

**ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE CALDEIRA PARA SISTEMA DE
AQUECIMENTO DE UNIDADE DE SECAGEM DE CAFÉ SOB AS
PERSPECTIVAS TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA¹**

**BOILER IMPLEMENTATION ANALYSIS FOR A COFFEE DRYING UNIT HEATING
SYSTEM ON TECHNICAL AND ECONOMIC-FINANCIAL PERSPECTIVES**

Marcilene Anízio de Lima²

Igor Chaves Belisario³

Nelson Henrique Bertollo Santana⁴

RESUMO: Para atendimento a um condomínio para secagem de café em implantação no norte do estado do Espírito Santo, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de utilização de caldeiras em sistemas de secagem de grãos de café conilon, despulpado, em secadores horizontais rotativos. A análise tem como base a comparação das caldeiras com a utilização de fornalhas de fogo indireto, tecnologia já difundida e conhecida na região. Foram avaliadas 3 biomassas para uso como combustível por estarem disponíveis na região: eucalipto, casca de café e casca de macadâmia. Para análise técnica e financeira foi realizado o dimensionamento das caldeiras e levantados os custos com combustíveis, consumo de energia e manutenção dos equipamentos. Considerado um cenário de 20 anos, as caldeiras apresentam viabilidade financeira no 9º ano de operação face às fornalhas de fogo indireto, visto que estas últimas além de apresentar baixa vida útil quando comparadas às primeiras não tem disponibilidade de manutenção por parte de alguns fabricantes da região, sendo necessária a sua substituição.

Palavras-chave: café. biomassa. caldeira. fornalha de fogo indireto.

ABSTRACT: Helping a condominium for drying coffee under implementation in the north of the state of Espírito Santo - Brazil, this work aims to analyze the feasibility of using boilers in drying systems for conilon coffee beans, pulped, in horizontal rotary dryers. This analysis is based on the comparison of boilers with the use of indirect fire furnaces, a technology that is already widespread and known in the region. Three biomasses were evaluated for use as fuel because they are available in the region: eucalyptus, coffee husk and macadamia husk. For technical and financial analysis, the dimensioning of the boilers was carried out and the costs of fuel, energy consumption and equipment maintenance were raised. Considering a 20-year scenario, the boilers are financially viable in the 9th year of operation compared to indirect fire furnaces, as the latter, in addition to having a low service life when compared to the former, is not available for maintenance by some manufacturers of the region, being required its replacement.

Keywords: coffee. biomass. boiler. indirect fire furnace.

¹ Trabalho Final de Curso da Pós-Graduação *lato sensu* em Eficiência Energética e Industrial do Ifes Campus São Mateus.

² Engenheira Eletricista, Ifes campus São Malteus, marcilene.lima@gmail.com.

³ Mestre em Engenharia Mecânica, Ifes campus São Malteus, igor.belisario@ifes.edu.br

⁴ Mestre em Engenharia Elétrica, Ifes campus São Malteus, nelson.santana@ifes.edu.br

1 INTRODUÇÃO

O café é considerado um dos produtos agrícolas de maior valor no mercado brasileiro e global, sendo o Brasil o maior produtor e exportador mundial, possuindo em sua escala produtiva duas variedades, a *Coffea arabica* L. (café arábica) e a *C. canephora* (conilon, robustas), sendo o arábica responsável por 81% das áreas cultivadas no país e o Conilon por 19% (Partelli e Moraes, 2018).

O estado do Espírito Santo é responsável por cerca de 24% da produção nacional, sendo o segundo maior estado produtor quando considerada a produção da soma dos cafés conilon e arábica (Partelli e Moraes, 2018).

Para atender um mercado cada vez mais exigente, a busca pela qualidade tem se tornada uma das maiores preocupações nos diversos seguimentos produtivos no Brasil, o que não difere na cadeia produtiva do café conilon, na qual vem tendo cada vez mais a atenção para obtenção de um café que atenda com as exigências do mercado contemporâneo (Ferrão et al., 2017).

A secagem do conilon é um fator de grande importância que pode comprometer a qualidade do café. A quantidade de açúcar na mucilagem, bem como o teor de água inicial do conilon (60%), logo após a colheita, ocasionam uma taxa de deterioração no início do processo de secagem alta. (Ferrão et al., 2017).

No Brasil, são utilizados, basicamente, duas metodologias para secagem de café: secagem em terreiros: neste, o café é espalhado em pisos, os quais preferencialmente devem ser cimentados por facilitar a higienização e reparos; e a secagem em secadores: neste caso, o ar já aquecido é forçado por um ventilador a passar através da massa de café para realizar a secagem. (Ferrão et al., 2017).

No processo de secagem dos grãos com secadores mecânicos é comum a perda da qualidade da bebida do café quando analisados tipo, bebida, sabor e aroma, em virtude das altas temperaturas utilizadas no processo de secagem. Outro fator importante observado são as presenças de odores provenientes da fumaça quando atingem a câmara de secagem no processo de secagem utilizando fornalha de fogo direto, o que prejudica no processo de análise da qualidade dos grãos (Mesquita et al., 2016).

