014) quanto menor o teor de cinzas e maior o carbono fixo, maior será o poder calorífico do material.

Desde a produção, até o uso final, no decorrer da cadeia produtiva, devido ao movimento das embalagens e do produto, o carvão vegetal gera finos, resíduos que dificilmente são aproveitados na queima do produto. Segundo Oliveira et al. (1982) é estimado que a porcentagem de produção de finos, seja de 25 a 30% entre a produção e o consumo final. O índice que determina a facilidade de quebra do carvão é também chamada de friabilidade.

O teor de finos é uma característica importante na avaliação da qualidade de carvões vegetais. Em geral, um carvão vegetal com maiores temperaturas de carbonização, será também de maior friabilidade. Do mesmo modo, um carvão com maior resistência, irá gerar um menor teor de finos ao longo da cadeia, demonstrando integridade, favorecendo no transporte,

manuseio e reduzindo a perda de material (MACHADO, VOGEL e SILVA, 2014).

Deste modo, para que o carvão vegetal seja considerado de boa qualidade, deve possuir baixa umidade, baixa emissão de voláteis, alto teor de carbono fixo, baixo teor de cinzas, baixa friabilidade e alta densidade básica.

Um dos modos sugeridos para verificação da qualidade do carvão vegetal é através do Índice de Valor Combustível (IVI) ou *Fuelwood Value Index* (FVI). Segundo PUROHIT e NAUTIYAL (1987) o índice pode ser definido como uma relação entre o PCS a densidade básica, as cinzas e o teor de umidade. Ele foi concebido com o objetivo de identificar qual espécie apresentaria melhor qualidade ao ser utilizada como combustível considerando características variadas da madeira. Segundo Mayer (2016) a utilização do FVI é adequado para o ranqueamento da qualidade energética de espécies florestais, porém, segundo ela, são necessários mais estudos aprofundados para que haja um maior uso corrente. Tendo em vista isso, o FVI pode ser um Índice utilizado também na classificação da qualidade do carvão vegetal.

2.3 LEGISLAÇÕES VIGENTES SOBRE O COMÉRCIO DE CARVÃO VEGETAL PARA USO DOMÉSTICO

Segundo Brand (2010), políticas e legislações bem definidas são vitais para incentivar o uso da biomassa florestal para a geração de energia, já que orienta os órgãos ambientais para o controle das atividades relacionadas à cadeia de produção.

O estado do Paraná, não possui normas de qualidade do carvão vegetal utilizado domesticamente. Algumas legislações estabelecem a origem do carvão vegetal, condições para sua produção, informações das embalagens e documentos necessários para produção e transporte.

Segundo a Lei 11054 - 11 de janeiro de 1995 que dispõe sobre a Lei Florestal do Estado do Paraná, é dito que, em florestas plantadas, que não são consideradas de preservação permanente e não vinculadas a reposição florestal obrigatória, é livre a exploração da lenha e demais produtos inclusive a fabricação de carvão vegetal. Se houver transporte dos produtos gerados, é necessário o acompanhamento da declaração de origem e para a utilização de

espécies consideradas em extinção é necessário uma vistoria prévia, que comprove que o plantio foi realizado para fins econômicos.

Segundo a Resolução SEMA nº 072 - 22 de outubro de 2009 que dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos industriais no Paraná, dispõe que empreendimentos até 5 (cinco) fornos de carvão vegetal, com capacidade máxima de processamento de 20 m³/mês de lenha/forno são passíveis de licenciamento ambiental simplificado. Essa resolução especifica que não são permitidas instalações de fornos para esta finalidade em áreas urbanas.

Pela resolução conjunta IBAMA / SEMA / IAP nº 47, de 28 de setembro de 2007 foram estabelecidas normas e procedimentos para regularização ambiental de produção e transporte de carvão de origem vegetal no estado do Paraná. Na resolução fica estabelecida que a produção é considerada legal quando o produtor possuir Licenciamento Ambiental emitido pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP). Para isso, deve-se ter uma comprovação da origem da matéria prima. Se o carvão for proveniente de floresta nativa, deve apresentar autorização florestal ou Manejo Florestal de Bracatinga, se for oriundo de plantações florestais com essências nativas deve apresentar informação de corte, e se for proveniente de plantios florestais com essências exóticas e dos resíduos florestais da sua exploração deve-se apresentar nota fiscal e/ou contrato de compra e venda (PARANÁ, 2007).

Segundo essa mesma Resolução, o transporte de resíduos originados do processamento industrial da madeira proveniente de florestas nativas, destinadas a produção de carvão vegetal, deve estar acompanhado de documento de transporte – DOF. Se o carvão estiver empacotado, não é necessário o DOF desde que nas embalagens contenha a seguintes informações:

- Registro da empresa empacotadora junto ao IBAMA e IAP;
- Origem do produto, se de origem nativa ou exótica;
- Se é proveniente de resíduo da industrialização da madeira;

Essas normas e resoluções não definem quesitos mínimos de qualidade do carvão vegetal comercializado no Estado do Paraná. Diferentemente deste estado, o Estado de São Paulo, criou o Selo Premium, aprovando por meio da Resolução SAA - 10, de 11-7-2003, padrões e normas

para que o carvão vegetal produzido atinja um nível de qualidade mínima para ser comercializado (SÃO PAULO, 2003). A Norma PMQ 3-03 desta Resolução define que o Carvão Vegetal Premium deve ter origem de florestas plantadas, e deve ser submetido ao processo de carbonização em fornos especiais para que o produto não apresente madeira semicarbonizada (atiços). Além disso, a Resolução especifica que a análise imediata deve indicar um teor de carbono fixo acima de 75%, cinzas abaixo de 1,5% e umidade abaixo de 5%.

Segundo a Resolução, Carvão Vegetal Premium é aquele oriundo de madeira de floresta plantada, submetida ao processo de carbonização em fornos específicos para este fim. Todos os processos de adequação de tamanho, peneiramento, separação de pó e impurezas, avaliação da qualidade, pesagem e embalagem, devem ser realizadas dentro do Estado de São Paulo, independente do local de origem.

O Selo Premium determina ainda que as condições de conservação, manuseio, armazenamento, embalagem e expedição não devem influenciar negativamente na qualidade dos produtos finais. Além disso, a rastreabilidade da matéria-prima (origem, tipo, lotes, datas e testes realizados, termo de responsabilidade do produtor, etc.), aspectos de preservação ambiental, segurança do trabalho, e o não utilizar mão de obra infantil, são pontos especificados na Resolução.

Ainda em São Paulo, a Resolução SMA nº 40, de 5 de junho de 2012, estabelece normas sobre fiscalização, transporte, armazenamento e comércio de carvão vegetal no para o estado (SÃO PAULO, 2012). Essa resolução leva em consideração diversas leis, tais como o novo Código Florestal, a Lei de reposição florestal do estado de São Paulo, a Política Estadual de Mudanças Climáticas, etc. e visando coibir o comércio ilegal de carvão vegetal para impedir o desmatamento, diminuir os impactos de emissões de gases por fornos não licenciados.

A resolução proíbe o transporte e armazenamento de carvão vegetal para uso doméstico desacompanhado de Documento de Origem Florestal (DOF) quando oriundo de florestas nativas. Quando de origem plantada, a mercadoria deve estar acompanhada de comprovante do cadastro eletrônico de controle de Reposição Florestal. Cabe, conforme a Resolução, ao produtor,

transportador, empacotador, distribuidor ou comerciante comprovar a origem do carvão vegetal que estiver sobre sua posse.

Atualmente é o único estado brasileiro que possui normas concretas que estipulem uma qualidade mínima para consumo doméstico e por esse motivo, muitos trabalhos tomam como referência de qualidade os valores estipulados pelo Selo Premium, tais como Nisgoski et al. (2014), Oliveira et al. (2015), Rosa et al. (2012), Brand et al. (2015), Jacinto (2014), etc.

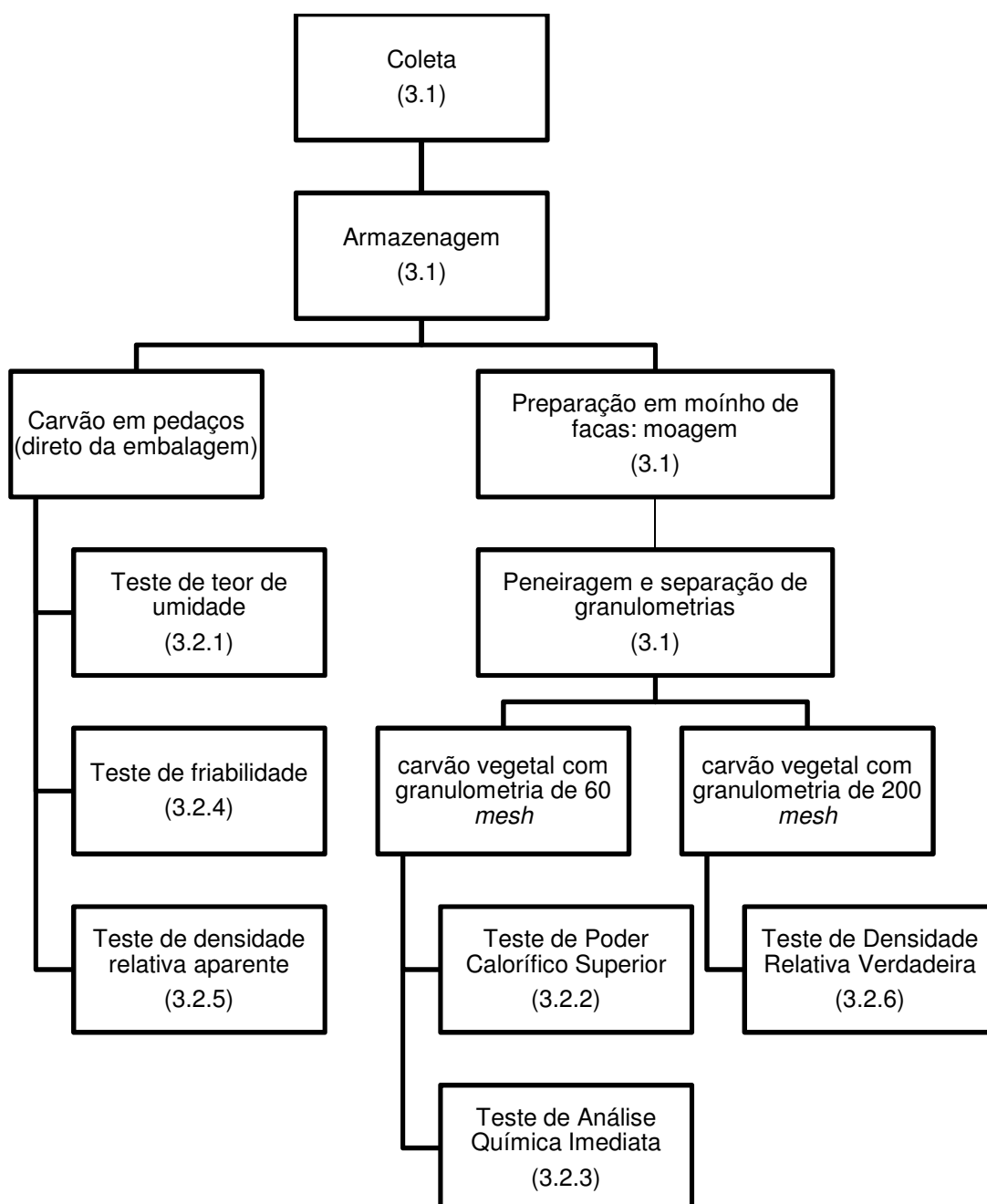
O estado de Minas Gerais possui um sistema de Selos que possibilita ao consumidor a rastreabilidade e a fácil visualização da origem florestal do carvão vegetal. A Resolução SEMAD/IEF nº 1658, de 27 de julho de 2012 de Minas Gerais institui o Selo de Origem Florestal –SOF e o Selo de Origem Florestal para Exportação – SOFEX. Esse selo, de modo geral, facilita o rastreamento e o conhecimento do conteúdo da embalagem. O Selo deve possuir um código de barras formato QRCODE com as informações de CPF ou CNPJ do empacotador; peso do pacote; número da autorização ou licença ambiental; lote; número da nota fiscal; sequência numérica; essência do carvão vegetal. A essência pode ser verificada mais facilmente através da visualização da parte externa do Selo, que é de cor verde para “Carvão vegetal de origem Plantada” e de cor vermelha para “Carvão Vegetal de origem Nativa” (MINAS GERAIS, 2012).

