

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

ALAOR COELHO SILVA

QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PROVENIENTE DE SISTEMA
FORNO-FORNALHA

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2017

ALAOR COELHO SILVA

QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PROVENIENTE DE SISTEMA
FORNO-FORNALHA

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências
Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Industrial Madeireiro com a
orientação da Prof^a. D.Sc. Marina
Donária Chaves Arantes.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2017

ALAOR COELHO SILVA

QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL PROVENIENTE DE SISTEMA
FORNO-FORNALHA

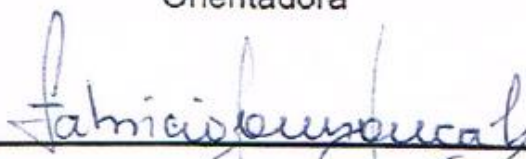
Monografia apresentada ao departamento de Ciências Florestais e da
Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito
parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro

Aprovada em 15 de fevereiro de 2017

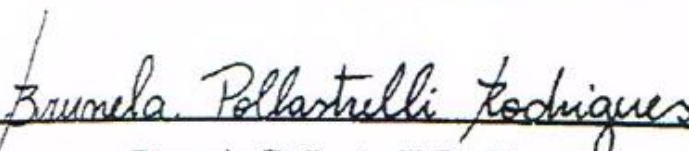
COMISSÃO EXAMINADORA



Mariña Donária Chaves Arantes
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora



Fabrício Gomes Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo



Brunela Pollastrelli Rodrigues
Universidade Federal do Espírito Santo

“Tenham uma mesma atitude uns
para com os outros. Não sejam
orgulhosos, mas estejam dispostos a
associar-se a pessoas de posição
inferior. Não sejam sábios aos seus
próprios olhos.”

(Romanos 12:16)

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado a vida e saúde para enfrentar toda essa jornada. O Senhor esteve comigo em todos os momentos, me deu força e não deixou que eu tropeçasse nas pedras que encontrei pelo caminho.

Aos meus pais Adertônio Cezário da Silva e Neusa Coelho de Paula Silva, e meu irmão Túlio Coelho Silva, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando minhas escolhas e minhas decisões. Vocês foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Todo amor, carinho e conselhos recebidos, me mantiveram forte o suficiente para nunca desistir, e lutar sempre quando tudo parecia perdido. Amo vocês.

Ao professor Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, pela amizade, ensinamentos e orientação durante mais de três anos de Iniciação Científica. Ao professor Marcos Oliveira de Paula, por ter aberto o caminho da pesquisa, por todos os puxões de orelhas e aprendizados que levarei para a vida. A professora Marina Donária Chaves Arantes e ao professor Wendel Sandro de Paula Andrade, por todo auxílio prestado na execução desta pesquisa.

A todos os técnicos de laboratório que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado, em especial ao marceneiro Elecy, pela amizade durante os anos de graduação. E ao Higor pela ajuda na execução dos experimentos.

A todos os colegas de classe, pela companhia e alegria que me proporcionaram durante este tempo que estivemos juntos.

A FAPES e a BBM – Bragança Beneficiamento de Madeiras Ltda por possibilitarem a realização deste estudo.

A Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade de realizar o curso de Engenharia Industrial Madeireira e ao CNPq pelas bolsas de iniciação científica conquistadas durante a graduação.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida durante esses anos de Alegre, aquelas que me deram carona para ir para a faculdade, as que me fizeram refletir sobre a vida, que me proporcionaram momentos alegres e tristes. Tudo isso contribuiu para o meu crescimento pessoal.

Muito obrigado!

RESUMO

O aproveitamento e a adequada destinação dos resíduos, tem se tornado uma necessidade constante nas indústrias madeireiras. A carbonização surge como uma alternativa ambientalmente interessante, visto que utiliza um sistema forno-fornalha, que possibilita a queima de gases gerados durante o processo de carbonização. Este estudo teve como objetivo analisar as propriedades do carvão vegetal, produzido a partir da carbonização de resíduos de *Eucalyptus* spp., em forno modelo MF1 – UFV e avaliar os índices econômicos para implantação e funcionamento deste projeto. O carvão vegetal analisado foi obtido a partir das três primeiras carbonizações, realizadas após a instalação do sistema forno-fornalha. Foram retiradas amostras da porta, meio e fim do forno, que posteriormente deram origem a uma amostra composta, para o estudo do rendimento gravimétrico, propriedades físicas e químicas. Uma amostra representativa dos resíduos madeireiros de cada carbonização, também foi coletada, para análise das propriedades físicas e químicas. Os custos fixos e variáveis, assim como índices econômicos, foram analisados a fim de verificar a viabilidade econômica do projeto. O rendimento gravimétrico do carvão variou de 30,84 a 33,80% (base seca), a densidade média aparente foi de 302 a 335 kg m⁻³; o poder calorífico foi de 7842 a 8155 kJ kg⁻¹; o teor de materiais voláteis variou de 10,58 a 13,43%; cinzas de 0,46 a 0,78%; e o carbono fixo de 85,79 a 88,70%. Para os resíduos madeireiros, a densidade básica variou de 493 a 541 kg m⁻³, o poder calorífico de 4.466,5 a 4.602,0 kcal kg⁻¹, o teor de cinzas de 0,26 a 0,38%, o teor de extrativos de 3,97 a 6,50%, e o teor de lignina total de 25,49 a 28,02%. Por meio das análises das propriedades do carvão, foi possível verificar sua qualidade e potencial para comercialização e uso em churrascarias, padarias, pizzarias e indústrias. Os índices econômicos avaliados indicaram a inviabilidade da construção do sistema forno-fornalha, em indústrias com equipamentos, espaço útil e mão de obra limitados, acarretando em um lucro negativo. Entretanto, para a empresa em estudo, a instalação do sistema mostrou-se economicamente viável.

Palavras-chave: Resíduos de eucalipto. Carbonização. Queima de gases. Viabilidade econômica.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Resíduos madeireiros e sua importância	4
2.3 Carbonização da madeira	6
2.4 Análise da viabilidade econômica do projeto	9
3. METODOLOGIA	11
3.1 Descrição da área de estudo	11
3.2 Amostragem e caracterização dos resíduos de madeira	11
3.3 Processo de carbonização	13
3.3.1 Ignição e controle da carbonização	14
3.3.2 Combustão de gases na fornalha	16
3.3.3 Resfriamento, abertura e descarregamento do forno	17
3.4 Rendimento gravimétrico da carbonização	17
3.5 Amostragem e caracterização do carvão vegetal	18
3.6 Análise econômica do projeto	19
3.7 Análise estatística	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Propriedades dos resíduos madeireiros e carvão vegetal	26
4.2 Rendimento gravimétrico da carbonização	29
4.3 Viabilidade econômica do projeto	31
4.3.1 Instalação do sistema forno-fornalha em uma empresa genérica	31
4.3.2 Instalação do sistema forno-fornalha na empresa BBM – Bragança Beneficiamento de Madeiras	34
5. CONCLUSÕES	37
6. REFERÊNCIAS	38
APÊNDICES	44

1. INTRODUÇÃO

Grande parte das indústrias de processamento de madeira no Brasil é familiar ou de pequeno porte. Além disso, o baixo investimento em tecnologia e mão de obra qualificada acarreta em um maquinário defasado e menor rendimento da produção (RANGEL, 1993). Associado ao baixo rendimento proveniente do processamento mecânico da madeira surge a geração de resíduos, que muitas vezes não são direcionados adequadamente pela ausência de programas de tratamento e aproveitamento ou ainda pela despreocupação ambiental por parte das pequenas indústrias.

A madeira, após o abate da árvore, passa por diversos procedimentos de usinagem que provocam a geração de resíduos. Na maior parte dos casos, resíduos como casca, serragem, maravalha, aparas, refilos, costaneiras e toretes, ficam alocados no pátio das indústrias madeireiras, gerando alguns problemas, como a proliferação de organismos xilófagos, risco de incêndios e desorganização do fluxo operacional.

O não tratamento ou adoção de procedimentos inadequados para redução dos resíduos podem trazer danos tanto ambientais, quanto para a saúde humana. Ao se despejar uma grande quantidade de matéria orgânica próxima a recursos hídricos, a decomposição deste material acarreta na contaminação do local, redução da qualidade da água disponível para consumo humano e animal e mortandade de peixes.

Em alguns casos, nota-se que algumas indústrias promovem a queima clandestina dos resíduos, provocando a emissão de gases tóxicos que contribuem para redução da qualidade do ar e aumento do efeito estufa. A carbonização é uma boa alternativa para a redução dos resíduos, porém deve ser realizada de maneira correta, seguindo-se procedimentos técnicos antes e após a instalação do forno.

Ao se optar pela implantação de um sistema de carbonização forno-fornalha, a indústria madeireira tem a possibilidade de agregar valor a um material que seria descartado, pela geração de carvão vegetal. Além disso, é possível associar a preservação do ambiente à produção, visto que os resíduos madeireiros não serão mais depositados em terrenos baldios ou queimados sem nenhum controle. A

fornalha possibilita a queima dos gases gerados durante o processo, o que reduz o impacto ambiental e proporciona a geração de energia térmica.

Porém, antes de efetuar o investimento, é necessário realizar uma quantificação dos resíduos produzidos na indústria madeireira, a fim de verificar se a empresa é capaz de suprir a demanda do sistema forno-fornalha. Uma análise econômica também deve ser elaborada, com o intuito de investigar o capital requerido para a instalação do sistema forno-fornalha e a possível lucratividade do projeto.

O tratamento ou direcionamento dos resíduos é uma necessidade de todo empreendimento que o gera. O aproveitamento deste material proporciona ganhos não só para a população e ambiente, mas para a empresa, pelo aumento da competitividade dos produtos, em virtude do processo de produção mais “limpo” e sustentável e pelo cumprimento das condicionantes do licenciamento ambiental.

1.1 O problema e sua importância

Em virtude da grande quantidade de resíduos lignocelulósicos gerados nas indústrias madeireiras, torna-se necessário investigar uma melhor forma de aproveitamento deste material.

A carbonização dos resíduos utilizando um sistema forno-fornalha surge como uma alternativa, visto que possibilita agregar valor a um material disponível na empresa, associado à preservação do ambiente. Isto é justificado pelo queimador/fornalha, que proporciona a redução de gases tóxicos eliminados durante a carbonização ao ambiente.