O presente projeto de pesquisa visa atender a comunidade local de São Mateus, no Norte do estado do Espírito Santo, sendo o quarto maior produtor de café no estado, com uma produção de 30.696 toneladas de café conilon, e o 12º maior produtor do Brasil, conforme censo IBGE de 2019 (IBGE, 2019).

O projeto foi motivado por um grupo de 10 produtores rurais do município que se organizaram para instalar um condomínio para secagem de café conilon de forma a beneficiar a produção de suas lavouras, ter um produto de maior qualidade e escala e viabilizar o acesso a equipamentos mais modernos e eficientes, o que ocasionou a necessidade de implantação de um sistema de aquecimento de ar de secagem, isento de possíveis odores e contaminantes.

Mediante a demanda, objetivou-se com este trabalho analisar técnica e economicamente a implantação do uso de caldeiras no processo de secagem de café conilon cereja descascado, contemplando o dimensionamento para atendimento, bem como, a análise de viabilidade econômica, tendo como parâmetro o custo com o uso de fornalha com fogo indireto.

Como objetivo específico, o trabalho visou:

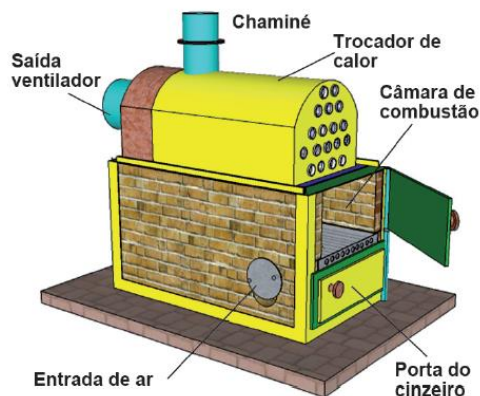
- a) Dimensionar uma caldeira para aquecimento do ar de secagem de café em secadores horizontais rotativos;
- b) Levantar dados de temperatura interna do secador e nos grãos durante o processo de secagem, densidade dos grãos, volume dos secadores e vazão de ar fornecida pelos ventiladores, sendo estes obtidos em literatura e junto a fabricantes dos equipamentos;
- c) Levantar e avaliar custos para implantação e manutenção utilizando os dois sistemas de maior uso no Brasil, caldeira e fornalha de fogo indireto;
- d) Avaliar biomassas disponíveis para queima no processo, bem como, estimar os custos relativos aos seus consumo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Face às alternativas disponíveis no mercado, visando obter um produto de maior qualidade e com custos acessíveis para os produtores, serão analisadas duas alternativas de equipamentos para implantação no condomínio de secagem de café: fornalha de fogo indireto e caldeira.

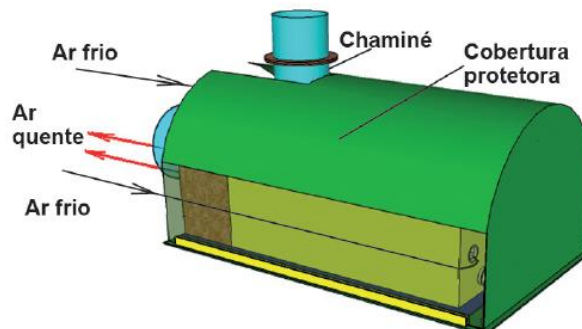
A fornalha com sistema de aquecimento indireto, equipamento demonstrado na figura 1, destina-se aos processos de secagem onde há necessidade de controle de temperatura. Durante o processo de combustão, a energia térmica dos gases é encaminhada para um trocador de calor o qual aquece o ar de secagem, neste caso, de forma indireta, conforme desenho ilustrativo da figura 2 (Silva et al., 2014).

Figura 1- Fornalha com trocador de calor (ar/ar) para a secagem de café



Fonte: SILVA et al., 2014

Figura 2 - Fluxo de ar frio e quente pela cobertura e trocador de calor



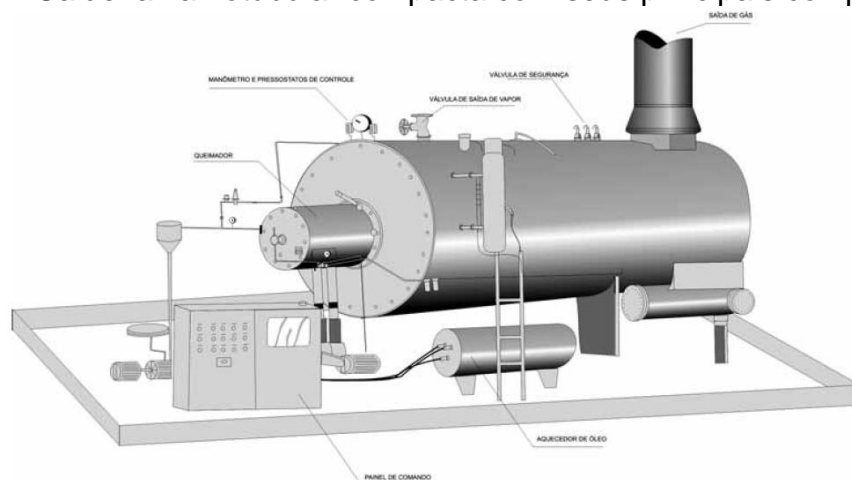
Fonte: SILVA et al., 2014

O segundo equipamento a ser analisado, a caldeira, pode ser definida como “trocador de calor de energia térmica (combustível), ar e fluido vaporizante, construído de diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível” (PERA, 1966).