Além do selo, as embalagens devem conter informações do empacotador, como nome e razão social, endereço da empresa empacotadora, CPF ou CNPJ, número de registro no órgão ambiental competente, peso do conteúdo e essência do carvão (plantado ou nativo) (MINAS GERAIS, 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para melhor visualização das etapas adotadas na metodologia, foi elaborado um fluxograma que ilustra todos os passos adotados desde a coleta das amostras até a realização dos testes no carvão vegetal (Figura 3).

FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE COLETA, AMOSTRAGEM, PREPARO DAS AMOSTRAS E TESTES REALIZADOS EM CADA FASE DO PROCESSO E SINALIZAÇÃO DO ITEM ONDE PODE SER VERIFICADO NO TRABALHO



FONTE: Autora (2017)

3.1 COLETA, ETIQUETAGEM, ARMAZENAMENTO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Amostras de carvão vegetal de 15 marcas foram adquiridas em diferentes estabelecimentos comerciais localizados em diferentes bairros da cidade de Curitiba, estado do Paraná (Tabela 3). Para a aquisição das amostras, buscou-se aleatoriedade na compra, porém, ao ser verificado um estabelecimento comercial que oferecia uma marca já adquirida, procurou-se outro no mesmo bairro com uma marca diferente. Buscou-se também adquirir marcas com variabilidade de preços, e para isso variou-se os tipos de estabelecimentos, como postos de gasolina, casa de carnes, mercados, mercearias, entre outros (Tabela 3).

TABELA 3 – TIPO DE ESTABELECIMENTOS ONDE FORAM ADQUIRIDAS AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL NA CIDADE DE CURITIBA.

AMOSTRA	TIPO DE ESTABELECIMENTO
1	Posto de gasolina
2	Mercado
3	Casa de carnes
4	Hipermercado
5	Panificadora
6	Posto de gasolina
7	Panificadora
8	Posto de gasolina
9	Mercearia
10	Posto de gasolina
11	Supermercado
12	Mercado
13	Frutaria
14	Mercearia
15	Mercearia

FONTE: AUTORA (2017).

Para evitar perda de umidade originalmente contida nas amostras, o carvão vegetal foi, logo após a compra, acondicionado em um saco plástico, lacrado e etiquetado, de modo a manter as condições iniciais dos postos de venda. Além disso, tomou-se nota de todas as informações que estavam disponíveis nas embalagens, como informações de preço, data de fabricação, endereço do fabricante, origem do carvão vegetal, volume e/ou peso, presença de alça e acendedor, registro em órgãos ambientais de âmbito estadual e/ou federal e utilizadas para avaliação das amostras.

As amostras foram preparadas para sua avaliação mecânica, física e química de acordo com as normas indicadas para cada análise que serão descritas a seguir. Como passo inicial, uma amostra representativa de aproximadamente 0,5 kg foi tomada de cada marca de carvão vegetal e, com ajuda de um moinho de facas, foi moída e preparada para as análises (Figura 4).

FIGURA 4 - AMOSTRA DE CARVÃO VEGETAL SENDO MOÍDA EM MOINHO DE FACAS



FONTE: Autora (2017).

Depois de moído o carvão vegetal foi acondicionado em sacos plásticos. Para testes onde foi necessária granulometria específica, a amostra preparada no moinho de facas foi peneirada. Assim foram obtidas granulometrias específicas (60, 80, 100 ou 200 mesh) para os testes de densidade relativa aparente, densidade relativa verdadeira, poder calorífico superior e análise química imediata.

3.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS AMOSTRAS

A análise das amostras foi realizada no Laboratório do Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa (BIOFIX) e no Laboratório de Energia da Biomassa, localizados no Campus Botânico da Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba.

3.2.1 Teor de umidade

Para o teste de teor de umidade, foi utilizado o procedimento descrito na norma NBR 14929 (ABNT, 2003). Utilizou-se uma balança com sensibilidade 0,01 g, uma estufa com circulação de ar forçada e béqueres com capacidade para 500 mL e 200 g de carvão vegetal por repetição. O experimento foi realizado em triplicata para cada amostra.

3.2.2 Poder Calorífico Superior

Para o teste do Poder Calorífico Superior (PCS) utilizou-se um calorímetro modelo C 5000 control da IKA® seguindo as normas estabelecidas da ASTM D5865 (ASTM, 2013) (Figura 5), com carvão vegetal a uma granulometria de 60 mesh.

FIGURA 5 – CALORÍMETRO ADIABÁTICO UTILIZADO PARA TESTE DE PODER CALORÍFICO SUPERIOR



FONTE: Autora (2017).

Esse equipamento é utilizado para determinar o calor de combustão de processos orgânicos, sendo constituído por uma câmara de combustão onde o produto analisado é inserido juntamente com uma fonte de ignição, que fornece calor para a água que envolve a câmara ao iniciar a combustão. Essa variação da temperatura da água é aferida e então o calor fornecido pelo reagente é calculado (IKA, 2016).

3.2.3 Análise Química Imediata

Na Análise Química Imediata (AQI), é possível verificar o teor de voláteis, o teor de carbono fixo e o teor de cinzas das amostras. Essas análises foram feitas baseando-se na norma ASTM D1762-84 (ASTM, 2013). Para isso foram utilizados cadinhos, balança analítica, mufla com controle de temperatura e recipientes hermeticamente fechados (dessecadores). Foram utilizadas amostras de carvão vegetal com granulometria de 60 mesh (250 μm), com mufla a temperatura de 900 °C para determinação do teor de voláteis e 700°C por 6 horas para determinação do teor de cinzas e teor de carbono fixo.

3.2.4 Índice de quebra e abrasão (Friabilidade)

Para a determinação do índice de quebra (abrasão) ou grau de friabilidade do carvão vegetal realizou-se o teste de tamboreamento, tomando como base a NBR 8740 (ABNT, 1985) em conjunto com metodologia descrita por Oliveira et al. (1982). Para isso foi utilizado um cilindro rotativo de 30 cm de diâmetro e 25 cm de comprimento, fixo em um eixo horizontal, acoplado a um conjunto motor que permite o giro do cilindro. Para os testes utilizou-se aproximadamente 500 g de amostra com granulometria acima de 32 mm, que foi colocada em um tambor rotativo e submetida a 30 rpm (Figura 6).

FIGURA 6 - TAMBOR ROTATIVO COM MOTOR ACOPLADO COM CONTROLE DE VELOCIDADE PARA TESTE DE TAMBOREAMENTO



FONTE: Autora (2017)

Após 500 rotações, o material foi retirado, peneirado e a parte correspondente à quantidade retida pela malha utilizada (13 mm) foi pesada. Considerou-se como finos a parcela da amostra que passou pela peneira, ou seja, com granulometria abaixo a 13 mm.

O índice de quebra foi então obtido por meio através da equação:

$$Tf(\%) = \frac{f}{F} \times 100 \quad (1)$$

Em que: Onde Tf é o Teor de finos (%), f é a massa de amostra retida na peneira de 13 mm após o ensaio e F é a massa da amostra antes do ensaio.

Para a classificação dos resultados, utilizou-se a seguinte escala (Tabela 4), conforme sugerida por Oliveira et al. (1982) para o teste utilizando uma peneira de 20 mm.

TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ACORDO COM SUA FRIABILIDADE SEGUNDO OLIVEIRA et al. (1982).

	% de Perda (abaixo de 20mm)
Muito Friável	≥30
Bastante friável	25-29
Friabilidade média	15-24
Pouco friável	10-15
Muito pouco friável	<10

FONTE: OLIVEIRA et al. (1982).

3.2.5 Densidade Relativa Aparente

Para a determinação da Densidade Relativa Aparente (DRA) foi utilizada como base a norma ASTM D-167-93 (ASTM, 1999) para carvão mineral, adaptada para carvão vegetal, em conjunto com a metodologia sugerida por Oliveira et al. (1982). Essas normas baseiam-se no princípio de Arquimedes, que consiste na teoria de que o volume de um sólido é igual ao volume deslocado por esse quando submerso em água. Assim, cerca de meio quilo de amostra de carvão, com granulometria não menor a 19 mm foi seco em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$, até atingir seu peso seco.

Foi utilizado um equipamento com 28 cm de diâmetro e 56 cm de altura, com uma válvula abre e fecha acoplada a 28 cm de altura. Além do equipamento foi necessário um cesto metálico cilíndrico de 25 cm de diâmetro por 15,5 cm de altura, e pesos para auxiliar a manutenção do carvão vegetal submerso em água durante o experimento.

Para a calibração, o cilindro contendo os pesos e o cesto foi preenchido com água. A válvula foi então aberta, fazendo com que a água acima do nível dela escorresse e, assim, qualquer objeto colocado posteriormente fez deslocar a água correspondente ao seu volume. Após a última gota cair e o cilindro estar completamente nivelado, a válvula foi fechada e o carvão foi inserido no cesto por um período de exatamente 15 minutos, evitando vazamentos de água e formação de bolhas de ar na superfície do carvão. Após o tempo estipulado a válvula do cilindro foi totalmente aberta, deixando escorrer a água deslocada pelo carvão para um recipiente coletor. Após a última gota de água deslocada cair no recipiente coletor, a válvula foi fechada, o recipiente coletor foi pesado, e então o carvão vegetal foi retirado da submersão, permitindo que drenasse por 1 minuto para retirar o excesso de água contido na superfície do carvão e então foi pesado.

O cálculo da densidade relativa aparente foi dado por:

$$DRA = \frac{A}{[B+(C-A)]} \quad (2)$$

Em que: DRA é a densidade (g.cm^{-3}), A é a massa seca do carvão vegetal (g), B é massa (g) de água deslocada pelo carvão vegetal seco e C é massa (g) do carvão molhado. Cerca de meio quilo foi utilizado em cada repetição sendo a análise feita em duplicata para cada amostra.

3.2.6 Densidade Relativa Verdadeira

A Densidade Relativa Verdadeira (DRV) é obtida a partir da relação entre a massa do recipiente (picnômetro) com mistura de carvão vegetal e água, e o mesmo completo apenas com água destilada. Ela se difere da Densidade Relativa Aparente, pois, não leva em consideração os poros

presentes no carvão vegetal. Foi utilizada a metodologia descrita na norma ASTM D 167 – 93 (ASTM, 1999), com carvão vegetal numa granulometria de 200 mesh, picnômetros de 100 mL, e uma manta de aquecimento elétrica.

3.2.7 Porosidade

A porosidade foi calculada conforme determina a Norma ASTM D 167-93 que relaciona a porosidade com a DRA e a DRV do carvão. Assim:

$$P = 100 - 100\left(\frac{DRA}{DRV}\right) \quad (3)$$

Utilizou-se para isso as médias da densidade relativa aparente e da densidade relativa verdadeira, obtendo um único valor para a porosidade para cada amostra.