Assim, a análise do carvão produzido a partir de resíduos, bem como a verificação da viabilidade econômica do projeto de instalação do sistema forno-fornalha, são fundamentais para a difusão da carbonização como forma de utilização dos resíduos madeireiros por empresas de pequeno porte.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar, tecnicamente, o funcionamento de um sistema forno-fornalha e o carvão vegetal produzido.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar o processo de carbonização de resíduos de madeira não tratada.
- Determinar o rendimento gravimétrico e as propriedades físicas, químicas e energéticas do carvão obtido e dos resíduos.
- Avaliar a viabilidade econômica do projeto por meio de indicadores econômicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos madeireiros e sua importância

O gerenciamento dos resíduos proporciona a redução do impacto ambiental, do consumo de recursos naturais e o aumento da qualidade de vida das pessoas afetadas por sua produção. Segundo a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), resíduo sólido é todo objeto descartado no estado sólido ou semissólido, resultante de alguma atividade humana na sociedade. Cabe ao gerador, realizar uma destinação final ambientalmente correta, seja pela reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação ou aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

A grande quantidade de resíduos produzidos, principalmente em grandes cidades, levou a situações alarmantes pela falta de destinação adequada e local para armazenamento, acarretando na poluição do lençol freático, propagação de animais transmissores de doenças e liberação de gases pela decomposição da matéria orgânica (HÜEBLIN, 2001).

A utilização dos resíduos madeireiros promove diversos benefícios, estando entre eles a conservação do ambiente; melhoria nas condições sociais pela criação de novas oportunidades de trabalho e emprego de mão-de-obra pouco qualificada; e incentivo à economia, acarretado pela criação de novas fontes de renda para a comunidade, pela valorização dos resíduos (LOPES, 2009).

As indústrias madeireiras são grandes fontes de geração de resíduo sólido, estando entre eles costaneiras, refugo, aparas, destopos, casca, maravalha e pó de serra. São estabelecidos como resíduos industriais florestais, os subprodutos obtidos em decorrência do desdobro primário e secundário, e pelos diversos usos da madeira (NUMAZAWA et al., 2003¹ apud MELO et al., 2012).

Os resíduos originados de operação das serras como a serragem, podem chegar a 12% da matéria-prima, enquanto os cepilhos e a lenha ficam por volta de 20 e 50%, em indústrias de beneficiamento, e em serrarias e laminadoras respectivamente (HÜEBLIN, 2001).

¹NUMAZAWA, S.; et al. Determinação do índice de conversão da tora em madeira serrada de oito espécies florestais processadas na empresa Comércio Madeira Dunorte Ltda. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL, 9., 2003, Belém. **Anais eletrônicos...** Belém: ABIMCI, 2003.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2016), a matriz energética brasileira é constituída por fontes de energia renováveis e não-renováveis. A última possui maior oferta, tendo como principais componentes o petróleo, gás natural e carvão mineral. Entretanto, a biomassa possui participação significativa na matriz energética, chegando a contribuir com quase 30% de toda energia produzida no País. A lenha e o carvão vegetal, além de representarem 20% de toda a energia renovável ofertada no Brasil, estão entre os tipos de biomassa mais utilizados, perdendo apenas para os derivados da cana-de-açúcar.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2009) estima-se que no Brasil a perda pela não utilização de resíduos madeireiros na produção de energia elétrica chegue a R\$4,2 milhões ano⁻¹. Isso ocorre porque o custo de produção de energia a partir da biomassa é de 3 a 4 vezes menor que a produção a base de óleo diesel, além de aquela ser uma matéria-prima de origem renovável. A utilização da biomassa na produção de energia elétrica possui impactos ambientais (redução da emissão de gases) e obtenção de créditos de carbono, sociais (geração de emprego e renda) e aumento da vida útil dos aterros, visto que os resíduos provenientes da poda de árvores terão um novo destino.

O aproveitamento de resíduos oriundos de indústrias madeireiras é uma alternativa para a geração de energia térmica e elétrica a partir da biomassa. Entretanto, para a viabilização dessa atividade, é necessário entender toda a cadeia produtiva de resíduos, considerando a sua quantificação e os aspectos econômicos envolvidos no transporte e armazenamento, assim como novas alternativas de uso (MMA, 2009).

Grande parte dos resíduos de madeira são gerados pela usinagem da madeira em serrarias, em que o percentual produzido varia conforme o tipo de processo empregado, nível tecnológico, tipo de matéria-prima e do produto final obtido (HILLING et al., 2006). Apenas uma parcela dos resíduos é aproveitada para algum fim econômico, social e/ou ambiental. Na Amazônia, por exemplo, a maioria dos resíduos gerados, são queimados sem nenhum aproveitamento energético ou são simplesmente abandonados, resultando em perdas econômicas e ambientais (MMA, 2009).

Ao se tratar de resíduos industriais de madeiras gerados na região sul e sudeste do Brasil, muitos são aproveitados, especialmente na produção de painéis reconstituídos de madeira e geração de energia térmica e elétrica. Isso favorece a

matriz energética do País, pela utilização de energia limpa e renovável, além de reduzir os danos ambientais associados aos resíduos de madeira, garantindo também um retorno econômico compatível (MMA, 2009).

Um diagnóstico realizado em Minas Gerais, pela Empresa de Assistência Técnica e Rural (2008), sobre o artesanato produzido pela agricultura familiar, revelou que 11,3% do total dos artesãos questionados utilizam a madeira como matéria-prima predominante, a qual é obtida na própria região. Além disso, cerca de 40% dos agricultores, relataram a fabricação do artesanato como principal fonte de renda da família. Brinquedos, artigos religiosos, acessórios de decoração e *Souvenires*, são os produtos mais confeccionados com esse material.

Os artesanatos de madeira, também conhecidos como pequenos objetos de madeira (POM) podem ser produzidos a partir de resíduos do processamento mecânico da madeira. Estes objetos, além de agregarem valor aos resíduos, possuem características semelhantes a produtos fabricados com materiais convencionais e exigem mão-de-obra pouco qualificada durante a produção, o que favorece o aumento de renda de pessoas desempregadas ou que trabalham informalmente (BARBOSA et al., 2011).

Um estudo realizado no Sul do Brasil em 2012 revelou que a produção de carvão vegetal proporcionou um aumento de mais da metade da renda de 46% dos agricultores familiares pesquisados, ressaltando a importância ambiental, social e econômica deste produto. Porém, a predominância do uso de matéria-prima proveniente de espécies nativas para produção de carvão, contribui para invisibilidade e clandestinidade desta atividade (BAUER et al., 2014).

A maior utilização do produto da carbonização, ou seja, o carvão vegetal, se concentra no setor siderúrgico, principalmente em Minas Gerais e sul do Pará/Maranhão. Porém, para ser consumido por esse setor, o carvão necessita atender uma série de requisitos como densidade, dimensão e homogeneidade, que são alcançados apenas com a carbonização da madeira em toras. Entretanto, como a produção de carvão para uso doméstico não requer grande controle, os resíduos de madeira podem ser utilizados para sua fabricação (MMA, 2009).

2.3 Carbonização da madeira

O aproveitamento de resíduos da indústria madeireira vai muito além da sua

simples alocação no meio florestal. Grande parte dos resíduos lignocelulósicos possui potencial energético em indústrias, seja pela queima direta “in natura”, ou de subprodutos como briquetes e *pellets*. Porém, o que se vê na prática, é a queima dos resíduos sem nenhum aproveitamento energético ou despejo desse material em aterros ou terrenos baldios (HÜEBLIN, 2001).

O baixo rendimento nas indústrias madeireiras é um dos fatores que justifica a alta geração de resíduos, que ao serem dispersos no ambiente podem gerar sérios problemas de poluição, principalmente se forem incinerados sem nenhum controle ambiental (DUTRA; NASCIMENTO; NUMAZAWA, 2005).

Para transformar os resíduos em energia, existem diferentes métodos, destacando-se a combustão direta, gaseificação e carbonização (QUIRINO, 2002).

A carbonização é o processo de transformação térmica da madeira, em um ambiente com o controle de oxigênio ou ausência do mesmo, gerando uma porção sólida e outra gasosa. A porção sólida é o próprio carvão vegetal, enquanto a gasosa resulta em gases condensáveis (alcatrão e licor pirolenhoso) e não condensáveis, composta por CO_2 , CO , N_2 , H_2 e C_nH_m (ALMEIDA; REZENDE, 1982).

A madeira é composta por celulose (45%), hemicelulose (29%), lignina (23%) e extrativos (3%), sendo estes valores dependentes do tipo de madeira analisada (coníferas ou folhosas). Em relação à composição química elementar deste material, ocorre a incidência de 47% de Carbono (C), 6% de Hidrogênio (H) e 41% de Oxigênio (O), além de outros elementos químicos como Nitrogênio (N), sais minerais e cinzas (OLIVEIRA et al., 1982).

O processo de carbonização possui quatro fases. A secagem consiste na evaporação da água presente na madeira, atingindo temperaturas entre 100 e 200°C, enquanto na pré-carbonização (180 a 300°C), alguns gases começam a serem produzidos. Ao atingir a faixa de 250 a 300°C, a carbonização se inicia, ocorrendo uma grande liberação de gases em virtude da reação exotérmica. Na última fase (acima de 300°C), ocorre a fixação de carbono no carvão e a redução no teor de materiais voláteis (ALMEIDA; REZENDE, 1982). A madeira, após o início do processo de carbonização, sofre perda de água e de massa, em virtude da degradação de parte de seus componentes, como hemicelulose, celulose e lignina (Figura 1).

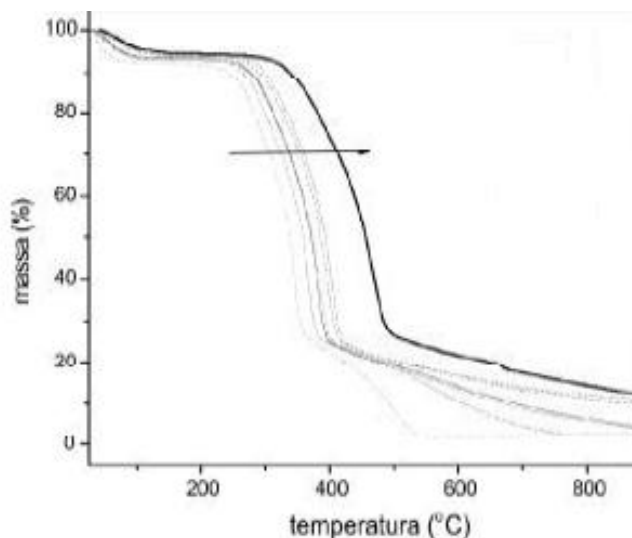


Figura 1 – Perfil da perda de massa da acácia-negra em função da temperatura de carbonização em diferentes taxas de aquecimento.

Fonte: Riegel et al. (2008) adaptado.

Grande parte do carvão produzido no Brasil provém de pequenos produtores, que o fazem a partir de fornos rudimentares de baixo rendimento e sem controle da emissão de poluentes. Portanto, o desenvolvimento de fornos com tecnologia de baixo custo de instalação, alto rendimento e que possibilite a queima de gases gerados durante a carbonização, é fundamental para a redução da poluição ambiental e aumento da qualidade do carvão vegetal (CARDOSO, 2010).