As caldeiras podem ser classificadas em dois tipos básicos: as flamotubulares onde os gases provenientes da combustão circulam na área interna dos tubos, vaporizando a água que fica na área externa dos mesmos, sendo utilizadas nos processos que exigem baixa produção de vapor (até 10 ton/h) e pressão (máximo 17 bar); e aquatubulares onde os gases circulam na área externa dos tubos vaporizando a água na área interna, sendo estas de aplicação industrial nas quais a produção de vapor variam até 750 toh/h e pressões de até 200bar (ELETROBRAS, 2005).

A caldeira especificada para o projeto será do tipo flamotubular mista, conforme demonstrado na figura 3, visto que este equipamento é dimensionado para trabalhar com baixa pressão, vazão e temperatura que são as condições típicas da operação de secagem de café.

Figura 3 - Caldeira flamotubular compacta com seus principais componentes



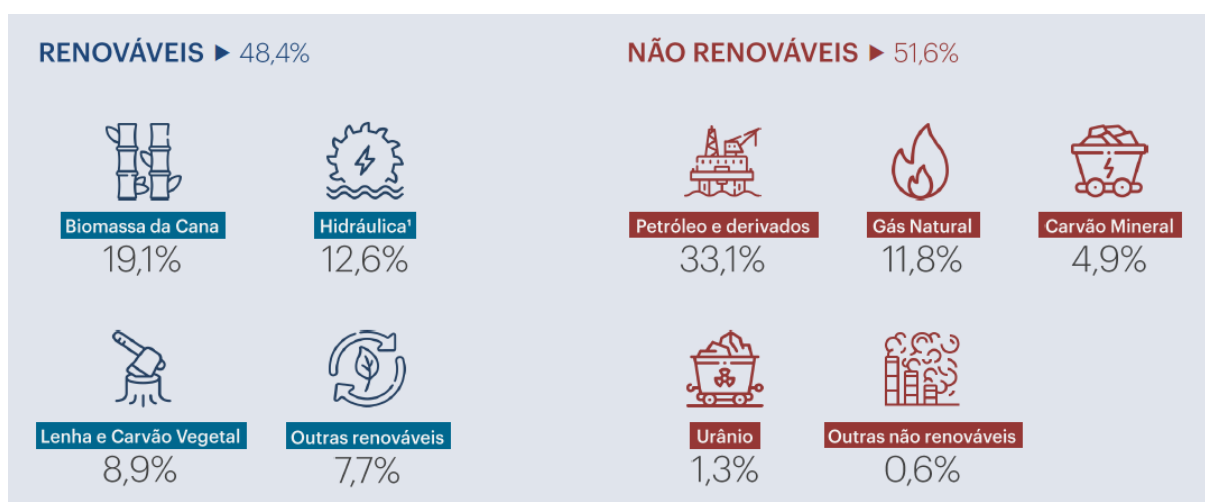
Fonte: ELETROBRAS, 2005

2.1 ANÁLISE DOS COMBUSTÍVEIS DE BIOMASSA

A biomassa é definida como qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia, seja ela térmica mecânica, ou elétrica. Pode ser classificada pela sua origem como florestal (madeira), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar,...) e rejeitos urbanos e industriais (lixo) (ANEEL, 2008).

O uso de biomassa na geração de energia tem tido um considerável crescimento no Brasil. Segundo dados do BEN – Balanço Energético Nacional, no ano de 2020, 51,6% da energia consumida no Brasil foi proveniente de energias não renováveis e 48,4% de energias renováveis, sendo destes 19,1% proveniente da biomassa da cana e 8,9% de lenha e carvão vegetal (EPE, 2021), conforme figura 01.

Figura 4 - Repartição da Oferta Interna de Energia (2020)



Fonte: EPE, 2020

Em virtude da disponibilidade de biomassas que já são utilizadas como combustíveis nos processos de secagem de grãos (café e pimenta-do-reino) na região, para análise foi restringido o uso de casca de macadâmia, casca de café e eucalipto como alternativas.

A primeira análise realizada foi feita usando a metodologia para composição química elementar, ou seja, levantamento de valores referentes em porcentagem de massa de carbono (C), enxofre (S), oxigênio (O), hidrogênio (H), Nitrogênio (N) e umidade (W) para cada combustível.

A partir dos dados coletados da análise elementar e com base no teor de umidade de cada biomassa definiu-se a composição química elementar em base de trabalho, a qual refere-se à composição do combustível no seu estado natural, levando em consideração a umidade e os componentes químicos existentes no instante da queima (LORA e NASCIMENTO, 2004), conforme demonstrado na equação 1 e valores apresentados na tabela 1.

$$Combustivel_{Base\ de\ Trabalho} = Combustivel_{Base\ Seca} \cdot \left(\frac{100 - W^t}{100} \right) \quad (1)$$

Onde:

W^t = umidade no momento da queima.