3.2.7 Índice de Valor Combustível (FVI)

Purohit e Nautiyal (1987) utilizaram a relação de Índice de Valor Combustível (FVI – *Fuel Value Index*) para identificar o potencial de produção de combustível a partir da madeira. Para os autores além do poder calorífico, é necessário considerar outras variáveis, como densidade, teor de umidade e teor de cinzas. Assim, para um combustível ideal, é necessário possuir alta taxa de combustão, alta densidade, baixo teor de cinzas e baixo teor de umidade. O FVI é obtido segundo a equação sugerida por Purohit e Nautiyal (1987):

$$FVI = \frac{PCS \times DRA}{TCZ \times TU} \quad (4)$$

Em que:

FVI: Índice de valor combustível (kJ.cm^{-3});

DRA: Densidade relativa aparente do carvão (g.cm^{-3});

PCS: poder calorífico superior (kJ.g^{-1});

TCZ: teor de cinzas na madeira (g.g^{-1});

TU: teor de umidade (g.g^{-1});

O FVI foi calculado para todas as marcas de carvão vegetal, com o intuito de classificar as amostras com melhores índices demonstrando um carvão vegetal de melhor qualidade.

Um dos obstáculos encontrados na comparação entre os FVI obtidos são os altos valores resultantes. Neste trabalho, sugeriu-se utilizar uma nova fórmula, a fim de simplificar a comparação entre diferentes valores de FVI, intitulado aqui como FVI_2 de um mesmo grupo de estudo. Para isso, foi elaborada a seguinte equação:

$$\text{FVI}_2 = \frac{\frac{\text{PCS}_{\text{am}}}{\text{PCS}_{\text{mt}}} \times \frac{\text{DRA}_{\text{am}}}{\text{DRA}_{\text{mt}}}}{1 + (\text{TCZ} \times \text{TU})} \leq 1 \quad (5)$$

Em que:

FVI_2 : Índice de valor combustível (adimensional);

DRA_{am} : Densidade relativa aparente do carvão vegetal (g.cm^{-3});

DRA_{mt} : Densidade relativa aparente máxima (g.cm^{-3}) encontrada dentro do conjunto de dados;

PCS_{am} : poder calorífico superior (KJ.g^{-1}) de cada amostra;

PCS_{mt} : é o maior poder calorífico superior (KJ.g^{-1}) encontrado dentro do conjunto de dados;

TCZ: teor de cinzas da amostra (g.g^{-1}); e

TU: teor de umidade da amostra (g.g^{-1}).

Pela Equação 12 ao utilizar o PCS máximo e a densidade relativa aparente máxima entre os valores de todo o conjunto de dados, o FVI resultante nunca será superior a 1. O combustível com melhores condições entre uma amostra possuirá o FVI mais próximo a 1 enquanto os outros terão um FVI inferior e sempre relativo ao maior. Isso garante uma fácil interpretação e comparação entre combustíveis.

Essa equação relaciona uma amostra com outra que apresenta melhores valores de poder calorífico superior e densidade relativa aparente. Ela poderia ser estendida para a utilização e comparação entre outros

combustíveis, para a verificação de sua qualidade como combustível. Caso um combustível possua um PCS máximo universal, por exemplo, esse poderia ser tomado como base para a comparação entre a amostra disponível e a amostra ideal. Em outros casos, onde não há possibilidade de estabelecer valores máximos, sugere-se a utilização para comparação de combustíveis de um mesmo conjunto de dados, como o realizado neste trabalho.

3.3 ESTATÍSTICA E ANÁLISE DOS DADOS

A priori foi verificada a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk e também a homogeneidade das variâncias por meio do teste de Bartlett, utilizando o *software* ASSISTAT[®]-Statistical Assistance.

Tendo sido constatada a condição de não normalidade e de heteroscedasticidade para algumas variáveis, foi então realizada a transformação de dados por meio do software Excel. Assim, as variáveis “densidade real” e o “teor de carbono fixo” foram transformadas para x^2 , “densidade relativa aparente” para \sqrt{x} , “teor de cinzas” e “teor de voláteis” para $\log_{10}(10 + x)$ e o “teor de finos” para $\log_{10}(x)$.

Em um delineamento experimental inteiramente casualizado, os efeitos dos tratamentos foram testados por meio do Teste F ao nível de 5% de significância. Ao verificar efeitos estatisticamente significativos, foi utilizado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância para comparação de médias. Para isso, tornou-se a utilizar o *software* ASSISTAT[®]-Statistical Assistance.

Foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) para verificar possíveis relações lineares entre variáveis dos testes físico-químicos. A correlação é feita do seguinte pela Equação 12, tal como descrita por Figueiredo Filho e Silva Júnior (2010):

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad (6)$$

O coeficiente varia de -1 a 1, em que -1 indica uma correlação negativa perfeita entre duas variáveis, enquanto 1 indica uma correlação perfeita

positiva entre elas, e quando zero, indica que não há correlação entre as variáveis. Adotou-se a classificação de Correa (2003), em que:

- $0,1 \leq |r| < 0,3$ = correlação fraca;
- $0,3 \leq |r| < 0,6$ = correlação fraca para moderada;
- $0,6 \leq |r| \leq 1$ = correlação moderada para alta, onde a correlação é significativa.

Por meio de pesquisa bibliográfica, foram analisados os resultados obtidos pela caracterização do carvão vegetal, verificando se os parâmetros estimados encontram-se dentro de valores estabelecidos e adequados para o produto, tomando como base principalmente o Selo Premium de avaliação de carvão vegetal adotado no estado de São Paulo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES CONTIDAS NAS EMBALAGENS DE CARVÃO VEGETAL

As primeiras informações obtidas foram quanto aos aspectos de preço e presença de dispositivos acessórios (comodidade/facilidade de uso do produto). No quesito preço, tomou-se nota do preço por quilo de cada saco. Quanto aos dispositivos acessórios, constatou-se a presença ou não de alça e de acendedor no carvão vegetal. Essas notas estão descritas na Tabela 5.

TABELA 5 – PREÇO POR EMBALAGEM E POR QUILO E PRESENÇA DE ACESSÓRIOS NAS EMBALAGENS DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL

AMOSTRA	MASSA (kg)	PREÇO (R\$)*	PREÇO/kg	ALÇA	ACENDEDOR
1	4	15,9	3,98	Não	Não
2	4	12,9	3,23	Sim	Não
3	5	10,0	2,00	Não	Não
4	2,5	11,6	4,64	Não	Não
5	3	10,9	3,63	Sim	Não
6	4	10,0	2,50	Não	Não
7	4	9,99	2,50	Sim	Sim
8	5	11,99	2,40	Não	Não
9	4	9,98	2,50	Não	Não
10	4	11,95	2,99	Sim	Sim
11	4	9,9	2,48	Sim	Não
12	3	12,6	4,20	Sim	Não
13	4	12,9	3,23	Sim	Não
14	4	10,0	2,50	Sim	Não
15	4	10,0	2,50	Sim	Não
Média	3,9	11,37	3,01		
R\$/4kg		12,04			

*Valores referentes ao mês de janeiro de 2016.

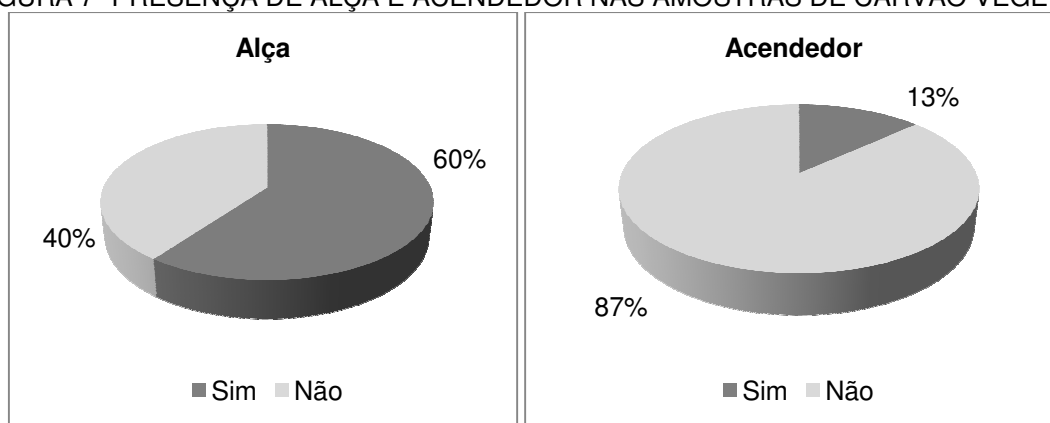
FONTE: AUTORA (2017).

Entre a amostra de menor (Amostra 3) e maior preço (Amostra 4), nota-se que o custo por quilograma das amostras variou em 110%. O preço médio verificado para cada 4kg de produto foi de R\$ 12,04, superior ao valor fornecido pela Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB). Segundo o órgão, entre outubro de 2015 e maio de 2016 o preço do produto no varejo foi de R\$ 10,00 a cada 4 kg de carvão vegetal, ou seja, R\$ 2,5 por kg (SEAB,

2016). Ainda segundo SEAB (2016) o preço médio de venda do carvão (R\$/4kg) no estado do Paraná entre o período de outubro de 2015 e maio de 2016 foi entre R\$10 e R\$10,65.

Quanto à presença ou ausência da alça nas embalagens de carvão, seis amostras não possuíam essa característica, representando 40% do total. Apesar de não haver leis ou normas que a tornem obrigatória, essa característica traz comodidade no transporte, podendo se tornar um diferencial na compra pelo consumidor. No quesito acendedor, apenas duas amostras (13,3%) possuíam esse acessório. Essa característica, que tal como a alça, não é obrigatória (Figura 7).

FIGURA 7- PRESENÇA DE ALÇA E ACENDEADOR NAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL



Fonte: Autor (2017)

Notou-se que não há relação entre o preço do carvão vegetal e presença de alça ou acendedor nas embalagens. Essa falta de relação foi verificada no trabalho de Brand et al. (2015), porém, segundo os autores, esse item pode ser considerado como um diferencial por facilitar no transporte e na ignição do carvão.

Dias Júnior et al. (2015), avaliaram as exigências dos consumidores de carvão vegetal para uso doméstico no município de Piracicaba, SP, pelo método do desdobramento da função qualidade (QDF), sugerido para alcançar a qualidade identificando as exigências do consumidor. Entre os fatores que mais influenciaram na decisão de escolha estavam ter bom rendimento, tamanho superior a 10 cm, formação rápida de brasas, preço acessível, facilidade de abertura da embalagem e presença de alça na embalagem. Outros fatores como umidade, pouca formação de fumaça, embalagem

resistente à água e com sistema de abertura foram apontados como tendo uma importância moderada. Segundo os autores, a presença de acendedor mostrou-se como indiferente no momento da compra.

Ao analisar os dados da Tabela 6, outras informações, como local de fabricação, origem e registro junto à órgãos ambientais foram anotados quando possível, exclusivamente da embalagem das amostras. Os dados estão descritos na Tabela 6.

TABELA 6 - DESCRIÇÃO DO LOCAL DE FABRICAÇÃO E ORIGEM FLORESTAL, OBTIDOS EXCLUSIVAMENTE POR MEIO DAS INFORMAÇÕES DAS EMBALAGENS DE CARVÃO VEGETAL

CÓDIGO	LOCAL DE FABRICAÇÃO	ORIGEM	REGISTRO
1	Campo Magro – PR	ME, Br e Eu	E
2	Campo Magro – PR	EFD	E
3	São Mateus do Sul – PR	-	E
4	Maringá – PR	MP, MS	E N
5	Colombo – PR	-	E N
6	Bocaiúva do Sul – PR	-	E N
7	Curitiba – PR	EFD, Eu	E N
8	Curitiba – PR	ME, Br, Eu	E
9	Contenda – PR	-	E N
10	Fazenda Rio Grande – PR	EFD	E N
11	Curitiba – PR	MN e ME	E N
12	Nova Ponte – MG	MP	E N
13	Curitiba – PR	ME, Br e Eu	E N
14	Prudentópolis – PR	Br, Eu, Bq	E N
15	Curitiba – PR	MN, Br, MS, Eu	E N

Em que: E= Registro em órgão estadual. N= Registro em órgão nacional. ME= Madeiras exóticas; Br = Bracatinga; MP= Madeira plantada; MN = Madeira nativa, EFD = Essências florestais diversas; Eu= Eucalipto, Bq=Briquete e MS= Manejo sustentável;
 FONTE: AUTORA (2017).