Um exemplo de nova tecnologia empregada para o processo de carbonização da madeira é o sistema forno-fornalha, o qual é um conjunto de dois equipamentos, sendo eles o queimador ou fornalha e o forno de carbonização. Este conjunto tem como objetivo incinerar os gases produzidos durante a obtenção do carvão vegetal e gerar energia térmica. Além disso, estes equipamentos auxiliam a saída de gases do interior do forno por diferença de pressão e contribuem para uma visão mais limpa do processo de carbonização, pela redução da emissão de poluentes atmosféricos (OLIVEIRA, 2012).

O sistema forno-fornalha é de fácil construção, possuindo um custo médio de implantação equivalente a \$2.068,18 dólares. Este sistema proporciona um rendimento gravimétrico do carvão de 29%, enquanto a geração de atijo e finos fica por volta de 4%. Além disso, os gases causadores do efeito estufa, principalmente metano e monóxido de carbono, são reduzidos em 97 e 94%, respectivamente, pela utilização da fornalha (CARDOSO, 2010).

O forno adotado por Cardoso (2010), em seu estudo, possui capacidade de 10,4 estéreos (st) de madeira por carbonização. Além disso, apresenta formato retangular, visando uma representação em menor escala dos fornos industriais da empresa ArcellorMittal.

O forno MF1-UFV, projetado pela Universidade Federal de Viçosa, em parceria com a empresa ArcellorMittal Bioenergia, possui formato circular e capacidade de 12 st de madeira. Além disso, possui uma fornalha acoplada ao sistema, para realizar a queima de gases produzidos durante o processo de carbonização da madeira (carregamento, carbonização, resfriamento e descarga do forno), que tem duração de cinco dias (OLIVEIRA, 2012).

Assim, é necessário um maior investimento em tecnologia de construção de fornos de carbonização, visando à redução do tempo de produção, aumento do rendimento em carvão vegetal e melhores condições de trabalho. Isto possibilitaria a difusão de um novo sistema de carbonização entre os produtores e uma maior valorização do setor.

2.4 Análise da viabilidade econômica do projeto

Para a implantação de novas tecnologias de carbonização pelos produtores de carvão vegetal, é necessário que elas sejam eficientes e de baixo custo. Sendo assim, os empreendimentos deste setor necessitam de estudos de viabilidade econômica, a fim de verificar um projeto que alie menores custos de implantação e manutenção a maior rendimento em carvão vegetal (CARNEIRO et al., 2012).

As tomadas de decisões podem levar uma empresa para o sucesso ou fracassá-la completamente. Portanto, para a realização dos propósitos, é necessário que o gestor tenha conhecimento de todas as informações econômicas do projeto, a fim de facilitar o seu processo decisório (CORREIA, 2014).

Os indicadores econômicos podem ser utilizados para analisar os recebimentos, projetar lucros e mostrar a lucratividade de um projeto. A análise dos indicadores é uma das principais ferramentas para a demonstração do fluxo de caixa de um empreendimento, sendo essencial para tomada de decisões de investimento em projetos (BARROZO, 2010).

Após a análise de alguns indicadores econômicos como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), é possível concluir a respeito da

viabilidade econômica de um projeto. Além disso, é possível identificar a lucratividade de uma atividade, assim como comparar as taxas de rendimento com outro tipo de investimento (CHICHORRO; BAUER; PEREIRA, 2014).

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado utilizando um forno de produção de carvão vegetal modelo MF1 – UFV, pertencente ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira/CCAUE/UFES e instalado junto à empresa BBM – Bragança Beneficiamento de Madeiras Ltda. Esta unidade encontra-se localizada na Fazenda São Francisco, no município de Alegre, estado do Espírito Santo, situada a 20°44'03"S de latitude e 41°29'19"W de longitude, no Km 02 da rodovia Toufik Faissal.

A área de produção do carvão vegetal está localizada a 20 metros do galpão de preservação de madeira, possui espaço para o armazenamento de lenha e instalação de novos fornos de carbonização. A matéria-prima utilizada provém de resíduos de povoamentos de eucalipto, constituídos por diversas espécies (*Corymbia citriodora*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e outros), sendo justificado pela compra de madeira de acordo com a disponibilidade da região, o que gera um material heterogêneo para carbonização.

Os resíduos são toretes gerados pelo ajuste do comprimento das toras que serão tratadas com agentes preservantes. Além disso, as toras com alta tortuosidade ou diâmetro inferior ao comercializado pela empresa, são refugadas e classificadas como resíduo.

3.2 Amostragem e caracterização dos resíduos de madeira

Para a caracterização e determinação das propriedades químicas e físicas dos resíduos madeireiros, foram coletados cinco toretes de madeira de cada carbonização (3 carbonizações), heterogêneos em espécie e diâmetro, sendo assim capazes de representar o carregamento do forno. Este material foi levado à marcenaria do DCFM/CCAUE/UFES, onde procedeu a retirada de três discos da parte central de cada torete, com três centímetros de espessura.

Cunhas opostas de cada disco foram separadas, identificadas e levadas para a saturação, permanecendo imersas em água até massa constante. O volume das cunhas foi determinado por meio do deslocamento de água, descrito pela Norma

Brasileira Regulamentadora – NBR 11941, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003). Posteriormente, o material foi acondicionado na estufa com temperatura de 103 +/- 3°C, até atingir massa constante, encontrando-se a densidade básica de acordo com a Equação 1.

$$d = \frac{M_s}{V_{sat}} \times 100 \quad (1)$$

em que:

d = Densidade básica (g cm⁻³);

M_s = Massa seca da madeira (g); e

V_{sat} = Volume saturado da madeira (cm⁻³).

Para a análise química da madeira, foram utilizadas duas cunhas opostas de cada disco/torete, compondo uma amostra composta. Elas foram separadas segundo o lote da carbonização (carbo1, carbo 2 e carbo 3) e levadas ao moinho de facas tipo *Willey*. Posteriormente, o material triturado foi peneirado, sendo coletada a serragem que passou na peneira de 40 e ficou retida na de 60 mesh, seguindo os procedimentos descritos pela norma TAPPI-T257cm-02 (2002): sampling and preparing wood for anaysis.

A serragem permaneceu na sala de climatização durante 20 dias. Posteriormente, foi realizada a análise química, visando a determinação do teor de extrativos da madeira, segundo especificações da norma TAPPI-T264 cm-97 (1997): preparation of wood for chemical analysis.

O teor de lignina foi determinado posteriormente, com 0,3 gramas da serragem livre de extrativos. A lignina insolúvel foi determinada pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). Do filtrado restante da análise da lignina Klason, foi realizada a leitura em espectrofotômetro, para determinação da lignina solúvel em ácido sulfúrico, conforme Goldschimid (1971).

Outra parte da serragem aclimatada e classificada (retida na peneira de 60 mesh) foi utilizada na determinação do teor de cinzas e do poder calorífico superior da madeira. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Energia da Biomassa, segundo as normas da Associação Brasileira Técnica de Celulose e

Papel – ABTCP M-11/77 (ABTCP, 1974) e NBR 8633 da ABNT (1983), respectivamente.

3.3 Processo de carbonização

Para verificar o desempenho do sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal, foram realizadas três carbonizações de resíduos de madeira, após a instalação do conjunto.

O carregamento do forno foi manual, com peças de madeira de até 1,5 metros de comprimento e diâmetro variável, sendo dispostas verticalmente em seu interior, para melhor aproveitamento do espaço interno. Todo o volume de madeira utilizada nas carbonizações foi pesado em uma balança digital, com precisão 0,050 kg, sendo a umidade determinada por um medidor com agulhas, com faixa de medição de 6% a 60% (base seca). Os espaços vazios próximo à copa do forno foram preenchidos com peças de madeira menores, também na posição vertical.

Antes do carregamento, foi preparado um “forro” no piso do forno, que consistiu na disposição de peças de madeira de pequeno diâmetro, na direção horizontal. O “forro”, apesar de reduzir a área útil da produção de carvão vegetal, possibilita uma melhor carbonização da madeira e uma menor geração de atíço (madeira parcialmente carbonizada), uma vez que a circulação de ar é facilitada e o contato da madeira com a umidade do chão é cessada.

Na primeira carbonização, o forno foi preenchido com a madeira em contato direto com o chão, sem a presença do forro. Entretanto, na segunda e terceira carbonização, ocorreu a utilização parcial e completa do forro, respectivamente (Figura 2).



Figura 2 – Empilhamento da madeira com a utilização do forro.

Fonte: O autor (2017).

Após o carregamento do forno, a porta foi fechada com tijolo maciço cerâmico, sendo unidos por uma argamassa composta por solo argiloso e água. Foi deixada uma abertura na parte superior da porta com 10 cm de altura e 70 cm de comprimento, para a posterior ignição do forno.

3.3.1 Ignição e controle da carbonização

A ignição da carga de madeira foi realizada pela abertura na porta, com um maçarico (Figura 3 A). Durante este processo, todas as entradas de ar (tatu) e a guilhotina (abertura no duto de comunicação dos gases para a fornalha), foram mantidas abertas até o início da combustão da madeira no ponto de aplicação da chama do maçarico. Posteriormente a abertura na porta foi fechada, como ilustra a Figura 3 B.



Figura 3 – A) Ignição da carbonização com maçarico. B) Fechamento da abertura da porta.

Fonte: O autor (2017).

O controle da carbonização foi feito pelo monitoramento da temperatura, controle da entrada de ar (oxigênio) pela abertura ou fechamento das lacunas (tatus) com tijolo e pela observação da queima dos gases gerados na fornalha durante a degradação térmica da madeira.

No início do processo de carbonização, durante a secagem da madeira, ocorreu a saída de vapor d'água na fornalha, caracterizado por uma fumaça de coloração branca e de rápida dispersão. Ao iniciar a carbonização, houve a liberação de gases, gerando uma fumaça densa e de cor branca/amarelada. Como a fornalha possibilita a queima de gases, foi possível visualizar a formação de uma chama amarela na parte superior da chaminé, indicando a redução dos poluentes gerados durante o processo. Posteriormente, a chama amarela foi cessada, dando origem a uma chama incolor/azulada, o que evidenciou a parte final do processo de carbonização.

O monitoramento da temperatura foi realizado a partir de oito cilindros metálicos existentes ao longo do forno, sendo quatro na parte superior (copa) e quatro na lateral do forno (poço). Utilizou-se um termômetro infravermelho digital, com faixa de medição entre -32 e 1650°C, para o aferimento dos valores de temperatura.