Tabela 1 - Composição química elementar em base de trabalho das biomassas

Biomassa	Umidade (%)	C	H	O	N	S
Casca de café	10,5	42,33	5,73	33,74	2,42	0,27
Eucalipto	30	34,30	4,11	30,78	0,21	0,007
Casca de macadâmia	10,47	42,88	5,21	40,40	0,13	0,71

Fonte: Elaborado pela autora

Definida a composição química elementar da base de trabalho do combustível torna-se possível estimar o PCI - poder calorífico inferior (kJ/kg), sendo este a quantidade de energia cedida durante o processo de combustão completa da unidade de massa (1 kg) ou volume (1 Nm³) do combustível, sendo neste desconsiderado o calor latente de vaporização do vapor de água produzido pela reação de combustão durante a queima do combustível com o ar seco (LORA e NASCIMENTO, 2004), conforme equação 2.

$$PCI^t = 339.C^t + 1030.H^t - 109.(O^t - S^t) - 24.W^t \quad (2)$$

Onde:

C^t = porcentagem de massa de carbono;

H^t = porcentagem de massa de hidrogênio;

O^t = porcentagem de massa de oxigênio;

S^t = porcentagem de massa de enxofre;

W^t = umidade no momento da queima;

PCI^t = poder calorífico inferior de base de trabalho da biomassa [kJ/kg]

Considerando a eficiência térmica ou o rendimento total que pode ser obtido na caldeira do tipo flamotubular, conforme em 78%, conforme normas estrangeiras DIN (alemã) e ASME (americana) (Eficiência Energética no Uso do Vapor) e a partir dos dados do PCI encontrado para cada combustível, foi possível determinar a vazão de combustível necessário para o uso de cada biomassa através da equação 3 (PERA, 1990).

$$B = \frac{D (hv - ha)}{\eta \cdot PCI} \quad (3)$$

Onde:

B = quantidade de combustível alimentado na fornalha [ton/h];

D = vazão do vapor [ton/h];

hv = entalpia do vapor [kJ/kg];

ha = entalpia da água [kJ/kg];

η = rendimento da caldeira [%]

PCI = poder calorífico inferior da biomassa [kJ/kg]

2.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

2.2.1 Parâmetros de projeto

Para o dimensionamento dos sistemas foram levantados dados de processo de secagem, sendo o valor de temperatura do ar na entrada (temperatura ambiente), obtido através da média histórica de temperatura nos últimos 10 anos junto ao INMET, considerando o período de safra (maio a julho) quando os equipamentos estarão operando.

Para definição do valor de temperatura do ar na saída do trocador de calor foi definido como parâmetro o valor de temperatura de secagem obtido em um projeto experimental realizado para análise da influência de diferentes condições de fluxo de ar e da temperatura de secagem na qualidade sensorial dos grãos de café arábica (*Coffea arábica* L.) cereja descascado e desmuciliado (OCTAVIANI, 2000).

Os volumes dos secadores e as vazões volumétricas de ar foram obtidos junto aos fabricantes dos equipamentos, visto que este estudo tem como premissa dois secadores já instalados e um terceiro já adquirido para o condomínio. Os parâmetros de projeto citados estão resumidos tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros estabelecidos para definição de modelo matemático e dimensionamento de caldeira

Variáveis Observadas	Valor
Temperatura do ar na entrada (ambiente)	23,5°C
Temperatura do ar na saída	96,5°C
Temperatura do vapor	126,5°C
Volume dos secadores 1, 2 e 3	15m ³
Vazão de ar dos secadores 1, 2 e 3	150m ³ /min
Pressão ambiente (1 atm)	101,325kPa

Fonte: Elaborado pela autora

Uma grandeza de suma importância a ser dimensionada para o trocador de calor da caldeira é a vazão mássica de ar de secagem, a qual relaciona a quantidade de massa que escoar através de uma seção transversal de um determinado mecanismo por determinado tempo (ÇENGEL, 2009).

Para cálculo das vazões mássicas de ar foi utilizada a equação 4, sendo consideradas as vazões e a densidade do ar (BORGNAKKE e outro, 2013) na entrada dos secadores.

$$\dot{m}_{ar} = \rho \cdot \dot{V} \quad (4)$$

Onde:

\dot{m}_{ar} = vazão mássica de ar, kg/s

ρ = massa específica do ar na entrada do secador, kg/m³

\dot{V} = vazão volumétrica de ar, m³/s

2.2.2 Dimensionamento da caldeira usando vapor

Baseado na Primeira Lei da Termodinâmica, a qual estabelece que a “energia não pode ser criada nem destruída, mas simplesmente transformada de uma forma em outra” (MORAN e SHAPIRO, 2006), foram realizados os balanços de massa e energia no trocador de calor a fim de se obter a demanda térmica total a ser fornecida pela caldeira. Considerando os dados de vazão mássica e calor específico do ar estimado em 1,005kJ/kg.°C (Eficiência Energética no Uso do Vapor, 2005), foi possível calcular a demanda térmica necessária para atendimento aos secadores 1, 2 e 3, através da equação 5.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ar} c_p \cdot \Delta t \quad (5)$$