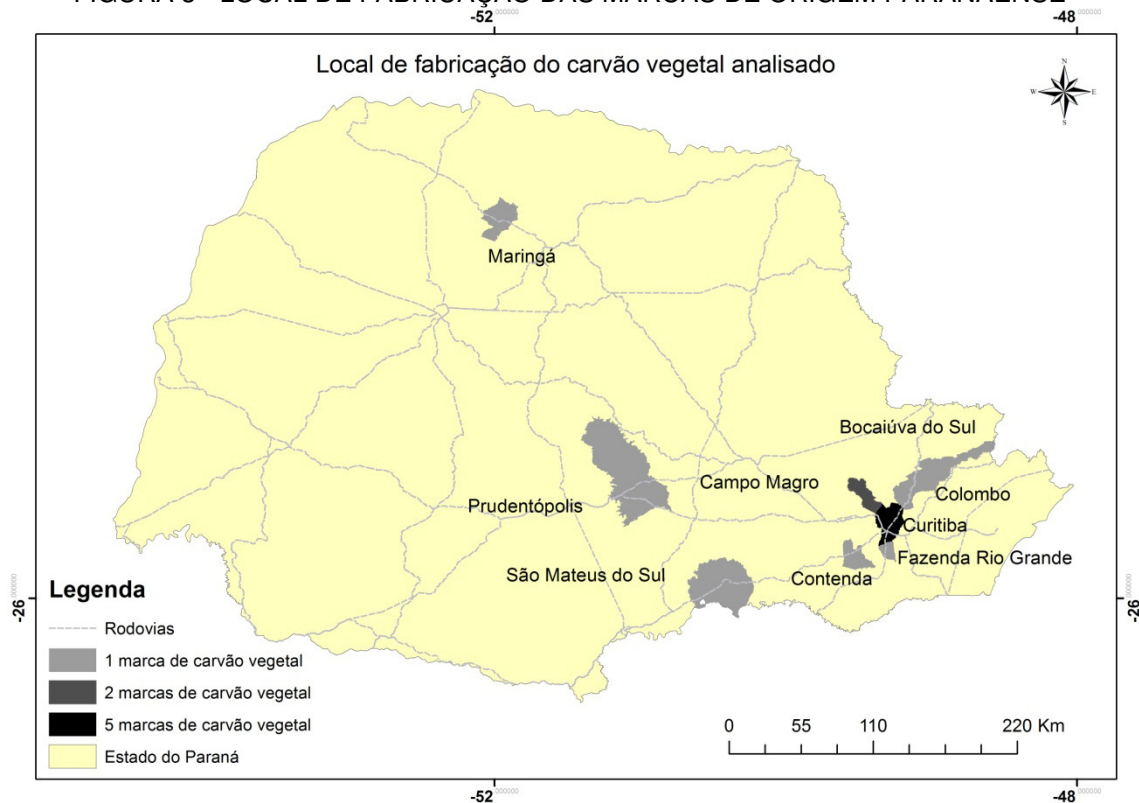
Segundo a resolução conjunta IBAMA / SEMA / IAP nº 47, de 28 de setembro de 2007, para a isenção da utilização do Documento de Origem Florestal (DOF) no transporte de carvão vegetal empacotado do comércio varejista, é necessário que as embalagens possuam informações sobre o registro da empresa empacotadora junto ao IBAMA e IAP, informações caso seja proveniente de resíduo da industrialização da madeira e a origem do produto, seja nativa e/ou exótica. Porém, essa resolução não torna obrigatória a utilização dessas informações em toda e qualquer embalagem, apenas aos que não desejam utilizar o DOF no transporte do produto.

É possível verificar que não há padronização nas informações contidas nas marcas. Algumas delas não disponibilizam em suas embalagens a origem da madeira utilizada para a produção do carvão vegetal, porém 100% das marcas disponibilizam o número de registro em órgão estadual e/ou em órgão nacional. A falta de padronização foi também verificada no trabalho de Brand et al. (2015), que analisaram a qualidade do carvão vegetal para uso doméstico na região serrana Sul de Santa Catarina. Entre as marcas analisadas, nove possuíam informações de registro junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), dez no Instituto Ambiental do Paraná (IAP), dez no Sistema Estadual de Reposição Florestal Obrigatória (SERFLOR) e oito possuíam Inscrição Estadual (IE). Nenhuma das marcas apresentou o número de lote de produção.

A falta de informações quanto a origem florestal da madeira utilizada na produção de carvão vegetal foi verificada também por Oliveira et al. (2015), que em seu estudo sobre qualidade de carvão vegetal para uso doméstico em quatro cidades do Oeste do Paraná (Palotina, Altônia, Toledo e Ouro Verde do Oeste), identificaram que nas embalagens não constavam as informações quanto as espécies utilizadas nas produções, apenas mencionavam que eram de reflorestamento, porém todas possuíam registro no IBAMA.

Foi verificado que a distância média entre as cidades produtoras até Curitiba foi de 128,42 km, devido a uma das amostras ser proveniente do município de Nova Ponte (MG), localizado a mais de 900 km de Curitiba, considerada como exceção. A maioria das marcas (11 delas), são oriundas da região metropolitana de Curitiba, onde a distância média entre o produtor e/ou embalador é de 17,7 km, caracterizando uma produção/consumo regionalizada (Figura 8).

FIGURA 8 - LOCAL DE FABRICAÇÃO DAS MARCAS DE ORIGEM PARANAENSE



Brand et al. (2015), em seu estudo de qualidade de carvão vegetal para uso doméstico na região serrana Sul de Santa Catarina, verificaram que as espécies mais utilizadas são acácia negra e eucaliptos. Neste trabalho, as mais utilizadas para a produção de carvão vegetal foram a Bracatinga (5 amostras) e o Eucalipto (6 amostras). Não foi possível determinar a espécie empregada em algumas das amostras, pois enquanto umas não continham nenhuma informação sobre isso, outras não especificavam a matéria-prima utilizada.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL

A Tabela 7 apresenta o teste de médias para o teor de umidade (TU) e poder calorífico superior (PCS). Além disso, informa a presença ou ausência de atíços e/ou impurezas aparentes encontradas nas embalagens.

TABELA 7 – TEOR DE UMIDADE, PODER CALORÍFICO E PRESENÇA DE ATIÇOS DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL

AMOSTRA	TU (%)		PCS (kcal/kg)		ATIÇOS E/OU IMPUREZAS
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
1	6,31 a	0,95	6.678,5 g	0,71	Sim
2	6,98 a	0,82	7.706,5 b	51,62	Sim
3	5,58 b	0,54	7.526,5 c	0,71	Não
4	4,58 b	0,24	7.840,0 a	74,95	Não
5	5,14 b	7,82	7.351,5 d	125,16	Sim
6	5,45 b	3,46	7.460,5 c	74,25	Não
7	5,27 b	3,47	6.835,5 f	0,71	Sim
8	7,24 a	1,68	7.702,0 b	60,81	Sim
9	5,83 b	0,55	7.274,0 d	28,28	Sim
10	5,36 b	0,56	7.477,5 c	7,78	Não
11	5,60 b	1,69	7.527,0 c	8,49	Não
12	5,34 b	0,46	7.297,0 d	31,11	Não
13	6,50 a	0,29	7.064,0 e	72,12	Não
14	6,18 a	0,73	6.865,0 f	7,07	Não
15	5,52 b	0,70	7.210,0 d	8,49	Sim
Média	5,79	0,61	7.321,03	36,82	-

Em que: Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

FONTE: AUTORA (2017).

O teor de umidade apresentou baixa variabilidade estatística, sendo dividido em apenas dois grupos pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). O maior valor encontrado para o TU foi da Amostra 8 (7,24%), enquanto o menor foi da Amostra 4 (4,58%).

Para o poder calorífico superior (PCS) foi verificada uma grande variação entre as amostras, onde a maioria se mostrou estatisticamente diferentes entre si. O menor PCS foi encontrado para a Amostra 1 que possui origem mista de madeiras exóticas, bracatinga e eucalipto com um PCS de 6678,5 kcal/kg. O maior PCS é correspondente a Amostra 4, com 7840 kcal/kg, com origem de madeira plantada de manejo sustentável. O valor médio para o PCS encontrado neste trabalho foi de 7321,03 kcal/kg.

Brand et al. (2015) encontraram PCS abaixo do encontrado neste trabalho, sendo de 6.449 kcal/kg e com significativa variação entre 12 amostras na região Serrana Sul de Santa Catarina. O teor de umidade encontrado foi de 7,35% classificado como alto.

França (2015), em seu estudo sobre estrutura anatômica da madeira e do carvão de espécies nativas da caatinga, obteve 6.760 kcal/kg de poder calorífico médio do carvão gerado a partir destas madeiras. Já Machado, Voguel e Silva (2014) encontraram um PCS de 7.086 kcal/kg para madeira de cinamomo.

Jacinto (2014) analisou a qualidade do carvão vegetal comercializado para uso doméstico na região serrana de Santa Catarina, que incluíam os municípios de Lages, Urubici e Curitibanos. Encontrou valores de 5,07% para TU e PCS de 7.114 kJ.kg⁻¹. Já Oliveira et al. (2015), encontraram valores para o TU entre 4,02 e 7,77% e PCS 5.377 kJ.kg⁻¹ e 7.420,6 kJ.kg⁻¹ para carvões destinados a uso doméstico na região Oeste do Estado do Paraná.

Oliveira et al. (2010) encontrou valores que variam entre 8.023 e 8.339 kJ.kg⁻¹ para *Eucalyptus pellita* F Muell. para diferentes tempos de carbonização (entre 5 e 8 horas). Silva (1988) encontrou uma umidade de 6,80% e PCS 6,826 kcal/kg para carvões oriundos de madeiras da região de Manaus.

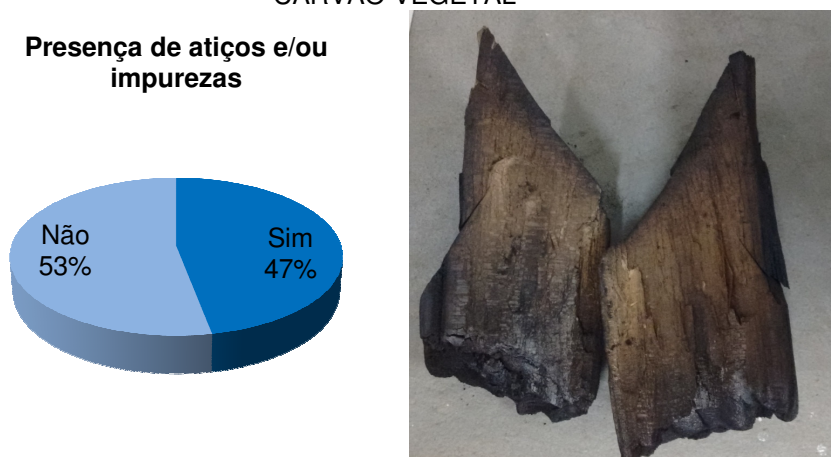
Rosa et al. (2012) analisaram a qualidade do carvão vegetal para consumo doméstico em três cidades do Espírito Santo. Segundo os autores, algumas marcas não atenderam as especificações do Selo Premium devido à alta umidade, que variou entre 4,14% e 5,57%, porém, a maioria das marcas estudadas apresentavam qualidade satisfatória para consumo doméstico.

Neste trabalho, o TU médio encontrado foi de 5,79%, acima do estabelecido pelo Selo Premium de São Paulo que é no máximo 5%. Se esse valor fosse tomado como referência, apenas uma das amostras estaria dentro das especificações e todas as outras estariam reprovadas, uma vez que apenas a amostra 4 com teor de umidade de 4,58%, apresentou níveis dentro das recomendações. Esses valores elevados podem ser atribuídos ao modo de armazenagem do produto, em que não se notou preocupação por parte dos comerciantes quanto à armazenagem do carvão, que em algumas situações, estavam expostos, sem abrigo, molhados e dispostos no chão. Segundo o Selo Premium, o produto deve estar sempre abrigado de chuva e em local arejado. O armazenamento deve ser feito com segurança evitando riscos de incêndios.