Em função da temperatura medida nas copas, procedeu-se a abertura ou fechamento dos tatus para o controle da entrada de oxigênio. O objetivo do controle da temperatura foi manter a carbonização dentro das faixas de degradação dos

constituintes da madeira (variação de temperatura com o tempo), visando uma temperatura final máxima de 420°C.

3.3.2 Combustão de gases na fornalha

Após a ignição do forno, foi realizado o acendimento da fornalha para a queima de gases provenientes da carbonização da madeira. Gravetos, cascas, pequenos toretes, e um maçarico, foram utilizados para acionar a fornalha. A Figura 4 ilustra o acendimento da fornalha.



Figura 4 – Acendimento da fornalha.

Fonte: O autor (2017).

A fornalha precisou ser abastecida em maior frequência, com resíduos, no início da carbonização. Após a elevação da temperatura em seu interior, os gases queimados foram capazes de manter a chama acesa, reduzindo a periodicidade de abastecimentos.

A entrada de ar da fornalha permaneceu semi-fechada, com um tijolo maciço cerâmico. Quando a chaminé apresentava sinais de que a queima de gases estava ineficiente (saída de fumaça branca/amarelada), foi necessário abrir a entrada de oxigênio ou abastecer a fornalha com mais material combustível lignocelulósico.

3.3.3 Resfriamento, abertura e descarregamento do forno

Após a redução da temperatura no interior do forno (até aproximadamente 350°C) e da emissão de gases do processo de carbonização, verificada após a visualização da chaminé, as entradas de ar (tatus) foram fechadas, assim como a guilhotina presente no duto de comunicação forno-fornalha. Todos estes pontos foram selados com argamassa, composta de solo argiloso e água, para garantir a completa finalização da carbonização.

O resfriamento ocorreu de forma natural, não sendo utilizado nenhum método para acelerar este processo. O termômetro infravermelho foi utilizado para verificar a temperatura interna do forno no dia da abertura, que variou entre 27 e 30°C.

A porta do forno foi aberta após o seu completo resfriamento. O carvão foi retirado com auxílio de um garfo metálico e depositado em sacos plásticos com capacidade de 50 litros. O carvão de baixa granulometria, caracterizado como finos, assim como a madeira parcialmente carbonizada (atiço), também foram separados e ensacados. Todo esse material foi devidamente pesado, para verificar o rendimento do processo de carbonização.

3.4 Rendimento gravimétrico da carbonização

A determinação da umidade do resíduo madeireiro antes do enchimento do forno foi fundamental para encontrar o valor da massa de madeira seca. Os valores de massa de madeira, obtidos antes do enchimento do forno, foram utilizados para a determinação do rendimento gravimétrico, assim como a massa de carvão, atiço e finos identificados após a carbonização.

A massa de madeira seca, o rendimento gravimétrico do carvão, atiço e finos foram determinados de acordo com as Equações 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

$$M_{ms} = \frac{M_{mu}}{(1+U)} \quad (2)$$

em que:

M_{ms} = Massa de madeira seca (kg);

M_{mu} = Massa de madeira úmida (kg); e

U = Teor de umidade da madeira.

$$\text{RGC} = \frac{M_c}{M_{ms}} \times 100 \quad (3)$$

em que:

RGC = Rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%);

M_c = Massa de carvão (kg); e

M_{ms} = Massa de madeira seca (kg).

$$\text{RGA} = \frac{M_a}{M_{ms}} \times 100 \quad (4)$$

em que:

RGA = Rendimento gravimétrico em aticho (%);

M_a = Massa de aticho (kg); e

M_{ms} = Massa de madeira seca (kg).

$$\text{RGF} = \frac{M_f}{M_{ms}} \times 100 \quad (5)$$

em que:

RGF = Rendimento gravimétrico em finos (%);

M_f = Massa de finos (kg); e

M_{ms} = Massa de madeira seca (kg).

3.5 Amostragem e caracterização do carvão vegetal

Para a determinação das propriedades químicas e físicas do carvão, foram retiradas três amostras de cada carbonização, em lugares específicos do forno. As amostras foram recolhidas próximo à porta, meio e fim do forno, de maneira aleatória. Posteriormente elas foram unidas em uma amostra composta, objetivando uma maior representação do carvão produzido com os resíduos de madeira.

As amostras foram devidamente identificadas e levadas ao Laboratório de Energia da Biomassa (LEB), no Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), onde foram caracterizadas as propriedades do carvão vegetal.

A determinação da densidade relativa aparente teve como base, o método de imersão em água, descrito pela Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003).

Para a determinação do poder calorífico superior e análise química imediata, as amostras de carvão vegetal foram trituradas e peneiradas por peneiras de 40 e 60 mesh. O material que passou pela de 40 e ficou retido na de 60 mesh foi coletado e levado à sala de climatização, com temperatura média de 22°C e umidade relativa do ar de 34%, onde ficou durante 20 dias, visando à estabilização do mesmo.

O teor de materiais voláteis (TMV), de cinzas (TCZ) e carbono fixo (TCF), foram determinados segundo a norma NBR 8112 (ABNT, 1983). Entretanto, o poder calorífico superior foi encontrado seguindo as especificações da norma NBR 8633 (ABNT, 1983).

3.6 Análise econômica do projeto

A análise econômica do projeto foi dividida em dois cenários. O primeiro foi a instalação do sistema de carbonização em uma empresa genérica, sendo avaliados grande parte dos fatores para o funcionamento do sistema. Enquanto no segundo cenário, analisou-se especificamente a instalação do projeto na empresa BBM – Bragança Beneficiamento de Madeiras.

Para a instalação e funcionamento do sistema de carbonização de resíduos madeireiros, é necessária a construção de um sistema forno-fornalha, instalação de galpão, compra de um termômetro infravermelho digital, Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) e alguns utensílios para auxiliar o processo de carbonização. O Custo de Oportunidade foi calculado para esses bens, visto que o capital utilizado para a obtenção destes equipamentos poderia ser destinado a outro tipo de investimento, como a poupança.

A poupança proporciona uma remuneração real de 0,50% ao mês sobre o capital investido (BANCO CENTRAL DO BRASIL – BCB, 2017), além de ser um investimento de baixo risco e de fácil acessibilidade. Portanto, foi aplicada uma taxa de 0,5% ao mês sobre o valor investido em bens de capital deste projeto, para o cálculo dos Custos de Oportunidade (Equação 6).

$$\text{Custo de Oportunidade} = Vi * i \quad (6)$$

em que:

V_i = valor inicial do bem, ou seja, valor pelo qual o bem foi adquirido (R\$); e

i = taxa real mensal de juros.

O Custo de Depreciação também foi calculado, sendo este em função da obsolescência, uso constante, perda de valor e desgaste natural dos equipamentos. Para o cálculo deste fator, foi utilizada a Equação 7 (ANDRADE; NOGUEIRA; PEREIRA, 2014).

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{Valor atual} - \text{Valor final}}{\text{Vida útil restante (anos ou meses)}} \quad (7)$$

Foi atribuído um valor de sucata do forno igual à zero, visto que não é possível vender a estrutura após sua construção em local determinado. Além disso, foi considerada uma vida útil de 10 anos para o forno, assim como a do termômetro digital, porém com valor de sucata igual a 10% do valor inicial. Vale ressaltar que a vida útil do forno varia conforme os cuidados do carvoeiro durante o carregamento e descarregamento, assim como a realização de manutenções e reparos.

A vida útil, atribuída aos utensílios, EPI's e galpão foi de cinco, um e trinta anos, respectivamente, enquanto os valores de sucata foram 10% para o primeiro e zero para os EPI's e galpão. A dimensão do galpão (90 m²) foi calculada segundo ao existente na empresa BBM, visto a necessidade de um espaço coberto para a estocagem da lenha, empacotamento e armazenamento do carvão.

A determinação da mão de obra para a carbonização foi realizada de acordo com pesquisas com profissionais que trabalham com carvão na região e observações do ambiente de trabalho. Portanto, é necessária a contratação de um carvoeiro experiente, responsável pelo enchimento do forno, acompanhamento do processo de carbonização, descarregamento do forno e embalagem do carvão, recebendo um salário mínimo vigente para o ano de 2017, equivalente a R\$937,00/mês (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2016), com acréscimo de insalubridade alta (40% do salário), segundo um recurso trabalhista publicado pelo Tribunal Regional do Trabalho em 2009.

Foi identificada também a necessidade de ajudantes, durante o processo de descarregamento e carregamento da matéria-prima e retirada de carvão vegetal do

forno. A partir de análises do salário recebido por trabalhadores da região, assumiu-se um valor de R\$6,48/hora e R\$7,56/hora para os ajudantes, variando conforme o grau de insalubridade da atividade, tendo em vista que eles seriam contratados temporariamente. Os encargos sociais sobre cada salário somam 33,77% (ZANLUCA, 2017).

Custos com matéria-prima, embalagem, gás, impostos, frete, gasolina, despesas administrativas e com carro foram considerados como variáveis. Para análise das despesas administrativas, foram verificadas as despesas com pró-labore; telefone celular; FGTS e INSS; material de escritório, contador; energia elétrica; água e tarifas bancárias, totalizando R\$1.906,64 reais.

Em relação aos impostos, optou-se pela utilização do Sistema Integrado de Pagamento de Impostos e Contribuições das Microempresas e das Empresas de Pequeno Porte – SIMPLES. Este sistema engloba em uma única taxa, o Imposto de Renda de Pessoa Jurídica – IRPJ, o Imposto sobre Produtos Industrializados – IPI, a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido – CSLL, o Programa de Integração Social – PIS, a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS, o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS e o Instituto Nacional do Seguro Social – INSS. Visto que a previsão de faturamento anual com a venda do carvão será de R\$70.848,00, a empresa é então classificada como microempresa, devendo ser tributada mensalmente em um valor equivalente a 4,5% sobre o faturamento mensal (RECEITA FEDERAL, 2009).

Após a determinação dos custos e da receita, alguns indicadores econômicos como o lucro total, lucro unitário, margem de contribuição, índice de margem de contribuição, ponto de equilíbrio, lucratividade, rentabilidade e tempo de retorno do capital foram calculados de acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE (2009).

Um dos indicadores econômicos é o lucro total, determinado pela diferença entre a receita total e o custo total (Equação 8). Encontrar um lucro negativo significa que o empreendimento se tornará economicamente inviável no longo prazo.

$$\text{Lucro total} = \text{Receita total} - \text{Custo total} \quad (8)$$

O lucro unitário foi encontrado em seguida, a partir da divisão do lucro total pela quantidade de carvão produzida (Equação 9).

$$\text{Lucro unitário} = \frac{LT}{Y} \quad (9)$$

em que:

LT = Lucro Total; e

Y = quantidade produzida (quilos).