Onde:

\dot{Q} = calor a ser fornecido ao ar, kJ/s ou kW

\dot{m}_{ar} = vazão mássica do ar, kg/s

c_p = calor específico do ar, m³/s

Δt = variação de temperatura (temperatura de saída – temperatura de entrada), °C

A partir do levantamento de dados de entalpia do vapor, foi realizado o cálculo da vazão de vapor necessária para atendimento aos trocadores de calor dos 03 secadores, com base na vazão mássica, demonstrado na equação 6, obtendo o valor total de 0,88 ton/h e pressão levantada em tabela de 2,43 bar (MORAN e SHAPIRO, 2006). Foi considerado um pinch point de 30°C, ora definido como a diferença entre a temperatura dos gases de exaustão que deixam o evaporador e a temperatura do vapor saturado, conforme literatura (PERA, 1966).

$$\dot{Q}_{vc} = \dot{m} \cdot [(h_v - h_a)] \quad (6)$$

Onde:

\dot{Q}_{vc} = calor cedido, kg

\dot{m} = vazão mássica de vapor, ton/h

$(h_v - h_a)$ = variação de entalpia da água no estado vapor e líquido entre a entrada e a saída, kJ/kg

2.2.3 Dimensionamento da caldeira usando água quente

Devido as baixas temperaturas utilizadas na secagem de café cereja descascado, foi considerado para o dimensionamento a caldeira fornecendo água quente para o sistema de secagem. Esse sistema oferece algumas vantagens em relação ao uso de vapor como por exemplo operação em sistema totalmente fechado, baixo consumo de água de reposição, não há necessidade de equipamentos auxiliares como purgadores, filtros e válvulas exclusivos em sistemas com vapor. Além disso, segundo (PERA, 1966) a água transporta mais calor do que o vapor e essa relação é ainda maior em baixas temperaturas.

Neste sentido, para este dimensionamento foi considerado que a caldeira forneça água saturada a uma temperatura de 126,5°C, mantendo as condições de secagem estabelecidas na tabela 2 e retorne à caldeira a 60°C (PERA, 1966). Utilizando a equação 6 para água quente e considerando o c_p de 4,18 kJ/kg.k, conforme valor tabelado (BORGNAKKE e outro, 2013), foi possível calcular a vazão de água necessária nos trocadores de calor para atender a caldeira, obtendo valor de 19,84ton/h. Já o consumo de biomassa foi estimado utilizando a equação 3.

2.3 FORNALHA DE FOGO INDIRETO

Para critério de comparação entre as tecnologias foram realizados levantamento de custo para aquisição de fornalhas de fogo indireto junto a dois fabricantes, bem como, levantamento de consumo de combustível.

Para análise de custo do combustível foi disponibilizado somente dados de consumo para o uso de eucalipto, visto que os fabricantes dos equipamentos não dispõem de dados referentes ao consumo das biomassas de casca de café e casca de macadâmia.

2.4 CUSTOS COM COMBUSTÍVEIS E MANUTENÇÃO

Para análise dos custos de combustíveis foi realizada consulta no mercado local para cada tipo de biomassa, conforme dados apresentados na tabela 3. Para o cálculo do custo do eucalipto foi considerado que cada 1 metro estéreo equivale a 0,607 toneladas ao preço de R\$ 70,00 / metro estéreo do eucalipto. Já para a casca de café e de macadâmia, os preços de mercado referem-se ao valor de custo por tonelada.

Tabela 3 - Custos de biomassa

Biomassa	Custo (R\$/ton)
Casca de café	240,96
Eucalipto	115,32
Casca de macadâmia	274,04

Fonte: Elaborado pela autora

Considerando que os equipamentos irão operar durante o período de safra que é de maio a julho, tendo uma estimativa de produção de 10.000 sacas de café cereja descascado por ano e que cada secador possui capacidade para secar 75 sacas por

ciclo de 21 horas, teremos um total de 2800 horas de secagem, ou seja, 933,3 horas de secagem por secador/ano, conforme definimos na equação 7.

$$H = \frac{Q_{sacas}}{C_{secador}} \times T_{ciclo} \quad (7)$$

Onde:

H = quantidade total de horas para secagem (h);

Q_{sacas} = quantidade total de sacas disponíveis para secagem (sc);

$C_{secador}$ = capacidade sacas para secagem por secador (sc);

T_{ciclo} = tempo necessário para cada ciclo de secagem (h)

Para análise dos custos de manutenção das fornalhas, foram realizados levantamentos do tempo de vida útil conforme dados do fabricante e informações fornecidas por um produtor rural que faz uso do equipamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 4 mostra os resultados relacionados ao PCI de cada biomassa bem como do custo do combustível, em R\$/h, considerando os custos apresentados na tabela 3 e as vazões calculadas pela equação 2

Tabela 4 - Aspectos técnicos e custos comparativos por tipo de biomassa

BIOMASSA	PCI (kJ/kg)	Caldeira a vapor		Caldeira a água quente	
		Vazão de combustível (ton/h)	Custo de Combustível (R\$/h)	Vazão de combustível (ton/h)	Custo de Combustível (R\$/h)
Casca de café	16350,34	0,17	40,96	0,15	36,14
Eucalipto	11785,82	0,24	27,68	0,21	24,22
Casca de macadâmia	15323,58	0,18	49,33	0,16	43,85

Fonte: Elaborado pela autora

Para análise comparativa foram realizados cálculos para custo do consumo de combustível usado nas fornalhas de fogo indireto, sendo coletado valor de vazão junto ao fabricante. Neste caso, foram disponibilizados valores somente para o uso de eucalipto, visto que não foi localizada literatura para referência de consumo das cascas de café e de macadâmia, conforme tabela 5.