Apenas três amostras apresentaram valor de PCS inferior a 7.000 kcal/kg. Isso se deve, principalmente, a alta utilização de madeiras de origem plantada para a fabricação, onde há controle maior das condições da madeira.

Além disso, como possível verificar na Figura 9, sete das amostras apresentaram madeira semicarbonizada (atiços) e/ou impurezas, representando um total de 47% que, de maneira geral, tiveram tendência à um menor poder calorífico.

FIGURA 9 – PORCENTAGEM DE AMOSTRAS QUE CONTINHAM ATIÇOS E/OU IMPUREZAS E EXEMPLO DE ATIÇO ENCONTRADO EM UMA DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL



FONTE: Autora (2017).

Essa porcentagem é consideravelmente alta, visto que praticamente metade das amostras apresentou carbonização ineficiente e insuficiente das madeiras. Considerando o Selo Premium de São Paulo, essas sete marcas seriam reprovadas para o consumo doméstico. Além de atiços, foram encontrados objetos não pertencentes à origem florestal, tal como pedaços de cerâmica em uma das amostras. Isso afeta negativamente a qualidade do carvão vegetal e demonstra a importância de uma legislação que garanta ao consumidor a pureza do material, evitando danos de cunho financeiro a este. Segundo o Selo Premium, o carvão vegetal deve estar isento de quaisquer materiais que não o próprio carvão vegetal.

Rosa (2010) obteve amostras de carvão vegetal com massa inferior às descritas na embalagem. Além disso, o autor encontrou atiços em amostras de todos os municípios estudados, concluindo que, as amostras coletadas eram de baixa qualidade para uso doméstico. Oliveira et al. (2015) também verificaram a presença de atiços em carvões destinados para uso doméstico no oeste do Paraná.

A madeira semicarbonizada é um agravante que influi diretamente na qualidade do carvão vegetal e ocorrem geralmente quando não há disposição adequada da madeira ou temperaturas demasiado baixas e heterogêneas dentro dos fornos de carbonização. A presença de atijos consiste então em dois problemas principais. O primeiro diz respeito aos gases lançados ao carbonizar por completo a madeira semicarbonizada, que gerará gases tóxicos que contaminam tanto os alimentos quanto o operador. O segundo diz respeito à ineligibilidade da venda, uma vez que a madeira possui uma maior densidade básica sendo mais pesada, fazendo com que a embalagem do produto possua menos carvão vegetal e mais madeira.

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos dos testes de Análise Química Imediata (AQI), onde são fornecidos por meio desse, os valores de teor de materiais voláteis (TMV), teor de cinzas (TCZ) e teor de carbono fixo (TCF).

TABELA 8 - ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL.

AMOSTRA	TMV(%)		TCZ (%)		TCF(%)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
1	32,82 a	0,95	2,92 d	0,13	64,26 i	0,96
2	16,04 i	0,82	3,12 c	0,18	80,83 b	0,95
3	16,78 h	0,54	3,40 b	0,18	79,82 c	0,64
4	18,19 g	0,24	0,59 l	0,04	81,21 b	0,22
5	24,63 e	0,98	1,70 g	0,11	73,67 e	0,88
6	23,97 e	1,23	2,33 f	0,07	73,70 e	1,25
7	29,80 b	0,74	3,87 a	0,05	66,33 h	0,73
8	15,48 i	0,30	1,29 h	0,07	83,23 a	0,25
9	27,32 c	0,55	0,82 j	0,06	71,86 f	0,55
10	17,03 h	0,56	2,78 e	0,09	80,19 c	0,63
11	18,15 g	0,85	1,75 g	0,12	80,09 c	0,95
12	22,10 f	0,46	0,97 i	0,05	76,93 d	0,51
13	28,30 c	0,29	1,77 g	0,09	69,94 g	0,35
14	27,76 c	0,73	3,31 b	0,03	68,94 g	0,73
15	25,58 d	0,70	1,15 h	0,04	73,26 e	0,68
Média	22,93	0,66	2,12	0,09	74,95	0,69

Em que: Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

FONTE: AUTORA (2017).

No tocante ao teor de materiais voláteis, a maioria das amostras apresentaram diferenças significativas ao aplicar o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. Os valores de TMV variaram entre 15,48% (Amostra 8) e 32,82% (Amostra 1), cuja média obtida foi de 22,93%. Apenas as amostras 2 e 8, 4 e 11, 5 e 6, e 13 e 14 foram estatisticamente semelhantes entre si. Em

geral, quanto maior o teor de voláteis, menor o tempo de carbonização que o carvão sofreu.

Quanto ao TCZ, apenas os pares 3 e 14; 5 e 11; e 8 e 15 foram semelhantes estatisticamente entre si. Os valores variaram entre 0,6% para a amostra 4 e 3,87% para a amostra 7. A média de 2,12% mostra que o teor de inorgânico nas amostras está em um nível relativamente alto.

Para o teor de carbono fixo, o maior valor encontrado foi da amostra 8, com 83,23% que tem origem de plantas exóticas, bracatinga e eucalipto. O menor valor foi encontrado para a amostra 1, com 64,26%, que possui as mesmas origens florestais do carvão vegetal da amostra 8. Isso pode demonstrar que as diferenças na produção de cada carvão, como tempo de carbonização, temperatura e tipo de forno, influenciam diretamente nas características físicas, mesmo possuindo a mesma matéria-prima. O valor médio das amostras foi de 74,95%.

Machado, Voguel e Silva (2014) encontraram valores médios de 26,04% para o TMV, 0,67% para o TCZ e 73,29% para o TCF em carvão de cinamomo produzido em laboratório. Brand et al. (2015), verificaram valores de 32,85%, 1,96% e 65,17% para TMV, TCZ e TCF, respectivamente. Valores descritos por Jacinto (2014) para carvões de uso doméstico foram de TMV 27,15%, TCZ 1,64 e TCF 71,2%. Oliveira et al. (2015) ao analisar carvão vegetal para uso doméstico demonstraram valores de TCF entre 53,94 e 81,06%, TMV entre 14,53 e 40,70% e TCZ entre 2,96 e 18,11%.

Nisgoski et al. (2014) analisaram as características anatômicas e energéticas do carvão de cinco espécies: *Byrsonima spicata*, *Calophyllum brasiliense*, *Cecropia sciadophylla*, *Cochlospermum orinocense* e *Schefflera morototoni*. O teor de voláteis variou entre 20,9% a 31,76%, o teor de cinzas variou entre 0,1% a 3,8% e o teor de carbono fixo entre 68,2% e 75,2%. Não foram indicadas para a produção de carvão, pois segundo as autoras o TCZ e o TMV estão acima do indicado para carvão produzido para uso doméstico tomando como comparação o estabelecido pelo Selo Premium de São Paulo.

Oliveira et al. (2010), ao analisarem a qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F Muell em laboratório, encontraram valores de TMV entre 14,65 e 9,71%, TCZ entre 1,86 e 2,19%, e TCF entre 83,17 a 88,17%. Damásio et al. (2013) analisaram a qualidade do carvão

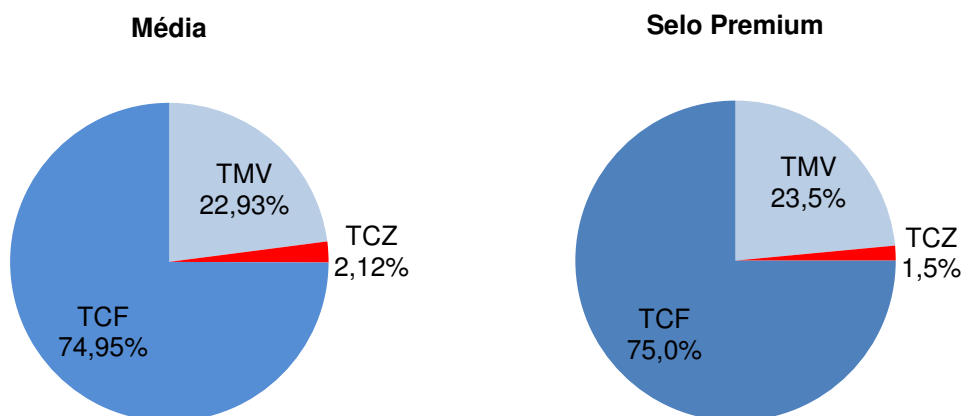
vegetal da espécie nativa de pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). O TMV obtido foi de 23,26%, o TCZ foi de 2,39% e o TCF de 75,35%.

As amostras 5 e 6 apresentaram valores muito semelhantes para TMV, TCF, TU e PCS. Uma tem origem em Bocaiúva do Sul e outra em Colombo, assim como ambas não apresentaram a origem do carvão vegetal na embalagem do produto. O mesmo ocorre para as amostras 10 e 11, a primeira com origem mencionada de Fazenda Rio Grande e a segunda de Curitiba. Isso pode indicar que o produto pode proceder de um mesmo local de fabricação e que, intermediários compram esse carvão e embalam com diferentes marcas. Essa é uma hipótese plausível, uma vez que as amostras citadas provêm de cidades da região metropolitana de Curitiba. Essa semelhança também pode ser observada entre as amostras 13 e 14, porém pode estar atrelada a matéria-prima utilizada para a confecção desse carvão vegetal, visto que ambas utilizam bracatinga e eucalipto em sua composição.

Vale ressaltar ainda que há possibilidade dessa hipótese não condizer com a realidade, já que dependendo do nível de controle do carvão produzido, pode haver grandes variações das características do carvão vegetal gerado entre uma fornada e outra, dentro de uma mesma marca, ou seja, quanto menor o nível de controle de qualidade e carbonização, maior poderá ser a variação entre duas fornadas.

O Selo Premium recomenda que o TCZ seja inferior a 1,5%, o TMV seja inferior a 23,5% e o TCF superior a 75%. Os valores encontrados neste trabalho estão muito próximos aos definidos pela Resolução SMA nº 40, 2,12%, 22,93% e 74,95% para TCZ, TMV e TCF respectivamente (Figura 10).

FIGURA 10- COMPARAÇÃO DA MÉDIA DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL COM O ESTIPULADO PELO SELO PREMIUM PARA TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS (TMV), TEOR DE CARBONO FIXO (TCF) E TEOR DE CINZAS (TCZ)



FONTE: Autora (2017).

Em termos gerais, a característica mais preocupante é o teor de cinzas que se apresentou 41% maior do que o recomendado pelo Selo Premium. Dez amostras apresentaram TCZ acima do recomendado. Segundo Machado, Vogel e Silva (2014), para aplicações energéticas, indica-se a escolha de madeiras com baixo teor de inorgânicos (cinzas), pois essas contribuem para um menor rendimento energético, uma vez que o processo de fusão destes absorve parte da energia liberada na combustão.

A Tabela 9 apresenta os valores e os testes de média da Densidade Relativa Aparente (DRA), Densidade Relativa Verdadeira (DRV), Porosidade e Teor de Finos (TF). Adicionalmente, encontram-se os valores para porosidade média obtido por meio da Equação 3.