A margem de contribuição é o montante restante após o abate dos custos variáveis totais na receita total (Equação 10). Aquela é destinada ao pagamento dos custos fixos e utilizada para determinar o Índice da Margem de Contribuição.

$$MC = RT - CVT \quad (10)$$

em que:

MC = Margem de Contribuição (R\$);

RT = Receita Total (R\$); e

CVT = Custo Variável Total (R\$).

O Índice da Margem de Contribuição representa a porcentagem da Receita Total restante após o pagamento dos custos variáveis (Equação 11). Ele é essencial para o cálculo do Ponto de Equilíbrio.

$$IMC = \frac{MC}{RT} \quad (11)$$

em que:

IMC = Índice da Margem de Contribuição;

MC = Margem de Contribuição (R\$); e

RT = Receita Total (R\$).

O Ponto de Equilíbrio caracteriza a necessidade de faturamento da empresa em determinado período, capaz de pagar todos os custos de produção, ou seja, é a receita mínima que deve ser obtida para que o Custo Total seja pago e a empresa

não opere com prejuízo. O Ponto de Equilíbrio foi obtido pela aplicação da Equação 12.

$$PE = \frac{CFT}{IMC} \quad (12)$$

em que:

PE = Ponto de Equilíbrio (R\$);

CFT = Custo Fixo Total (R\$); e

IMC = Índice da Margem de Contribuição.

Outro indicador econômico é a lucratividade, que faz relação entre o lucro líquido e a receita total das vendas, sendo capaz de indicar a competitividade da empresa. O seu valor é obtido a partir da Equação 13.

$$\text{Lucratividade (\%)} = \frac{\text{Lucro Líquido}}{\text{Receita Total}} * 100 \quad (13)$$

A rentabilidade, por ser o resultado da divisão entre o lucro líquido e o investimento total, fornece para o investidor o retorno do capital em porcentagem por unidade de tempo (mês ou ano). Pela Equação 14 é possível realizar o cálculo de rentabilidade.

$$\text{Rentabilidade (\%/t)} = \frac{\text{Lucro Líquido}}{\text{Investimento Total}} * 100 \quad (14)$$

O Tempo de Retorno de Capital (TRC) é o tempo necessário para que o proprietário da empresa recupere todo o capital investido no projeto. O TRC é encontrado pela Equação 15.

$$TRC = \frac{\text{Investimento Total}}{\text{Lucro Líquido}} \quad (15)$$

Os indicadores Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) também foram identificados. O VPL é equivalente à soma algébrica dos fluxos de caixa futuros, descontando-se uma taxa de juros compostos a partir de uma data

estipulada. Por meio deste indicador é possível concluir sobre a viabilidade econômica de um projeto, caso o valor de VPL seja maior que zero, pelo contrário, o projeto deve ser rejeitado. Este parâmetro pode ser encontrado pela Equação 16 (MARQUEZAN, 2006).

$$\text{VPL}(i) = \sum_{j=0}^n \text{FC}_j / (1 + i)^j \quad (16)$$

Em que:

i = taxa de desconto;

j = período genérico ($j = 0$ a $j = n$), percorrendo todo o fluxo de caixa;

FC_j = fluxo genérico para $t = [0 \dots n]$ que pode ser positivo (ingressos) ou negativo (desembolsos); e

$\text{VPL}(i)$ = valor presente líquido descontado a uma taxa i ; e n é o número de períodos do fluxo.

De acordo com Silva (2009), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa na qual o valor presente, de um fluxo de caixa futuro, se iguale ao valor presente do investimento. Ela permite comparar o rendimento obtido com a execução de um projeto a outra forma de capitalização, e concluir qual opção é mais vantajosa. Para valores de TIR inferiores ao Custo de Oportunidade do Capital (COC), o investimento alternativo tem melhor rentabilidade (projeto inviável); para TIR igual à COC, ambos possuem mesmo rendimento (indiferente); e para TIR maior que COC, o empreendimento tem maior rentabilidade (projeto viável).

Para o cálculo da TIR, utilizou-se a fórmula de VPL, sendo o mesmo igualado a zero. A variável “TIR” assumiu a posição do “ i ” na fórmula (Equação 17), e assim foi determinada (ANDRADE; NOGUEIRA; PEREIRA, 2014).

$$\frac{\sum_{j=1}^n R_j}{(1+\text{TIR})^j} - \frac{\sum_{j=1}^n C_j}{(1+\text{TIR})^j} = 0 \quad (17)$$

3.7 Análise estatística

Para a análise estatística utilizou-se uma análise descritiva, na qual os resultados médios obtidos em cada carbonização foram comparados e correlacionados às informações presentes na literatura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades dos resíduos madeireiros e carvão vegetal

A produção de carvão vegetal de qualidade requer a busca por madeiras densas, com alto teor de lignina e poder calorífico (PALUDZYSYN FILHO, 2008). As propriedades físicas e químicas da madeira utilizada encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades físicas e químicas dos resíduos madeireiros e carvão vegetal.

Resíduos	U (%)	d _{bas.} (kg m ⁻³)	PCS (kcal kg ⁻¹)	TC _z (%)	T _{ext.} (%)	T _{LIGTO} (%)
1	35,00	541,0	4466,5	0,38	3,97	25,99
2	43,40	534,0	4469,0	0,26	6,50	28,02
3	51,70	493,0	4602,0	0,27	4,50	25,49
Média	43,37	523,0	4512,5	0,31	4,99	26,50
CV (%)	19,25	4,9	1,7	22,19	26,72	5,06
Carvão	U (%)	d _{rap.} (kg m ⁻³)	PCS (kcal kg ⁻¹)	TC _z (%)	TMV (%)	TCF (%)
1	2,77	313,0	7880,0	0,78	13,43	85,79
2	2,12	335,0	7842,0	0,46	11,69	87,85
3	1,94	302,0	8155,0	0,72	10,58	88,70
Média	2,30	317,0	7959,0	0,65	11,90	87,45
CV (%)	19,25	5,3	2,2	26,26	12,07	1,71

Nota: U – umidade; d_{bas.} – Densidade básica; d_{rap.} – Densidade relativa aparente; PCS – Poder Calorífico Superior; TC_z – Teor de cinzas; T_{ext.} – Teor de extrativos; T_{LIGTO} – Teor de lignina total; TMV – Teor de Materiais Voláteis e TCF – Teor de Carbono Fixo.

A umidade dos resíduos madeireiros utilizados nas carbonizações variou de 35,0 a 51,7%, obtendo-se um valor médio igual a 43,0%. A utilização de madeiras acima do ponto de saturação das fibras (PSF 28-30%) contribui para o aumento da friabilidade do carvão, maior teor de cinzas e aumento do tempo de carbonização, uma vez que o material precisa ser seco dentro do forno antes do início deste processo. Isto implica em uma maior demanda de energia, maior queima da madeira e, conseqüentemente, maior geração de cinzas. Outros fatores como o diâmetro das toras e a presença de “forro” na parte inferior do forno, podem também influenciar no aumento do tempo de carbonização.

A umidade influencia negativamente a carbonização, reduzindo a quantidade de energia produzida durante processo de combustão da madeira. Isso acontece porque parte da energia contida nos resíduos é utilizada para diminuir a umidade, sendo necessárias 580 cal para evaporar 1g de água (QUIRINO, 2002).

Para o carvão vegetal, a umidade encontrada variou de 1,94 a 2,77%, obtendo-se uma média de 2,30% para as carbonizações. Quinhones (2011) constatou uma variação da umidade do carvão obtido a partir de clones de eucalipto, provenientes de plantios comerciais para fim siderúrgico e com sete anos de idade, entre 3,20 e 3,70%.

A densidade básica média encontrada para os resíduos da madeira de eucalipto, utilizados nas carbonizações, foi de 523 kg m⁻³, sendo considerada satisfatória para a produção de carvão vegetal. Quinhones (2011) encontrou valores de densidade básica igual a 560 e 480 kg m⁻³ para os clones *Eucalyptus camaldulensis* x *E. urophylla* e *Eucalyptus urophylla*, respectivamente, visando a produção de carvão.

A densidade relativa aparente média encontrada para o carvão vegetal foi de 317 kg m⁻³. Santos (2010) encontrou valores para essa variável, em clones de *Eucalyptus* de sete anos, variando entre 266 e 345 kg m⁻³. Cardoso (2010) e Oliveira (2012), ao utilizarem esse mesmo sistema forno-fornalha, para carbonização da madeira de *Eucalyptus* spp. resultante de plantios florestais, encontraram valores médios iguais a 447 e 312 kg m⁻³. Vale ressaltar que a densidade relativa aparente do carvão esta diretamente ligada a densidade da madeira, ou seja, quanto maior for a quantidade de massa de madeira por volume, maior será a massa de carvão restante após a carbonização.

A temperatura de carbonização também pode influenciar a densidade relativa aparente do carvão vegetal. Isso acontece porque altas temperaturas proporcionam uma carbonização mais acelerada, bem como uma maior expansão dos gases no interior do carvão, o que permite o aparecimento de rachaduras no produto e consequentemente a redução de sua densidade.

O setor siderúrgico aceita uma variação de umidade do carvão vegetal entre 1 e 6% e exige uma densidade média aparente superior a 400 kg m⁻³ (SANTOS, 2008). Apesar do carvão vegetal deste estudo não atender a faixa de densidade aparente exigida na siderurgia, estando esta propriedade diretamente ligada à densidade da madeira utilizada na carbonização, o carvão encontra-se em uma boa

faixa de umidade, o que proporciona maior facilidade de ignição em usos residenciais.

O valor médio do poder calorífico superior (PCS) encontrado para os resíduos madeireiros foi de 4.512,5 kcal kg⁻¹, ou seja, a cada 1 quilo de madeira queimada completamente, ocorreu a geração de 4.512,5 quilocalorias de energia. Este valor ficou bem próximo ao PCS encontrado por Pereira (2012), para madeiras de *Eucalyptus* spp., de testes clonais e com sete anos e meio, equivalente a 4.554,8 kcal kg⁻¹.

O poder calorífico superior (PCS) encontrado para o carvão vegetal variou de 7.880 a 8.155 kcal kg⁻¹. Oliveira (2012), ao utilizar o forno MF1-UFV, constatou uma variação de 8.089 a 8.131 kcal kg⁻¹, no PCS do carvão de *Eucalyptus* spp, encontrando-se próximo aos resultados obtidos neste estudo.

O teor de extrativos variou de 3,97 a 6,50%, encontrando-se um valor médio de 4,99%. Oliveira et al. (2010), avaliando as características do *Eucalyptus pellita* de cinco anos, constataram um teor de extrativos igual a 4,53%, enquanto Trugilho et al. (2001), encontraram uma porcentagem de 4,87 a 7,75% de extrativos para 10 espécies de eucalipto de plantio experimental, analisadas para produção de carvão vegetal.