Tabela 5 - Custo para uso de eucalipto como combustível para as três fornalhas de fogo indireto

Biomassa	PCI (kJ/kg)	Vazão de combustível (ton/h)	Custo Combustível (R\$/h)
Eucalipto	11785,82	0,39	44,98

Fonte: Elaborado pela autora

As fornalhas possuem vida útil de 2000 horas operacionais conforme dados de fabricante; considerando um total de 2800 horas necessárias para secagem, estimamos 933,3 horas/ano de uso das fornalhas por secador, o que neste caso, ocasionará a manutenção ou troca da fornalha a cada 2,14 anos, estabelecido pela equação 8.

$$M = \frac{V_{util}}{T_{op}} \quad (08)$$

Onde:

M = tempo estimado para manutenção ou substituição do equipamento (anos);

V_{util} = tempo de vida útil do equipamento (h);

T_{op} = tempo de operação do equipamento (h);

A partir do tempo estimado para manutenção, podemos então relacionar o valor em quantidades de sacas de café, totalizando 7.142,8 sacas, segundo estabelecido na equação 9.

$$Q_{sacas} = \frac{V_{util}}{T_{ciclo}} \times C_{secador} \quad (09)$$

Onde:

Q_{sacas} = quantidade de sacas de café secas estimadas para realizar a manutenção ou substituição do equipamento (sc);

Considerando o tempo previsto de 2800 horas/ano de operação dos equipamentos, foi realizado levantamento de custo com combustível anual, por equipamento, conforme demonstrado nas tabela 6.

Tabela 6 - Custo anual de combustível

Biomassa	Combustível para uso na fornalha de fogo indireto (R\$)	Combustível para caldeira com uso de vapor no sistema (R\$)	Combustível para caldeira com uso de água no sistema (R\$)
Eucalipto	41.976,94	25.831,96	22.602,97

Fonte: Elaborado pela autora

Para análise do custo com energia elétrica, foi realizado levantamento dos motores instalados nos equipamentos, sendo, para os alimentadores de combustíveis das fornalhas de fogo indireto um motor de 1/4CV e um motor de 1/2CV para cada equipamento.

Para as cadeiras que usarão água quente foram considerados um motor de 3CV para bomba de alimentação, um motor de 5CV para o exaustor e um motor de 10CV para bomba de circulação; já para para caldeira que trabalhará com vapor foi considerado um motor de 3CV para bomba de alimentação e um motor de 5CV para o exaustor. Como os dois sistemas também necessitarão de alimentador automático para combustível foram considerados dois motores de 2CV e um motor de 01CV para o alimentador.

Para definição do custo com energia elétrica das duas tecnologias foi levantado o valor do kWh cobrado pela concessionária de energia local para as unidades atendidas na classe definida como “Rural – Agropecuária” e considerado que os equipamentos trabalharão 2800 horas, obtendo os custos estabelecidos na tabela 7:

Tabela 7 – Custo anual com energia elétrica

	Motores para uso nos alimentadores das Fornalha	Motores para uso na Caldeira com uso de água quente no trocador (kWh/ano)	Motores para uso na Caldeira com uso de vapor no trocador (kWh/ano)
kWh/ano	4.633.64	14.415.78	7.551.12
R\$/ano	R\$ 2.489,43	R\$ 7.744,88	R\$ 4.056.84

Fonte: Elaborado pela autora

Para levantamento de custos de manutenção das caldeiras foi realizada cotação para inspeção do equipamento com fornecedor da região, obtendo o valor de inspeção inicial de R\$ 1.500,00 e inspeção periódica de R\$ 1.200,00. Foram realizadas cotações com outros fornecedores fora da região, porém, o custo com estadia e

deslocamento onerou o valor da inspeção inviabilizando estas cotações para presente análise. Não foram considerados custos de manutenção nos equipamentos em virtude da garantia dada pelo fabricante de 20 anos, além da dificuldade em estimar possíveis falhas ou avarias nos equipamentos.