TABELA 9 – DENSIDADE RELATIVA APARENTE (DRA), DENSIDADE RELATIVA VERDADEIRA (DRV), POROSIDADE E TEOR DE FINOS GERADO (FRIABILIDADE) PARA AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL

AMOSTRA	DRA (g.cm ⁻³)		DRV (g.cm ⁻³)		POROSIDADE (%)	TEOR DE FINOS (%)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão		Média	Desvio Padrão
1	0,329 c	0,022	1,430 a	0,037	76,98	12,57 b	0,204
2	0,247 d	0,007	1,304 b	0,069	81,06	8,90 d	0,114
3	0,268 d	0,014	1,295 b	0,056	79,33	7,77 e	0,135
4	0,516 a	0,003	1,429 a	0,026	63,87	5,36 g	0,005
5	0,263 d	0,004	1,332 b	0,096	80,23	6,79 f	0,420
6	0,256 d	0,006	1,459 a	0,011	82,46	8,23 e	0,006
7	0,269 d	0,011	1,364 b	0,075	80,31	6,92 f	0,190
8	0,389 b	0,030	1,468 a	0,030	73,51	7,92 e	0,374
9	0,319 c	0,005	1,344 b	0,015	76,26	13,85 a	0,069
10	0,414 b	0,016	1,440 a	0,006	71,24	10,34 c	0,065
11	0,279 d	0,008	1,363 b	0,002	79,54	9,04 d	0,494
12	0,384 b	0,042	1,404 a	0,050	72,69	4,89 h	0,076
13	0,283 d	0,015	1,365 b	0,026	79,28	6,37 f	0,442
14	0,387 b	0,030	1,464 a	0,001	73,56	8,20 e	0,522
15	0,330 c	0,010	1,445 a	0,004	77,14	6,92 f	0,241
Média	0,329	0,015	1,394	0,033	76,50	8,27	0,224

Em que: Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).
 FONTE: AUTORA (2017).

A DRA variou entre 0,247 e 0,516 g.cm⁻³, ao passo que a DRV demonstrou pouca variação estatística significativa entre as amostras, sendo separadas em dois grupos, onde o maior valor encontrado foi para a amostra 14 (1,464 g.cm⁻³) e o menor valor para a amostra 3 (1,295 g.cm⁻³). Houve dificuldade em relacionar a DRV com a DRA de diversas amostras, devido a inexistência de uma especificação da madeira utilizada para a fabricação do carvão.

A porosidade, que relaciona a DRA com a DRV, variou de 63,87% a 82,46% e, de maneira geral, madeiras com menores DRA apresentaram maiores porosidades. Silva (1988) analisou a qualidade do carvão vegetal de 28 famílias botânicas diferentes da região de Manaus, produzido em fornos de alvenaria e como resultados médios obteve DRA de 0,51 g.cm⁻³, DRV de 1,48 g.cm⁻³ e porosidade de 65,28%.

Sabe-se que referente à densidade, não havendo prejuízo em outros aspectos, procura-se sempre a maior possível. A densidade do carvão é influenciada principalmente pela madeira que deu origem, mas também pelo tipo de carbonização e tempo de residência no forno (SILVA e BRITO, 1989).

Machado, Voguel e Silva (2014) encontraram um DRA de $0,326 \text{ g.cm}^{-3}$ para carvão de madeira de cinamomo. Brand et al. (2015) encontraram um valor de densidade relativa aparente de $0,403 \text{ g.cm}^{-3}$, e a classificou como alta, em seu trabalho sobre qualidade do carvão vegetal para uso doméstico na região serrana sul de Santa Catarina. Jacinto (2014) encontrou valores para o DRA de $0,403 \text{ g.cm}^{-3}$ e DRV $1,36 \text{ g.cm}^{-3}$, e uma porosidade de 69,66% para carvão de uso doméstico. Já Oliveira et al. (2010) encontraram valores para o DRV de $1,459 \text{ g.cm}^{-3}$ a $1,667 \text{ g.cm}^{-3}$, DRA de $0,353 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,385 \text{ g.cm}^{-3}$ e porosidade de 74,04% a 77,91%. Valores estes, muito próximos ao encontrado neste trabalho.

No tocante ao Teor de finos, os valores variaram entre 4,89% para a amostra 12 até 13,85% para a amostra 9. Houve diferenças estatísticas entre a maioria das amostras. Apenas as amostras 3, 6 e 14, e 5, 7, 13 e 15 apresentaram semelhanças estatísticas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Jacinto (2014) encontrou friabilidade 14,95% para carvão de uso doméstico. No trabalho de Machado, Vogel e Silva (2014), o teor de finos encontrado para carvão de Cinamomo produzido em laboratório foi inferior a 10%. Silva (1988) encontrou valores de friabilidade de 34,13%. Segundo Silva e Brito (1989) que analisaram carvão proveniente de madeiras da inundação, a quantidade média de finos gerados foi de 14,6%, pouca geração de finos.

De acordo com as classes de classificação indicadas por Oliveira et al. (1982), três amostras deste trabalho seriam classificadas como “pouco friável” e o restante como “muito pouco friável”. Além disso, este trabalho apresentou valores inferiores aos de muitos autores consultados na literatura. Isso indica que o carvão comercializado em Curitiba apresenta uma boa resistência mecânica, fazendo com que haja menor geração de finos e conseqüentemente baixa perda de material.

A Tabela 10 apresenta os valores obtidos por alguns autores (citados na tabela) onde é possível observar com maior facilidade a comparação entre os resultados deste trabalho e os obtidos por em outros trabalhos.

TABELA 10 - COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS NESTE TRABALHO COM VALORES OBTIDOS POR OUTROS AUTORES COM TRABALHOS SEMELHANTES DE CARACTERIZAÇÃO E QUALIDADE DE CARVÃO VEGETAL

	TU (%)	PCS (kcal.kg ⁻¹)	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)	DRA (g.cm ⁻³)	DRV (g.cm ⁻³)	P (%)	TF (%)
Autora (2017)	5,79	7.321	22,93	2,12	74,95	0,329	1,394	76,50	8,27
Selo Premium	<5	-	<23,5		<75				
Damásio et al. (2013)		7.719	23,26	2,39	75,35	0,460			
Silva (1988)	6,8	6.826	17,65	2,29	80,06	0,51	1,48	65,28	34,13
Oliveira et al. (2010)		8023	14,65	1,86	83,17	0,35	1,459	74,04	
		-	-	-	-	-	-	-	-
		8339	9,71	2,19	88,17	0,385	1,667	77,91	
Nisgoski et al. (2014)			20,9	0,1	68,2				
			-	-	-				
			31,76	3,8	75,2				
Oliveira et al. (2015)	4,02	5377	14,53	2,96	53,94				
	-	-	-	-	-				
	7,77	7420	40,70	18,11	81,06				
Rosa et al. (2012)	4,17	7432	15,65	0,68	75,33	0,373			
	-	-	-	-	-	-			
	5,57	7827	23,64	1,65	83,40	0,379			
Silva e Brito (1989)		7.139						69,55	14,6
Brand et al. (2015)	7,35	6.449	32,85	1,96	65,17				

Em que: PCS= Poder Calorífico Superior; DRA= Densidade Relativa Aparente; TCZ= Teor de Cinzas; TU= Teor de umidade; TMV= Teor de Materiais Voláteis; TCF= Teor de Carbono Fixo; DRV= Densidade Relativa Verdadeira; P= Porosidade e TF= Teor de Finos.

FONTE: AUTORA (2017)

Em termos gerais os resultados obtidos neste trabalho são próximos de outros encontrados na literatura, demonstrando que os valores são condizentes aos encontrados na literatura.

4.3 ÍNDICE DE VALOR DE COMBUSTÍVEL (FVI) E CORRELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL

Os valores utilizados para a obtenção do Índice de Valor Combustível (FVI) sugerido por Purohit e Nautiyal (1987), bem como o próprio Índice, além

do FVI_2 utilizando a fórmula sugerida nesse trabalho (Equação 4) estão apresentados na Tabela 11:

TABELA 11 - ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL DE ACORDO COM FÓRMULA SUGERIDA POR PUROHIT E NAUTIYAL (1987) E DE ACORDO COM FÓRMULA SUGERIDA NESTE TRABALHO PARA AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL

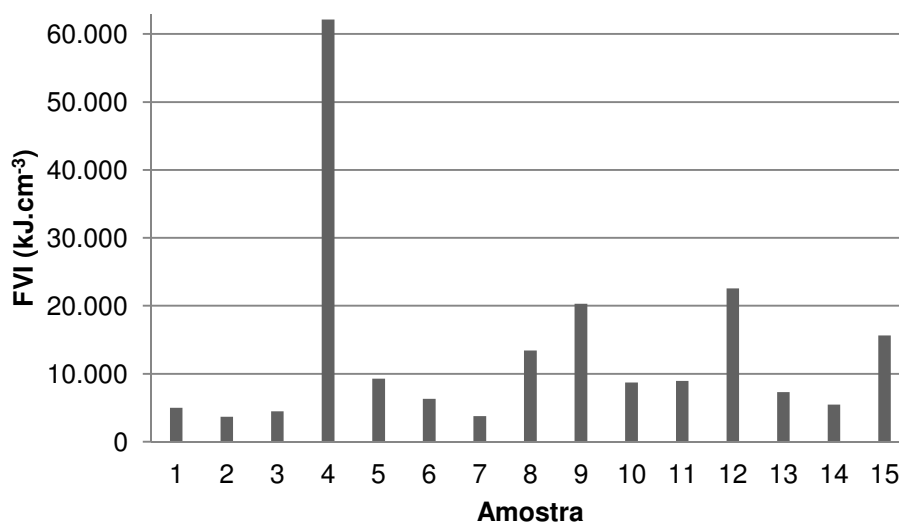
AMOSTRA	PCS (kJ.g^{-1})	DRA (g.cm^{-3})	TCZ (g.g^{-1})	TU (g.g^{-1})	FVI (kJ.cm^{-3})	FVI_2
1	27,94	0,33	0,029	0,063	4.999,07	0,54
2	32,24	0,25	0,031	0,069	3.649,09	0,47
3	31,49	0,27	0,033	0,055	4.449,03	0,50
4	32,80	0,52	0,005	0,045	62.122,26	1,00
5	30,76	0,26	0,016	0,051	9.289,36	0,48
6	31,21	0,26	0,023	0,054	6.301,33	0,47
7	28,60	0,27	0,038	0,052	3.768,69	0,45
8	32,23	0,39	0,012	0,072	13.419,96	0,74
9	30,43	0,32	0,008	0,058	20.304,58	0,57
10	31,29	0,41	0,027	0,053	8.701,89	0,76
11	31,49	0,28	0,017	0,056	8.931,27	0,52
12	30,53	0,38	0,009	0,053	22.545,76	0,69
13	29,56	0,28	0,017	0,065	7.286,54	0,49
14	28,72	0,39	0,033	0,061	5.446,22	0,66
15	30,17	0,33	0,011	0,055	15.650,02	0,59
Média	30,63	0,33	0,021	0,057	13.124,34	0,60

Em que: PCS= Poder Calorífico Superior; DRA= Densidade Relativa Aparente; TCZ= Teor de Cinzas; TU= Teor de Umidade; FVI= Índice de Valor Combustível por Purohit e Nautiyal (1987) e FVI_2 é o Índice de valor combustível utilizando a fórmula sugerida.

FONTE: AUTORA (2017).

A amostra 4 apresentou-se muito superior em comparação com as demais, pois, além de apresentar o maior poder calorífico superior e a maior densidade relativa aparente entre as amostras, também conteve o menor teor de cinzas e o menor teor de umidade. Esses fatores combinados foram decisivos para sua classificação como a melhor marca entre as analisadas. Os valores obtidos para o FVI estão apresentados na Figura 11.

FIGURA 11 – ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL OBTIDO PARA AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL



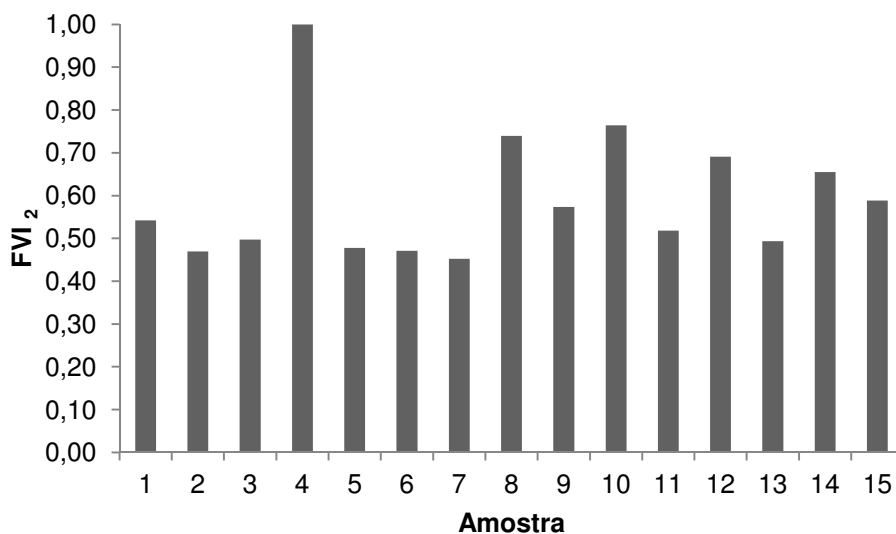
FONTE: Autora (2017).