O teor de materiais voláteis (TMV) encontrado se manteve entre 10,58 a 13,43%, enquanto o teor de cinzas (TC_z) entre 0,46 e 0,78% e carbono fixo (CF) médio igual a 87,45%, para o carvão vegetal. Oliveira et al. (2010), ao carbonizar a madeira de *Eucalyptus pellita* aos cinco anos de idade em forno mufla, encontraram TMV, TC_z e CF entre 9,71 e 14,65%; 1,86 e 2,60%; e 83,17 e 88,17%, respectivamente. Na carbonização de Oliveira (2012) em forno-queimador, os valores médios de 17,07%, 1,00% e 81,93% foram obtidos para o TMV, TC_z e CF, respectivamente.

Para o teor de lignina insolúvel e solúvel, foram encontrados os valores médios de 23,25 e 3,25%, respectivamente, obtendo-se um teor de lignina total igual 26,50% para os resíduos madeireiros. Entretanto, Santos et al. (2011) encontraram para clones de *Eucalyptus*, com sete anos de idade e provenientes de plantios comerciais, um teor de lignina total igual a 32,00%, enquanto Frederico (2009) obteve uma variação entre 28,90 e 31,10% para clones de *Eucalyptus* de três anos, plantados em diferentes regiões de Minas Gerais.

Para a produção de carvão vegetal, é interessante a utilização de madeiras com alto teor de lignina, visto que ela contribui para o aumento do poder calorífico superior, proporcionando maior liberação de energia durante a queima do carvão. Portanto, o valor de lignina total encontrado para a madeira neste estudo, encontra-se abaixo dos valores encontrados na literatura para produção de carvão vegetal.

O teor de cinzas médio dos resíduos madeireiros foi igual a 0,31%, próximo ao 0,36% encontrado por Oliveira (2012) para madeira de *Eucalyptus* spp. e inferior a 1%, como esperado para madeira de eucalipto.

Portanto, o carvão vegetal obtido neste estudo obteve teor de cinzas abaixo de valores encontrados na literatura, assim como menor teor de matérias voláteis, o que contribuiu para um maior teor de carbono fixo e consequentemente um maior poder calorífico do carvão (PC). Entretanto, o PC está também relacionado diretamente ao teor de extrativos e lignina da madeira. Portanto, quanto maior estas duas propriedades, maior é a quantidade de energia liberada durante a queima do carvão.

O Selo Premium, promulgado pela Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003, no estado de São Paulo, estabelece requisitos mínimos do carvão vegetal para os mais variados usos. Entre as características estão a umidade, abaixo de 5%; teor de carbono fixo maior que 75%; teor de materiais voláteis e de cinzas abaixo de 23,5 e 1%, respectivamente (SÃO PAULO, 2003).

Dessa forma, o carvão vegetal produzido a partir de resíduo não tratado, da indústria de preservação e beneficiamento de madeiras, se enquadra nas exigências do Selo Premium, estando apto para uso doméstico e comercial (churrascarias, padarias, restaurantes), assim como em indústrias que necessitam de biomassa para o aquecimento de caldeiras.

4.2 Rendimento gravimétrico da carbonização

Após a realização das carbonizações no sistema forno-fornalha, o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, atíço, finos, e tempo de carbonização, foram determinados. Os resultados encontrados para estas variáveis são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Rendimento gravimétrico em carvão vegetal, atíço e finos.

Carbonização	RGC (%)	RGA (%)	RGF (%)	RCF (%)	t_{carb.} (h)
1	30,84	6,65	1,84	26,45	57,0
2	33,52	0,71	0,88	29,45	71,0
3	33,80	0,00	1,56	29,98	62,0
Média	32,72	2,45	1,43	28,63	63,3
CV (%)	5,00	148,81	34,49	6,64	11,2

*RGC – Rendimento em carvão; RGA – Rendimento em atíço; RGF – Rendimento em finos; t_{carb.} – Tempo de carbonização.

O rendimento gravimétrico médio do carvão vegetal foi de 32,72%, entretanto, o menor rendimento foi observado na primeira carbonização, equivalente a 30,84%. Esta carbonização obteve os maiores valores de atíço (6,65%), podendo ser justificado pela ausência da construção do forro antes do carregamento do forno e pelo menor tempo de carbonização. O maior teor de finos também foi encontrado na carbonização 1, equivalente a 1,84%, porém considerado satisfatório. Ressalta-se que esta primeira carbonização refere-se à primeira vez que o sistema forno-fornalha foi utilizado pelo carvoeiro, assim, os resultados encontrados são satisfatórios apesar da necessidade de ajustes no processo, os quais ocorreram antes das demais carbonizações.

Após a segunda carbonização, obteve-se um rendimento gravimétrico em carvão igual a 33,50%. Isto é justificado pelo aumento do tempo de carbonização e forragem da metade do forno, o que possibilitou uma melhor circulação de ar na parte inferior do forno. Uma menor produção de atíço (0,71%) e finos (0,88%) também foram identificados.

A relação tempo/temperatura está diretamente ligada ao rendimento do carvão. Para uma temperatura final de carbonização constante, um menor tempo proporciona uma carbonização com maior geração de atíço. Entretanto, um maior tempo de carbonização, possibilita uma maior fixação de carbono e um maior rendimento em carvão.

A terceira carbonização, a qual teve a parte inferior do forno completamente forrada, obteve rendimento gravimétrico em carvão igual a 33,80%. Não houve geração de atíço, e o teor de finos ficou na faixa de 1,56%.

O rendimento médio em carvão vegetal desse estudo foi considerado satisfatório, uma vez que se trata da carbonização de resíduos madeiros de

diferentes espécies e dimensões. Além disso, o rendimento encontrado foi superior a valores esperados em fornos de carvão vegetal, na faixa de 28 a 30%. Cardoso (2010) e Oliveira (2012) encontraram valores de rendimento médio igual a 29% e 33%, respectivamente, ao carbonizarem madeira de eucalipto em sistema forno-fornalha.

Os valores médios de atíço (2,45%) e finos (1,43%) foram considerados baixos, destacando-se a terceira carbonização, com geração de 0% de atíço. Oliveira (2012) constatou valores superiores de atíço e finos, iguais a 8,85 e 3,23%, respectivamente.

Um rendimento em carbono fixo médio igual a 28,63% foi encontrado para o carvão vegetal obtido neste estudo. Este valor é superior ao encontrado por Trugilho et al. (2005), equivalente a 25,93%, ao carbonizar em forno mufla seis clones de *Eucalyptus* de sete anos. O alto valor de carbono fixo indica a eficiência da carbonização, o que contribui para o aumento do poder calorífico do carvão vegetal.

O tempo de carbonização médio encontrado neste estudo, compreendido entre a ignição e o fechamento das entradas oxigênio, foi de 63 horas e 20 minutos. Valor inferior ao encontrado por Oliveira (2012), que obteve um tempo de carbonização médio em forno MF1-UFV, igual a 70 horas, para madeira de *Eucalyptus* spp. a 42,50% de umidade. Entretanto, Cardoso (2010), utilizando o sistema forno-fornalha, carbonizou madeiras de *Eucalyptus* spp. com 25,00% de umidade em 52 horas. Portanto, nota-se que a umidade da madeira a ser carbonizada influencia diretamente no tempo de carbonização e consequentemente na produtividade do carvão vegetal.

4.3 Viabilidade econômica do projeto

4.3.1 Instalação do sistema forno-fornalha em uma empresa genérica

A produção mensal média de carvão, equivalente a 3.936 kg, é vendida a R\$1,50/kg. Este preço foi estabelecido a partir da constatação da qualidade do carvão, pelas análises físicas e químicas, e pesquisa dos preços praticados pelos concorrentes, proporcionando uma receita mensal bruta de R\$5.904,00 para a empresa.

Na Tabela 3 estão os valores relativos à receita e aos custos de produção do carvão vegetal, assim como alguns indicadores de viabilidade econômica. Apesar de

o estudo envolver a carbonização de resíduos, o custo com matéria-prima foi introduzido aos dados, visto que algumas indústrias madeireiras, como a estudada nesta pesquisa, não são capazes de suprir a demanda mensal de 48 st (aparas e toretes) do forno. As despesas administrativas possuem a maior participação nos custos variáveis, equivalente a 37,36%, enquanto os gastos com mão de obra chegam a 27,80% dos custos totais.

Tabela 3 – Receitas, custos e índices econômicos do projeto forno-queimador, para uma empresa genérica.

Receita Bruta	Un.	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Custo Total (%)
Carvão	kg	3.936	1,50	5.904,00	
Custos Variáveis					
Matéria prima	m³	48	30,00	1.440,00	17,08
Frete¹	km	240	3,00	720,00	8,54
Despesas Administrativas	R\$			1.906,64	22,59
Gasolina (venda de carvão)	l	20	3,90	78,00	0,93
Despesas com o carro	R\$	1	117,00	117,00	1,39
Embalagem	un.	80	0,70	56,00	0,66
Embalagem	un.	984	0,50	492,00	5,84
Gás GLP	kg	7	4,23	29,62	0,35
Impostos Federais (SIMPLES)	R\$			265,68	3,15
Custo Variável Total	R\$			5.102,94	60,52
Custo Variável Médio	R\$/kg			1,30	
Custos Fixos					
Custos com Mão-de-obra					
Salário Carvoeiro	R\$	1	1.311,80	1.311,80	15,56
Salário Ajudante – forno	R\$/h	12	7,56	90,68	1,08
Salário Ajudante - matéria	R\$/h	54	6,48	349,77	4,15
Encargos Sociais (Carvoeiro)	R\$	1	442,99	442,99	5,25
Encargos Sociais (Ajudantes)	R\$	1	148,74	148,74	1,76
Total do custo com m.d.o.	R\$			2.343,99	27,80
Custos com Depreciação					
Forno	un.	1	9.243,09	77,03	0,91
Termômetro	un.	1	2.190,00	16,43	0,19
Utensílios	R\$		360,80	5,41	0,06
EPI's	R\$		571,33	47,61	0,56
Galpão	m²	90	90.000,00	250,00	2,97
Total custos com	R\$			396,47	4,70
Custos de Oportunidade					
Forno	un.	1	9.243,09	46,22	0,55
Termômetro	un.	1	2.190,00	10,95	0,13
Utensílios	R\$		360,80	1,80	0,02

EPI's	R\$		571,33	2,86	0,03
Galpão	m²	90	90.000,00	450,00	5,34
Botijão de gás	un.	1	100,00	0,50	0,01
Total custo de Oportunidade	R\$			512,33	6,08
Filtro máscara	un.	4	15,60	62,40	0,74
Taxa de produtor florestal ²	VRTE	50	3,19	13,28	0,16
Custo Fixo Total	R\$			3.328,47	39,48
Custo Fixo Médio	R\$/kg			0,85	0,01
Custo Total	R\$			8.431,40	100,00
Custo Total Médio	R\$/kg			2,14	
Lucro	R\$			-2.527,40	
Lucro Unitário	R\$/kg			-0,64	
Margem de Contribuição	R\$			801,06	
IMC				0,14	
Ponto de Equilíbrio	R\$			24.531,44	
Investimento Total	R\$			11.433,09	
Rentabilidade anual	%			-265,27	
Lucratividade	%			-42,81	
Tempo de Retorno do Capital	anos			-	

Nota: 1 – Para o cálculo do frete, foi considerado o transporte de 15 toneladas de madeira, em cada viagem do caminhão. 2 – Valor de Referência do Tesouro Estadual – VRTE: Taxa anual, com valor variável de acordo com o consumo anual de lenha para a produção de carvão vegetal.