Para análise de custo de implantação dos equipamentos foi realizado cotação junto a dois fabricantes para fornecimento de caldeira e de fornalha de fogo indireto, contemplando alimentadores automáticos, conforme demonstrado nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Custo para aquisição das fornalhas de fogo indireto

Equipamento	Quant	Unid	Fornecedor A	Fornecedor B
Conjunto de três fornalhas de fogo indireto	1	un	R\$ 100.513,23	R\$ 106.812,00

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 9 - Custo para aquisição de caldeira

Equipamento	Quant	Unid	Fornecedor A	Fornecedor B	Fornecedor C
Caldeira a vapor	1	un	R\$ 482.600,00	R\$ 571.793,64	R\$ 443.280,00
Caldeira a água quente	1	un	R\$ 433.700,00	R\$ 570.239,78	R\$ 411.730,00

Fonte: Elaborado pela autora

A análise financeira deste trabalho foi baseada na comparação dos custos de implantação das duas tecnologias, caldeira e fornalha de fogo indireto, considerando para ambas seus investimentos, manutenção, consumo com energia elétrica e consumo de combustível na operação. O cenário econômico foi definido considerando uma taxa de juros de 8%, correspondente a taxa SELIC referente ao mês de setembro 2021 e um período de 20 anos, considerando cálculo do valor presente, conforme equação 10 e demonstrado no gráfico 1.

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n} \quad (10)$$

Onde:

VP = Valor presente (R\$)

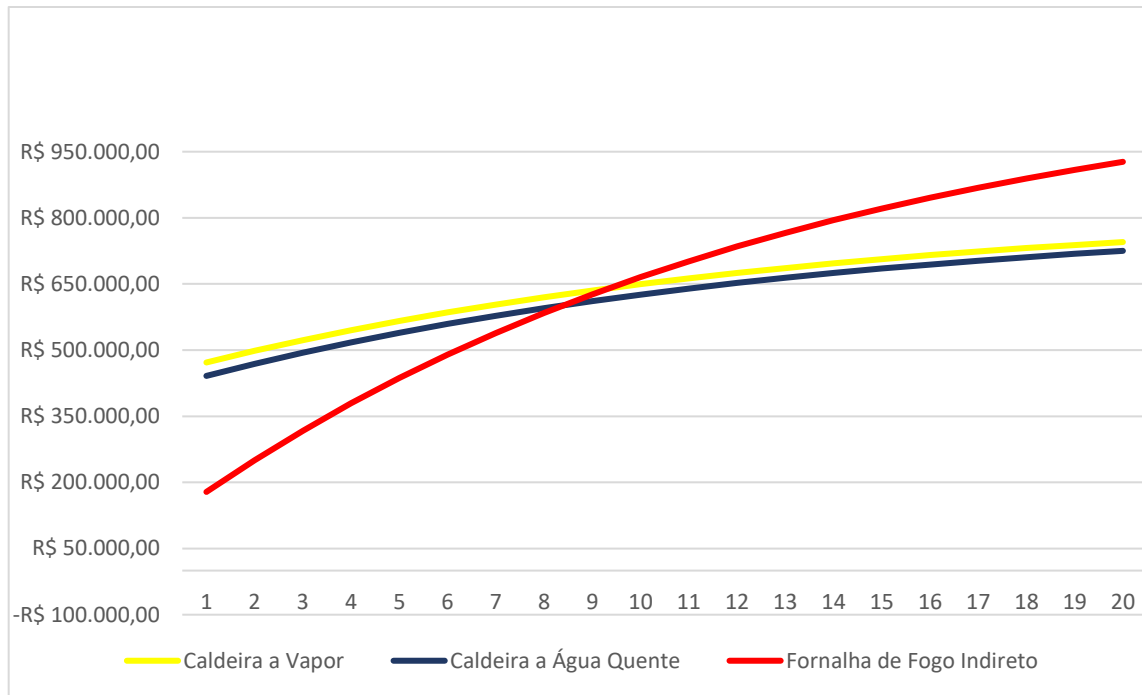
VF = Valor futuro (R\$)

i = taxa de juros anual (%)

n = período (ano)

Como resultado, ao final de 20 anos, os custos totais (investimento, consumo com energia, consumo com combustível e manutenção) considerando valor presente acumulado para caldeira a vapor, caldeira a água quente e fornalha de fogo indireto correspondem a R\$ 745.059,61, R\$ 721.295,05 e R\$ 927.046,23, respectivamente.

Gráfico 1 - Tendências de custo com implantação e manutenção dos equipamentos



Fonte: Elaborado pela autora

3 ASPECTOS CONCLUSIVOS

A análise realizada neste projeto de pesquisa visando a implantação de caldeiras no processo de secagem de café restringe-se ao cenário da realidade dos produtores de café do Norte Capixaba, visto que os fabricantes de fornalha de fogo indireto não estão disponibilizando a manutenção dos trocadores de calor, os quais submetidos a altas temperaturas, têm sua estrutura comprometida ao longo 2000 horas de funcionamento levando à substituição do equipamento.

Comparando os consumos de combustíveis entre a fornalha de fogo indireto e as caldeiras (tanto para vapor quanto água quente), os menores valores obtidos foram para o eucalipto, de 236,46kg/h e 213,15 kg/h respectivamente, face o de fornalha de fogo indireto, 390,6 kg/h.

Este trabalho apresentou resultados que demonstram que as caldeiras para aplicações de secagem de café possuem um alto custo inicial com o investimento de aquisição associado a menores custos com operação, combustível e manutenção quando comparados ao da fornalha de fogo indireto. Por outro lado, as fornalhas de fogo indireto tiveram um custo elevado no decorrer dos anos devido consumo com combustível e depreciação do equipamento.