Foi observado que a algumas amostras possuíram menor PCS e apresentaram maiores valores de FVI, por exemplo, a amostra 2 que apresentou valores de PCS de $7.706,50 \text{ kJ.kg}^{-1}$ significativamente maior que a amostra 7 (PCS de $6.835,50 \text{ kJ.kg}^{-1}$), porém possuiu um teor de umidade e uma densidade relativa aparente inferiores, o que fez com que o FVI fosse inferior ao da amostra 7.

Os FVI encontrados por Purohit e Nautiyal (1987) para madeiras de áreas montanhosas da Índia variaram entre 386 e 2.807 kJ.cm^{-3} . Já no trabalho de Bhatt e Tomar (2002) o FVI variou entre $341,54$ e $1382,78 \text{ kJ.cm}^{-3}$ para lenhas da região nordeste do Himalaia. Os valores deste trabalho foram relativamente superiores pelo fato do PCS ser maior no carvão vegetal em comparação com a madeira, além do teor de umidade e do teor de cinzas ser menor na mesma comparação.

De acordo com a Tabela 11, o máximo valor para o PCS foi de $32,8 \text{ kJ.g}^{-1}$ e o maior valor da densidade relativa aparente foi de $0,52 \text{ g.cm}^{-3}$, ambos provenientes da amostra 4. Portanto, esses foram os valores correspondentes ao PCS_{mt} e DRA_{mt}, como sugerido na Equação 5 para o cálculo do FVI₂. Assim, o valor resultante mais próximo a 1 é o melhor entre os combustíveis analisados levando em consideração os seus principais fatores que influenciam na qualidade final do combustível. Para fins de comparação, foi criada a Figura 12.

FIGURA 12 – ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL OBTIDO PARA AS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DA FÓRMULA SUGERIDA



FONTE: Autora (2017).

Os valores obtidos pela Equação 5 facilitam a compreensão e o ranqueamento entre as amostras. Nota-se que do mesmo modo da Equação 4, o melhor FVI foi o da amostra 4, enquanto as outras marcas, por sua vez, apresentam valores de FVI_2 inferiores e sempre relativos à amostra 4. O valor médio de 0,6 para o FVI_2 das amostras indica que o índice de valor combustível entre as amostras é de em média 60% em comparação à melhor amostra entre o conjunto.

Para verificar se as variáveis apresentaram alguma relação linear entre si, foi aplicado o coeficiente de correlação linear de Pearson. A Tabela 13 apresenta valores das correlações lineares entre as variáveis estudadas neste trabalho, além das correlações entre as variáveis e o Índice de Valor Combustível normal e o sugerido neste trabalho.

TABELA 12 - CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON PARA TODAS AS CARACTERÍSTICAS ANALISADAS DAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL

	PCS	DRA	TMV	TCZ	TCF	TU	DRV	FVI 1	FVI 2
PCS	-								
DRA	0,22	-							
TMV	-0,91	-0,22	-						
TCZ	-0,41	-0,43	0,15	-					
TCF	0,95	0,28	-0,98	-0,32	-				
TU	-0,07	-0,25	-0,05	0,19	0,02	-			
DRV	-0,37	0,60	0,13	-0,20	-0,09	0,01	-		
FVI 1	0,44	0,76	-0,23	-0,68	0,34	-0,48	0,22	-	-
FVI₂	0,40	0,98	-0,37	-0,48	0,44	-0,26	0,53	0,8118	-

Em que: PCS= Poder calorífico superior; DRA= Densidade relativa aparente; TMV= Teor de materiais voláteis; TCZ= Teor de cinzas; TCF= Teor de carbono fixo; TU= Teor de umidade; DRV= Densidade relativa verdadeira; FVI 1= Índice de valor combustível conforme equação de Purohit e Nautiyal (1987) e FVI₂= Índice de valor combustível sugerido;
 FONTE: AUTORA (2017)

As correlações fortes positivas encontradas foram entre o teor de carbono fixo e o poder calorífico superior e entre a densidade relativa aparente a densidade relativa verdadeira. Enquanto as correlações fortes negativas foram entre o teor de materiais voláteis e o poder calorífico superior, e entre o teor de materiais voláteis e o TCF. Isso ocorre já que quanto maior o teor de materiais voláteis, menor o teor de carbono fixo, que conseqüentemente afeta no poder calorífico do material.

Tem-se ainda que a densidade relativa verdadeira apresentou forte correlação linear positiva, tanto para o FVI quanto para o FVI₂, sendo considerada a variável que mais influenciou positivamente para o índice de valor combustível. Além disso, houve forte correlação negativa entre o teor de cinzas e FVI, indicando que quanto maior o teor de cinzas, menor o índice de valor combustível.

4.4 IMPLICAÇÕES E CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROBLEMÁTICA DO CARVÃO VEGETAL NO PARANÁ

A carência de legislações na maioria dos estados brasileiros faz com que não haja requisitos de qualidade mínimos a serem cumpridos durante o processo de fabricação, embalagem ou venda dos produtos. Como consequência disso, foi verificado neste trabalho, grandes variações das

características do carvão vegetal entre as amostras, que influenciam no rendimento final do carvão vegetal.

Os valores de teor de carbono fixo, teor de cinzas e o teor de materiais voláteis se aproximaram do recomendado pelo Selo Premium, o que indica que os valores estabelecidos para o estado de São Paulo podem ser utilizados também como parâmetro de qualidade no estado do Paraná.

O estado do Paraná necessita da criação de normativas que garantam uma boa qualidade dos produtos consumidos. Um dos principais pontos preocupantes é a grande presença de amostras que contém impurezas e lenha semicarbonizada em sua composição (quase a metade das amostras).

O problema da presença de impurezas e de tiços nas amostras é principalmente por questões de saúde. Vários estudos apontam que a queima da biomassa como a lenha para cozimento de alimentos, leva à uma taxa maior de câncer e outras doenças associadas a inalação ou ao consumo de alimentos contaminados com a fumaça. O estudo de Guerra et al. (2005) mostra que hábitos alimentares específicos, como o churrasco consumido na região Sul do país é associado às maiores taxas de câncer de esôfago do país. Já Varella (2013) cita que a utilização de lenha, carvão vegetal, ou qualquer outro tipo de biomassa pode causar até dois milhões de mortes ao ano no mundo, seja por pneumonia aguda ou câncer nas vias respiratórias. Ainda segundo Varella (2013) a utilização de fogões eficientes onde não haja contato direto da fumaça com as pessoas, haveria uma diminuição considerável das mortes ocasionadas por esse hábito.

A utilização do carvão vegetal em substituição à lenha para o cozimento de alimentos faz com que o risco de inalação de fumaça seja minimizado, já que há um teor muito menor de voláteis no carvão vegetal em comparação com a madeira, porém, a presença de pedaços não carbonizados dentro das embalagens faz com que haja então, conseqüentemente a queima dessa madeira e a eliminação desses compostos maléficis à saúde.

A falta de informações que atestem a origem do carvão vegetal consumido na região da cidade de Curitiba é outra questão preocupante. Sem a possibilidade de rastreamento pelo consumidor, ainda que feita por órgãos ambientais competentes (como IBAMA e IAP), a possibilidade de escolha entre marcas que utilizem carvões de florestas plantadas ou de florestas nativas é

suprimida. Para solucionar esse problema, uma normativa tal qual utilizada pelo estado de Minas Gerais, poderia ser implantada no estado do Paraná, assim, por meio da visualização de selos nas embalagens de carvão vegetal, o consumidor poderia optar pela origem florestal do carvão vegetal que mais lhe convir e terá, além disso, possibilidade de rastrear o produto.

A qualidade do carvão vegetal não é só uma questão de consumo, mas também de saúde pública. Se uma normativa tal qual o Selo Premium fosse adotada em todo o país, traria grandes benefícios aos consumidores, que atualmente são os principais prejudicados com a situação de comércio.

Enquanto leis não são impostas, o produtor tem papel crucial na cadeia produtiva a fim de ter interesse em fornecer um produto de boa qualidade, sem presença de impurezas, massa compatível ao descrito na embalagem, com baixo teor de finos e com controle de tempo e temperatura de carbonização. Porém, há uma carência de estudos sobre a atual situação da cadeia produtiva do carvão vegetal no estado do Paraná, o que dificulta o direcionamento de recursos e de investimentos que possibilitaria sanar os impactos negativos e provocando o melhoramento da cadeia.

5 CONCLUSÕES

O carvão vegetal utilizado para fins domésticos na cidade de Curitiba tem produção tipicamente regionalizada, uma vez que as cidades produtoras são predominantemente da região metropolitana, com distância média entre produtor e consumidor de 17,7 km. Isso demonstra que não há gastos excessivos com transporte e que a produção regional está atendendo ao consumo local, tornando essa característica positiva e favorecendo o comércio do produto.

Os valores de teor de cinzas, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo, densidade relativa aparente e verdadeira, porosidade, poder calorífico e teor de umidade são considerados valores médios, já o índice de quebra e abrasão foi considerado baixo, o que atesta um carvão vegetal de qualidade intermediária.

Apesar dos valores do teor de carbono fixo e teor de materiais voláteis estarem próximos ao recomendado pelo Selo Premium de São Paulo, outras características como teor de umidade, cinzas e grandes quantidades de amostras com impurezas e/ou atíços, fez com que os padrões estipulados pelo Selo Premium não fossem atendidos.

Apenas a amostra 4 atende as especificações do Selo Premium de São Paulo, podendo assim ser considerada de qualidade superior às outras amostras, pois possui baixo teor de cinzas e de umidade, alto poder calorífico e de carbono fixo, sem a presença de materiais estranhos e/ou impurezas, e com informações sobre a origem florestal do carvão vegetal em questão. Todas as outras amostras não se adequaram em pelo menos um ponto do que é exigido o Selo Premium de São Paulo.

Não há padronização de embalagens, impossibilitando a rastreabilidade do produto. Verifica-se a necessidade da criação de normativas que assegurem a origem (madeira nativa ou plantada), aspectos de sustentabilidade, informações técnicas sobre o produto (tipo da madeira, aspectos de qualidade, etc.) e recomendações de uso. Essa medida garante ao consumidor a possibilidade de comparar diferentes marcas no ato da compra. Apesar da falta de padronização, as amostras apresentam registros em órgãos ambientais estaduais e/ou federais de fiscalização.

O índice de valor combustível mostrou-se eficaz para a determinação de qualidade do carvão vegetal e o novo método sugerido para o cálculo desse índice permite, com facilidade, encontrar o melhor combustível dentro de uma amostra de vários combustíveis, o que favoreceria na seleção do produto pelo consumidor, por exemplo, caso essa informação fosse divulgada nas embalagens do produto, tornando-se uma ferramenta adicional de escolha.