Para um investimento de R\$11.433,09, foi identificado um valor de lucro negativo, ou seja, os custos de produção foram maiores que a receita, gerando um prejuízo mensal de R\$2.527,40. O Lucro Unitário também foi negativo, visto que o Custo Unitário de produção foi R\$0,64 maior que o preço de venda do quilo de carvão vegetal.

Pelo Ponto de Equilíbrio, é possível concluir que a empresa genérica deveria ter uma receita mínima de R\$24.531,44, para não operar em saldo negativo. Entretanto, este valor é 75,93% superior à receita total encontrada no presente estudo.

A Rentabilidade Anual e a Lucratividade também exibiram valores negativos, pela incapacidade do projeto de se auto sustentar. Além disso, não foi considerado o Tempo de Retorno do Capital, visto que este capital não será recuperado mantendo-se as receitas e custos exibidos na Tabela 3.

Outra forma de verificação da viabilidade econômica do projeto foi pela análise do fluxo de caixa, que consistiu no aferimento das entradas e saídas de

recursos (Figura 5). Um maior detalhamento do fluxo de caixa pode ser encontrado no Apêndice A.

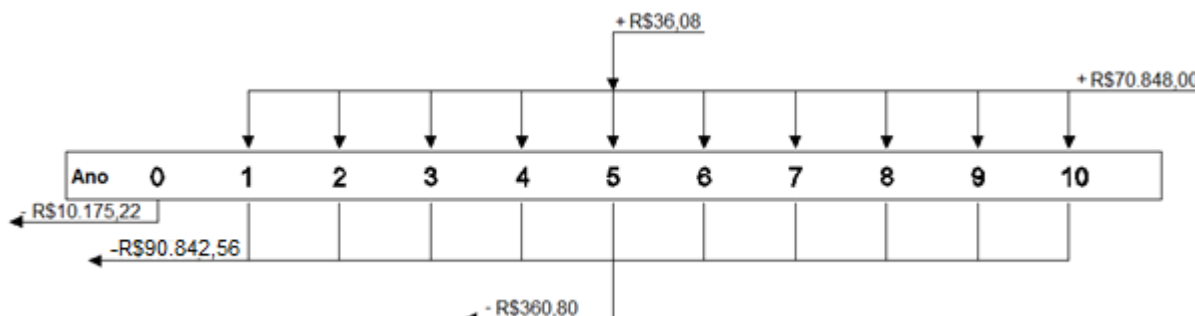


Figura 5 – Fluxo de caixa da produção de carvão vegetal (empresa genérica)

Fonte: O autor (2017).

O Valor Presente Líquido, a uma taxa de 6% ao ano, foi negativo, representando um prejuízo de R\$90.842,56 ao longo de 10 anos, o que significa a inviabilidade do projeto. Não foi efetuado o cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR), visto que o VPL foi negativo.

4.3.2 Instalação do sistema forno-fornalha na empresa BBM – Bragança Beneficiamento de Madeiras

Tendo em vista que alguns equipamentos necessários para a produção do carvão vegetal já existiam na empresa, assim como mão de obra disponível, a viabilidade econômica do sistema de carbonização foi novamente calculada. Vale ressaltar que a BBM não teve gastos com a implantação do forno, visto que o mesmo é pertencente ao DCFM/CCAUE/UFES.

Tabela 4 – Receitas, custos e índices econômicos do projeto forno-queimador na empresa BBM.

Receita Bruta	Un.	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	Custo Total (%)
Carvão	kg	3.936	1,50	5.904,00	
Custos Variáveis					
Matéria prima	m³	48	30,00	1.440,00	28,22
Frete	Km	240	3,00	720,00	14,11
Gasolina (venda de carvão)	l	20	3,90	78,00	1,53
Despesas com o carro	R\$	1	117,00	117,00	2,29

Embalagem	un.	80	0,70	56,00	1,10
Embalagem	un.	984	0,50	492,00	9,64
Gás GLP	kg	7	4,23	29,62	0,58
Impostos Federais (SIMPLES)	R\$			265,68	5,21
Custo Variável Total	R\$			3.198,30	62,69
Custo Variável Médio	R\$/kg			0,81	
Custos Fixos					
Custos com Mão-de-obra					
Salário Carvoeiro	R\$	1	1.311,80	1.311,80	25,71
Encargos Sociais	R\$	1	442,99	442,99	8,86
Total do custo com m.d.o.	R\$			1.754,79	34,39
Custos com Depreciação					
Forno	un.	1	9.243,09	77,03	1,51
Utensílios	R\$		150,00	2,25	0,04
EPI's	R\$		74,40	6,80	0,12
Total custos com	R\$			85,48	1,68
Custos de Oportunidade					
Utensílios	R\$		150,00	0,75	0,01
EPI's	R\$		74,40	0,37	0,01
Total custo de Oportunidade	R\$			1,12	0,02
Filtro máscara	un.	4	15,60	62,40	1,12
Taxa de produtor florestal	VRTE	50	3,19	13,28	0,26
Custo Fixo Total	R\$			1.903,79	37,31
Custo Fixo Médio	R\$/kg			0,48	0,01
Custo Total	R\$			5.102,09	100,00
Custo Total Médio	R\$/kg			1,30	
Lucro	R\$			801,91	
Lucro Unitário	R\$/kg			0,20	
Margem de Contribuição	R\$			2.705,70	
IMC				0,46	
Ponto de Equilíbrio	R\$			4.154,18	
Investimento Total	R\$			9.243,09	
Rentabilidade anual	%			104,11	
Lucratividade	%			13,58	
Tempo de Retorno do Capital	anos			0,96	

Para um investimento de R\$9.243,09, foi identificado um valor de lucro positivo, igual a R\$801,91 mensais. O Lucro Unitário também foi positivo, visto que o Custo Unitário de produção é R\$0,20 menor que o preço de venda do quilo de carvão vegetal.

O Ponto de Equilíbrio (PE) equivalente a R\$4.154,18, indica a receita mínima mensal que a empresa BBM –Bragança Beneficiamento de Madeiras deve obter para não operar no prejuízo. Ainda assim, sua receita mensal foi 42% superior ao PE.

A Rentabilidade Anual apresentou valor igual a 104,11%, significando a porcentagem recuperada do capital investido no primeiro ano de funcionamento do sistema forno-fornalha. O Tempo de Retorno do Capital foi de 11 meses e 15 dias.

A lucratividade anual de 13,58% é interessante, visto que um investimento de baixo risco e fácil acesso, como a poupança, gera uma lucratividade de 6% a.a..

Outra forma de verificação da viabilidade econômica do projeto foi pela análise do fluxo de caixa, que consistiu no aferimento das entradas e saídas de recursos (Figura 6). Um maior detalhamento do fluxo de caixa pode ser encontrado no Apêndice B.

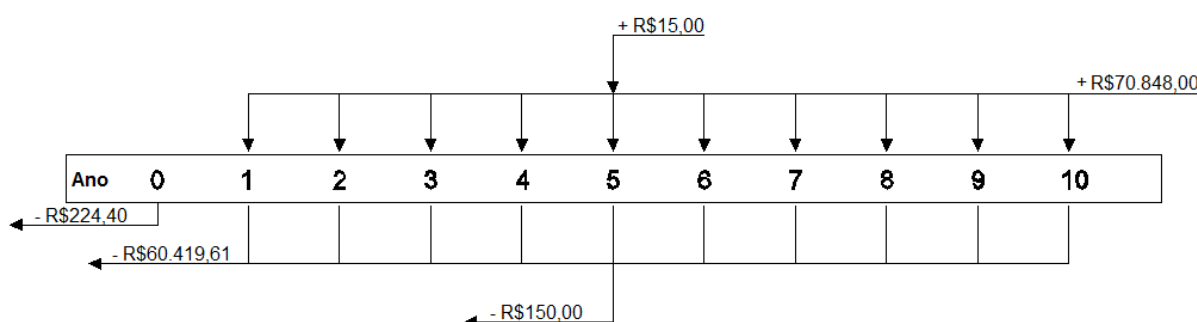


Figura 6 – Fluxo de caixa da produção de carvão vegetal na empresa BBM.

Fonte: O autor (2017).

O Valor Presente Líquido, a uma taxa de 6% ao ano, foi positivo, representando um lucro de R\$76.470,14 ao longo de 10 anos, o que significa a viabilidade do projeto. A Taxa Interna de Retorno (TIR) foi alta e igual a 4647%, em virtude do baixo investimento inicial (ano 0), equivalente a R\$224,40. Portanto, o valor da TIR > Custo de Oportunidade (6%), indica também a viabilidade econômica do sistema de carbonização na empresa em estudo.

5. CONCLUSÕES

Ao final do estudo foi possível concluir que o sistema forno-fornalha (modelo MF1-UFV), possui rendimento em carvão vegetal superior a outros fornos de carbonização comumente utilizados. Além disso, o rendimento em atíço e finos foi inferior a resultados encontrados na literatura, recomendando-se a forragem de toda a base do forno para redução ainda maior destes produtos.

O carvão produzido a partir de resíduos madeireiros possui características satisfatórias, possibilitando sua comercialização para uso residencial e comercial em padarias, churrascarias, pizzarias e indústrias para o abastecimento de caldeiras.

Como a densidade relativa aparente foi inferior à faixa exigida, o carvão vegetal produzido a partir deste estudo, não foi aprovado para o abastecimento do setor siderúrgico.

O estudo de viabilidade econômica revelou que a implantação do projeto de carbonização de resíduos, por meio da construção do sistema forno-fornalha foi inviável para uma empresa genérica. Portanto, antes da implantação do projeto, é necessário avaliar todos os fatores que envolvem a produção de carvão vegetal, e só depois realizar algum tipo de investimento..

Entretanto, a implantação do sistema de carbonização na empresa em estudo foi economicamente viável. Isto ocorreu porque a BBM já possuía alguns utensílios, estrutura e mão de obra disponível, além de não ter investido capital na construção do forno.