Com base nos levantamentos e análises realizados podemos concluir que o uso da caldeira é viável mediante ao das fornalhas após o 8º ano de operação. A partir do 8º ano, as caldeiras passam a ter um custo acumulado com implantação, combustível e manutenção menor. Vale ressaltar que caso haja aumento de demanda para os equipamentos em virtude da produção ou terceirização dos serviços de secagem, a análise deverá ser revisada.

REFERÊNCIAS

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2008. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2008_AtlasEnergiaEletricaBrasil3ed/297ceb2e-16b7-514d-5f19-16cef60679fb>. Acesso em: 21 set. 2021.

BAZZO, Edson. **Geração de Vapor**. 2. ed. Florianópolis: Da Ufsc, 1995. 216 p.

BORGNACKE, Claus; SONNTAG, Richard E.. **Fundamentos da termodinâmica**. São Paulo: Blucher, 2018. 730 p. Coordenação e tradução de Roberto de Aguiar Peixoto.

EPE EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BEN Balanço Energético Nacional Relatório Síntese**. 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf>. Acesso em: 12 set. 2021

FERRÃO, Romário Gava *et al* (ed.). **Café Conilon**. 2. ed. Vitória: Incaper, 2017. 784 p.

INCROPERA, Frank P. *et al*. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 656 p. Tradução e revisão técnica de Eduardo Mach Queiroz e Fernando Luiz Pellegrini Pessoa.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil). **PAM - Produção Agrícola Municipal**. 2019. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?edicao=29008&t=resultados>> Acesso em: 12 set. 2021

METEOROLOGIA, Inmet - Instituto Nacional de. **Monitoramento de temperatura: histórico de dados meteorológicos.** Histórico de dados meteorológicos. Disponível em:
<<https://tempo.inmet.gov.br/#>> Acesso em: 10 set. 2021

MESQUITA, Carlos Magno de *et al.* **Manual do café: colheita e preparo.** Belo Horizonte: Emater - Mg, 2016. 52 p.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.. **Fundamentals of Engineering Thermodynamics.** 5. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2006. 846 p.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; ROCHA, Carlos R.; NOGUEIRA, Fábio José H.. **Eficiência Energética no Uso de Vapor.** Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2005. 196 p.

OCTAVIANI, Julio Cesar. **Secagem de cafe cereja descascado desmucilado com utilizacao de gas liquefeito de petroleo.** 2000. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas, 2000.

PARTELLI, Fábio Luiz; MORAES, Willian Bucker (org.). **Café Conilon: Qualidade e Sucessão Familiar.** Alegre: Caufes, 2018. 188 p.

PERA, Hildo. **Geradores de vapor de água (caldeiras).** Belo Horizonte: Livraria Importadora Científica Ltda, 1966. 288 p.

SILVA, Juarez de Sousa e *et al.* **Fornalha a lenha para secagem de café e grãos.** Brasília: Embrapa, 2014. 14 p. (Embrapa Café. Comunicado técnico, 6). Disponível em:
<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114620/1/Fornalha-a-lenha-para-secagem.pdf>> Acesso em: 14 set. 2021.

TEIXEIRA, Flávio Neves; LORA, Electo Eduardo Silva. **Geração Termelétrica: planejamento, projeto e operação.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 1296 p.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CAMPUS SÃO MATEUS

Rodovia BR 101-Norte – Km 58 – Bairro Litorâneo – 29932-540 – São Mateus – ES

COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

MARCILENE ANÍZIO DE LIMA

ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE CALDEIRA PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO DE UNIDADE DE SECAGEM DE CAFÉ SOB AS PERSPECTIVAS TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA

Trabalho Final de Curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Pós-graduação *lato sensu* em Eficiência Energética Industrial do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética Industrial

Aprovado em 01 de outubro de 2021.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Me Igor Chaves Belisario
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Me. Nelson Henrique Bertollo Santana
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Me. Carlos Eduardo Silva Abreu
Instituto Federal do Espírito Santo

Prof. Me. Cristiano Severo Aiolfi
Instituto Federal do Espírito Santo



Emitido em 03/11/2021

FOLHA DE APROVAÇÃO-TCC Nº 2/2021 - SMT - CRIEC (11.02.31.01.04.04.01)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 03/11/2021 11:18)

CARLOS EDUARDO SILVA ABREU
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
SMT-CCEM (11.02.31.01.05.07)
Matrícula: 2166617

(Assinado digitalmente em 03/11/2021 20:35)

CRISTIANO SEVERO AIOLFI
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
ARA-CCTM (11.02.16.01.03.02.03)
Matrícula: 2305128

(Assinado digitalmente em 03/11/2021 11:15)

IGOR CHAVES BELISARIO
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
SMT - CRIEC (11.02.31.01.04.04.01)
Matrícula: 1337747

(Assinado digitalmente em 04/11/2021 09:42)

NELSON HENRIQUE BERTOLLO SANTANA
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO
SMT-CCTE (11.02.31.01.05.02.05)
Matrícula: 2186955

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ifes.edu.br/documentos/> informando seu número: 2, ano: 2021, tipo: FOLHA DE APROVAÇÃO-TCC, data de emissão: 03/11/2021 e o código de verificação: cba3dc8454