6 RECOMENDAÇÕES

No decorrer do desenvolvimento desta dissertação, notou-se a necessidade de estudos que abordassem outros tópicos e que poderiam contribuir para um enfoque mais amplo e completo sobre qualidade do carvão vegetal para uso doméstico no estado do Paraná. Entre eles:

- Um trabalho que estude profundamente as leis que regem a produção e comercialização do carvão vegetal e que possam atribuir medidas de políticas públicas para tornar a cadeia mais competitiva, com melhores índices de sustentabilidade e com garantia de qualidade do produto;
- Um estudo que verifique e caracterize a cadeia produtiva do carvão vegetal no estado do Paraná, que possibilitaria entender e atribuir aspectos de baixa qualidade a determinadas causas, como nível de escolaridade dos trabalhadores, utilização de madeira nativa ou plantada para a produção de carvão vegetal, tipo de forno para carbonização utilizado, necessidade de investimentos, entre outros.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, F. M.; GOMES, L. J.; NOGUEIRA, M.; RIBEIRO, G. T. Caracterização do consumo de lenha pela atividade cerâmica, nos municípios de Itabaiana, Itabaianinha e Umbaúba-SE. **Revista Científica Eletrônica De Engenharia Florestal**, Ano VII, n.12, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico 2013 (Ano base 2012)**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf>>. Acesso em 12 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8740: Carvão vegetal - Determinação do índice de quebra e abrasão - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**. Rio de Janeiro, 2003.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. D 1762 – 84, 2001 (2007)**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2007, DOI: 10.1520/D1762-84R07. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em 12 fev. 2016.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Standard Test Method for Apparent and True Specific Gravity and Porosity of Lump Coke. d 167-93 (1999)**. West Conshohocken, PA. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em 12 fev. 2016.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. D5865 (2013)**. Disponível em: <<http://www.astm.org>>. Acesso em 12 fev. 2016.

BATALHA, M. O.; SILVA, A. L. Gerenciamento de sistemas agroindustriais: definições, especificidades e correntes metodológicas. **Gestão Agroindustrial**. 3. ed., v. 1. São Paulo: Atlas, 2007. 770 p. p. 1-62.

BHATT, B. P.; TOMAR, J. M. S. Firewood properties of some Indian mountain tree and shrub species. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, n. 4, p. 257-260, 2002.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 169p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Editora Interciência, 2010.

BRAND M. A.; RODRIGUES. A. A.; OLIVEIRA, A.; MACHADO. M. S.; ZEN, L. R.; Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na Região Serrana Sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1165-1173, 2015.

BRIDGEWATER, A. V. **Review of Thermochemical Biomass Conversion**, ESTU B1202, Crown, 1991.

BRITO, J. O., BARRICHELO, L. E., MURAMOTO, M. C., COUTO, H. D. **Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal partir de sua densidade aparente**. IPEF.1982.

BRITO, J. O. Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 4, n. 9, p. 221-227, 1990. Disponível em: <<https://goo.gl/EdghQ8>>. Acesso em 27 Out. 2015.

BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **Piracicaba IPEF**, v. 6, 1993.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia**. IPEF-ESALQ. Série Técnica, v.2, 1981, p. 1–25. Disponível em < <https://goo.gl/Vz9eGK>>. Acesso em 26 jun. 2015.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**, v. 21 (59), 2007, pg. 185 -193. Disponível em: <<https://goo.gl/lo5WZv>>. Acesso em 22 jun. 2015.

CARRIERI-SOUZA, M.; FANTINI, A. C.; ULLER-GÓMEZ, C.; DOROW, R. Cadeias produtivas do carvão vegetal na agricultura familiar no sul do Brasil. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**. v. 31, 2014.

CARVALHO, M. M., PALADINI, E. P., BOUER, G., FERREIRA, J. J. A., MIGUEL, P. A. C., SAMOHYL, R. W., e ROTONDARO, R. G. **Gestão da qualidade**. Teoria e casos. 2012.

CHAVES, A. P. **Os problemas do carvão em geral e do carvão brasileiro em particular**. Comunicação técnica do livro Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente, 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/abFdXA>>. Acesso em 22 jun. 2015.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e Estatística**. 2ª ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 116p. 2003.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. **Biomassa para Energia** - 2.ed. Campinas: Editora da UNICAMP, v. 1. 736p. 2009.

DAMÁSIO, R. A. P., PEREIRA, B. L. C., OLIVEIRA, A. C., CARDOSO, M. T., VITAL, B. R., e CARVALHO, A. M. L. M. Caracterização anatômica e qualidade

do carvão vegetal da madeira de pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 261-267, 2013.

DIAS JÚNIOR, A. F., ANDRADE, C. R., BRITO, J. O., E MILAN, M. Quality Function Deployment (QFD) in the Evaluation of Charcoal Quality Used for Food Cooking. **Floresta e Ambiente**, v. 22(2), p. 262-270, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional (BEN)- Relatório Síntese 2016 (ano base 2015)**. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em 13 jun. 2016.

FIGUEIREDO FILHO, D. B; SILVA JUNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, 2010.

FRANÇA, R. F. **Estrutura anatômica da madeira e do carvão de espécies da caatinga**. 100f. Dissertação (mestrado) Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. 2015.

GUERRA, M. R.; GALLO, C. D. M.; MENDONÇA, G. A. S.; SILVA, G. A. Risco de câncer no Brasil: tendências e estudos epidemiológicos mais recentes. **Revista Brasileira de Cancerologia**, v. 51, n. 3, p. 227-234, 2005.

IKA. Calorímetro C 5000. Disponível em: <<https://goo.gl/c3o7lb>>. Acesso em 12 jun. 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA), 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/J1lhs1>>. Acesso em 12 set. 2016.

JACINTO R.C. **Qualidade do carvão vegetal comercializado para uso doméstico na Região Serrana de Santa Catarina**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC. 2014.

LORA, E. S.; ANDRADE, R. V. Biomass as energy source in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 4, p. 777-788, 2009.

LUSTOSA JÚNIOR, I. M., CORDEIRO, S. A., MACHADO, J. S., DE OLIVEIRA, R. J., e NETO, R. M. G. Perfil Socioeconômico de Trabalhadores do Segmento de Carvão Vegetal e Percepção da População Local em Curimatá-PI. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n.2, p.206-213, 2014.

MACHADO, G.O; VOGUEL, F.; SILVA, M. M. e; **Influence of Temperature Carbonization in Physical, Chemical and Energy of Charcoal From Cinamomo**. Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, UNICENTRO, 2014.

MACHADO G. O.; **Apostila de Matérias Primas Florestais**. Irati, 2015. No prelo.

MAYER, S. L. S. **Dendroenergia de cinco espécies nativas do Níger no sahel africano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016

MINAS GERAIS. **Resolução SEMAD/IEF nº 1658, de 27 de julho de 2012**. Acesso em 12 jun. 2016.

MOTA, F. C. M. **Análise da cadeia produtiva do carvão vegetal oriundo de Eucalyptus sp. no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília – UnB, Brasília/DF, 169p. 2013.

NISGOSKI, S., MAGALHÃES, W. L. E., BATISTA, F. R. R., FRANÇA, R. F., e MUÑIZ, G. I. B. D. (2014). Anatomical and energy characteristics of charcoal made from five species. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 3, p. 367-372, 2014.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 199p. 2003.

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; WEISE, S. M. K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Revista Floresta**. v.45, n.1, 2015.

OLIVEIRA, A. F., BAVARESCO, A., PESSUTI, C. A. A., MIYASHIRO, C. S., e FRANK, J. Análise da Qualidade do Carvão para Consumo Doméstico de Quatro Municípios do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 3, 2015.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P, A.; ALMEIDA, M. R. **Estudos Preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal; Propriedades do Carvão Vegetal**. In. Carvão vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. Belo Horizonte, livro. (Série de Publicações Técnicas, 6). 1982.

OLIVEIRA, A. C., CARNEIRO, A. D. C. O., VITAL, B. R., ALMEIDA, W., PEREIRA, B. L. C., e CARDOSO, M. T. (2010). Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Florestalis**. Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PARANÁ. **Lei 11054 - 11 de Janeiro de 1995**. Disponível em: <<https://goo.gl/KVXjGo>> . Acesso em 12 set. 2016.

PARANÁ. **Resolução CEMA nº 072 - 22 de Outubro de 2009**. Disponível em: <<https://goo.gl/NnpFP5>>. Acesso em 12 set. 2016.

PARANÁ. Resolução Conjunta IBAMA / SEMA / IAP Nº 47, de 28 de setembro de 2007. **Diário Oficial do estado do Paraná**. 2007. Normas e procedimentos para regularização ambiental de produção e transporte de Carvão De Origem Vegetal. Disponível em: <<https://goo.gl/UW7WNk>>. Acesso em 26 de jun. 2015.

PARANÁ EM DADOS. **Sistema FIEP**. Disponível em: <<https://goo.gl/hbVM97>>. Acesso em 15 out. 2015.

PENNISE, D. M.; SMITH, K. R.; KITHINJI, J. P.; REZENDE, M. E.; RAAD, T. J.; ZHANG, J.; FAN, C. Emissions of greenhouse gases and other airborne pollutants from charcoal making in Kenya and Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. D20, p. 24143-24156, 2001.

PIMENTA, A. S., MINETTE, L. J., FARIA, M. M. D., SOUZA, A. P. D., VITAL, B. R., e GOMES, J. M. Avaliação do perfil de trabalhadores e de condições ergonômicas na atividade de produção de carvão vegetal em bateria de fornos de superfície do tipo "rabo-quente". **Revista Árvore**, v.30(5), p.779-785, 2006.

PUROHIT, A. N.; NAUTIYAL, A. R. Fuelwood value index of Indian mountain tree species. **International Tree Crops Journal**, v. 4, n. 2-3, p. 177-182, 1987.

RIBEIRO, P. G.; VALE, A. T. Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: Reunião Anual da SBPC., 58, 2006, Florianópolis - SC. **Anais...58ª Reunião Anual da SBPC.**, 2006. v. 01. Disponível em: < <https://goo.gl/EyoetW>>. Acesso em 24 jun. 2015.

ROSA, R. A. **Qualidade do carvão vegetal, para uso doméstico, comercializado em três municípios do estado do Espírito Santo**. 55f. Monografia (Graduação), Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

ROSA, R. A.; ARANTES, M.D.C.; PAES, J.B.; ANDRADE, W.S.P.; MOULIN, J.C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, p. 41-48, 2012.

SÃO PAULO. Resolução SAA - 10, de 11-7-2003. **Diário Oficial do estado de São Paulo**. Volume 113 - Número 129 - São Paulo, sábado, 12 de julho de 2003. Disponível em: <<https://goo.gl/owXdSq>>. Acesso em 25 de jun. 2015.

SÃO PAULO. **Resolução SMA nº 40, de 5 de junho de 2012**. Disponível em: <<https://goo.gl/xaRWck>> Acesso em 25 jun. 2015.

SAMPAIO, R.; PINHEIRO, P. (2008). Carvão vegetal - aspectos sociais e econômicos. **1º. Seminário Madeira Energética**, 2008.

SÁNCHEZ, C. G. **Tecnologia da gaseificação de biomassa**. Campinas: Átomo, 2010. 430p.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO – SEAB. **Preços e produção de carvão vegetal no Estado do Paraná - 2016**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/>> Acesso em 05 jul. 2016.

SILVA, D. A. D.; BRITO, J. O. Qualidade do carvão vegetal de madeiras amazônicas-Balbina. **Acta Amazônica**, v. 19, p. 525-530, 1989.

SILVA, D.A.; O lado bom do carvão. **Revista da Madeira** - Edição nº114 - Junho De 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/5pFHs4>>. Acesso em 24 06 jun. 2015.

SILVA, D.A. Qualidade do carvão vegetal produzido com madeiras da região de Manaus em fornos de alvenaria. **Acta Amazônica**. Manaus, v. 18, n. 1-2, p. 163-178, 1988.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A.; Cadeia produtiva de energia de biomassa na região do planalto sul de Santa Catarina: uma abordagem prospectiva. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.6, p.1091-1099, 2010.

VARELLA, D. **Fogão a lenha**. Disponível em: <<https://goo.gl/Uw2NR9>>. Acesso em 2 fev. 2017.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A.C.; CRUZ, F.M. **Manual de identificação de carvão vegetal**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2014.