Para reduzir os custos de produção é necessário buscar por matéria-prima (lenha) a um custo menor e mais próximo da fábrica, visando reduzir os gastos com a compra deste material e com o frete. Outra possibilidade é a formação de uma cooperativa para recolhimento e carbonização dos resíduos, ocasionando no surgimento de uma marca e fortalecimento dos produtores.

A carbonização de madeiras com baixa umidade reduz o tempo do processo, aumenta a produtividade e, conseqüentemente, reduz os custos de produção.

O tratamento/destinação correto dos resíduos é uma necessidade e obrigação das empresas, o que pode garantir a preservação do ambiente, qualidade de vida da sociedade e promover o empreendimento, através do marketing na gestão sustentável.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. R.; REZENDE, M. E. A. O processo de carbonização contínua da madeira. In: PENEDO, W. R. (Ed.); **Produção e utilização do carvão vegetal**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, p.141-156. Belo Horizonte, 1982. ANDRADE, W. S. P.; NOGUEIRA, M. A.; PEREIRA, D. P. Custos e indicadores econômicos da produção de madeira de eucalipto. In: SILVA, E. N. da et al. (Ed.); **Florestas de produção**. Suprema, p.37-64, 2014. Viçosa, MG, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Normas Técnicas ABCTP**. São Paulo: ABTCP, 1974.

BANCO CENTRAL DO BRASIL – BCB. **Remuneração dos Depósitos de Poupança**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

BARBOSA, J. C.; et al. Aproveitamento de Resíduos da Indústria Madeireira para Utilização em Pequenos Empreendimentos Econômicos Solidários. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3., 2011, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6B/7/Barbosa_JC%20-%20Paper%20-%206B7.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.

BARROZO, L. S. **A importância da utilização de Indicadores econômico-financeiros na gestão empresarial**. Disponível em: <<http://peritocontador.com.br/wp-content/uploads/2015/03/Eline-dos-Santos-Barrozo-A-import%C3%A2ncia-da-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-Indicadores-econ%C3%B4mico-financeiros-na-gest%C3%A3o-empresarial.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

BAUER, E.; et al. A produção de carvão vegetal na agricultura familiar do sul do Brasil: o retrato de uma realidade socioambiental invisível. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ÁREA TEMÁTICA: DESENVOLVIMENTO SOCIOAMBIENTAL, GESTÃO DE RECURSOS AMBIENTAIS, 2., 2014, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: UDESC, 2014. Disponível em: <<http://www.eventos.ct.utfpr.edu.br/anais/snpd/pdf/snpd2014/662a.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

BRASIL. Decreto-lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 02 ago. 2010. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 02 jan. 2017.

CARDOSO, M. T. **Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização da madeira**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2010. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3033/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

CARNEIRO, A. C. O.; et al. Estudo da viabilidade técnica e econômica da produção de carvão vegetal em fornos circulares com baixa emissão de poluentes. **CNA Brasil**. Centro de Pesquisas em Economia Aplicada – CEPEA/ESALQ. Viçosa, p. 1-41, out. 2012. Disponível em: <https://abccapacitacao.files.wordpress.com/2012/11/silvicultura_estudo-de-viabilidade-economica-abc_31out2012.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2017.

CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. de O.; PEREIRA, D. P. Viabilidade econômica e mercados para as florestas de produção em pequenas propriedades. In: SILVA, E. N. da et al. (Eds.); **Florestas de produção**. Suprema, p.183-210. Viçosa, MG, 2014.

CORREIA, J. J. A.; et al. Análise de indicadores econômico-financeiros para fins de tomada de decisões: um estudo de caso na empresa natura cosméticos S/A. In: SEMANA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FACULDADE DE JUAZEIRO DO NORTE, 6., 2014, Juazeiro do Norte. **Anais eletrônicos...** Juazeiro do Norte: FJN, 2014. Disponível em: <<http://www.fjn.edu.br/iniciacaocientifica/anais-vi-semana/wp-content/uploads/2015/01/AN%C3%81LISE-DE-INDICADORES-ECON%C3%94MICO-FINANCEIROS-PARA-FINS-DE-TOMADA-DE-DECIS%C3%95ES-UM-ESTUDO-DE-CASO-NA-EMPRESA-NATURA-COSM%C3%89TICOS-SA.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2017.

DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, S. M.; NUMAZAWA, S. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Pará, n. 5, p. 1-19, jan. 2005. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/7kc54tJmvnT43dW_2013-4-25-14-47-28.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2017.

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E RURAL – EMATER. Pesquisa diagnóstico do artesanato da agricultura familiar em Minas Gerais. **Governo de Minas**, Belo Horizonte, p. 1-32, 2008. Disponível em: <<http://www.emater.mg.gov.br/doc/site/cartilha%20pesquisa%20diagn%C3%B3stico%20do%20artesanato.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2009. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3024/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 31 jan. 2017.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: Sarkanen KV, Ludwwig CH, editor. **Lignins: occurrence, formation, structure and reactions**. New York: John Wiley, 1971, p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, 1986, 47(8), p. 36-38.

HILLING, É.; et al. Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 26., 2006, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABEPRO, 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr520346_8192.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2017.

HÜEBLIN, H. J. **Modelo para a aplicação da metodologia Zeri. Sistema de aproveitamento integral da biomassa de árvores de reflorestamento**. 2001. 139 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba. 2001. Disponível em: <http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/ppgte/dissertacoes/2001/ppgte_dissertacao_055_2001.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2017.

LOPES, C. S. D. Desenho de Pequenos Objetos de Madeira com Resíduo da Indústria de Processamento Mecânico da Madeira. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente – INTERFACEHS**. Tietê, v.4, n. 3, Artigo 1, p. 105-132, set./dez, 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/52/81>>. Acesso em: 11 jan 2017.

MARQUEZAN, L. H. F. Análise de investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**. Santa Maria, v. 3, nº. 1, p. 1-15, jan./jun. 2006. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/contabilidade/article/view/21/3644>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

MELO, L. E L.; et al. Resíduos de Serraria no Estado do Pará: Caracterização, Quantificação e Utilização Adequada. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 01, p. 113-116, jan./mar. 2012. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v19n1/v19n1a12.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2015. **Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia – N3E**. Brasília, p. 1-31, mai. 2016. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4?version=1.0)>. Acesso em: 18 jan. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos. **Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental**, Curitiba, p. 1-40, nov. 2009. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033501.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado. **Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental**, Curitiba, p. 1-35, nov. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011032535.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2017.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. **Salário mínimo passa de R\$ 880 em 2016 para R\$ 937 no próximo ano**. 2016. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/noticias/nota-a-imprensa-reajuste-do-salario-minimo-2017>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

OLIVEIRA, A. C. **Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3099/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

OLIVEIRA, C. A.; et al. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap10.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

OLIVEIRA, J. B.; et al. Produção de carvão vegetal – Aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.); **Produção e utilização do carvão vegetal**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, p.141-156. Belo Horizonte, 1982.

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoramento do eucalipto para produção de energia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, jun./ago. 2008. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39224/1/estefano.pdf>>. Acesso em: 21 jan 2017.

PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3101/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Ministério do Meio Ambiente – MMA, **Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos – SQA**, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Diretoria de Florestas, Laboratório de Produtos Florestais – LPF, 2002, 31 f. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

QUINHONES, R. **Relações entre as características da madeira e carvão de *Eucalyptus* sp. produzido a diferentes temperaturas finais de carbonização.**

2011. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2011. Disponível em:

<http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2938/1/TESE_Rel%C3%A7%C3%B5es%20entre%20as%20caracter%C3%ADsticas%20da%20madeira%20de%20Eucalyptus%20sp.%20e%20as%20do%20carv%C3%A3o%20produzido%20a%20diferentes%20temperaturas%20finais%20de%20carboniza%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2017.

RANGEL, A. S. **Estudo da competitividade da indústria brasileira.**

Competitividade da indústria de móveis de madeira. Campinas, 1993. 96p.

Fundação Economia de Campinas – FECAMP. Nota Técnica Setorial. Disponível em:<https://www.faneesp.edu.br/site/documentos/estudo_competitividade_industria_brasileira39.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2017.

RECEITA FEDERAL. **Simples:** Roteiro para o microempreendedor individual (MEI). 2009. Disponível em:

<<http://www8.receita.fazenda.gov.br/SimplesNacional/noticias/noticiacompleta.aspx?id=C9CD0823-9FBA-4794-A559-FC70EF0ECDCC>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

RIEGEL, I.; et al. Análise termogravimétrica da pirólise da acácia-negra (*acacia mearnsii* de Wild.) Cultivada no rio grande do sul, brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 3, p. 533-543, 2008. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n3/a14v32n3.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2017.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 2008. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília. 2008.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.** 2010. 173 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010. Disponível em:

<<http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Rosimeire-Cavalcante-dos-Santos-Tese1.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

SANTOS, R. C.; et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011. Disponível em:

<<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap10.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2017.

SÃO PAULO (Estado). Resolução nº 10 SAA, de 11 de julho de 2003. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, v. 113, n. 129, 11 jul. 2003. Disponível em:

<http://www.codeagro.sp.gov.br/arquivos/selo/saa_1031a0ff69a85454e1cde89c327ac490f5.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2017.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE. **Com elaborar um plano de negócio.** Brasília, DF: SEBRAE, 2013. Disponível em:

<[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/5f6dba19baaf17a98b4763d4327bfb6c/\\$File/2021.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/5f6dba19baaf17a98b4763d4327bfb6c/$File/2021.pdf)>. Acesso em: 28 jan. 2017.

SILVA, C. H. Análise Investimentos: Disciplina: Projeto Supervisionado MS777. **UNICAMP – IMECC**, Campinas, nov. 2009. Disponível em: <http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777_clesio.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2017.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **TAPPI test methods T257 cm-85**: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: TAPPI Technology Park, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **TAPPI test methods T264 cm-97**: preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: TAPPI Technology Park, 1997.

TRIBUNAL REGIONAL DO TRABALHO – **TRT-3 - RO: 642509 00006-2008-085-03-00-6**, Relator: Emilia Facchini, Nona Turma, p. 111, mai. 2009. Disponível em: <<https://trt-3.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/129553874/recurso-ordinario-trabalhista-ro-642509-00006-2008-085-03-00-6/inteiro-teor-129553884?ref=juris-tabs#>>. Acesso em: 19 jan. 2017.

TRUGILHO, P. F.; et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 144-201, jul./dez. 2001. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/744/74470210.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

TRUGILHO, P. F.; et al. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, abr./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/744/74470210.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

ZANLUCA, J. C. **Cálculos de encargos sociais e trabalhistas**. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/tematicas/custostrabalhistas.htm>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

APÊNDICES

