

**REDE DE ENSINO DOCTUM  
FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**MATEUS ALVES MARCIANO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA COM SISTEMA DE  
COGERAÇÃO A PARTIR DA BIOMASSA APLICADA NO CENTRO DE  
EXCELÊNCIA DO CAFÉ, CARATINGA (MG)**

**CARATINGA  
2018**

**REDE DE ENSINO DOCTUM  
FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**MATEUS ALVES MARCIANO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA COM SISTEMA DE  
COGERAÇÃO A PARTIR DA BIOMASSA APLICADA NO CENTRO DE  
EXCELÊNCIA DO CAFÉ, CARATINGA (MG)**

**Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Elétrica das Faculdades Integradas de  
Caratinga, como requisito parcial a  
obtenção ao título de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.**

**Área de concentração: Geração de  
Energia.**

**Professor orientador: Ricardo Botelho  
Campos**

**CARATINGA  
2018**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

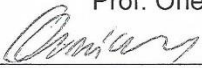
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO DE VIABILIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA COM SISTEMA DE COGERAÇÃO A PARTIR DA BIOMASSA APLICADA NO CENTRO DE EXCELÊNCIA DO CAFÉ, CARATINGA (MG), elaborado pelo(s) aluno(s) MATEUS ALVES MARCIANO foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Caratinga 06/12/2018

  
\_\_\_\_\_  
RICARDO BOTELHO CAMPOS

Prof. Orientador

  
\_\_\_\_\_  
VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES

Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
ROBSON DA SILVA

Prof. Examinador 2

*Esse trabalho é dedicado ao meu eterno avô Vicente Rodrigues.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força, para superar as dificuldades. A minha família pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos, pela amizade gerada nesses anos.

Meus agradecimentos aos meus professores que estiveram dispostos a contribuir com minha formação acadêmica, em especial ao professor Ricardo Botelho Campos por toda sua cautela no desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço também ao Ademar Martins por fornecer todos os dados necessários para este trabalho.

*“O conhecimento serve para encantar as pessoas, não para humilhá-las.”  
(Mario Sergio Cortella)*

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia
BEM	Balanço Energético Nacional
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
MG	Minas Gerais

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Oferta de energia elétrica no Brasil .....	17
<b>Figura 2</b> - Caldeira.....	20
<b>Figura 3</b> - Ciclo tipo Topping .....	21
<b>Figura 4</b> : Ciclo Bottoming .....	22
<b>Figura 5</b> : Centro de Excelência do Café de Caratinga .....	27
<b>Figura 6</b> : Casca do café no Centro de Excelência do Café.....	29
<b>Figura 7</b> : Inserção dos dados técnicos .....	35
<b>Figura 8</b> : Resultado da eficiência.....	36
<b>Figura 9</b> : Organograma do ciclo Rankine regenerativo .....	37
<b>Figura 10</b> : Organograma do sistema no Centro de Excelência do Café .....	46



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Produção Primária de Energia .....	16
<b>Tabela 2</b> - Quantidade de palha disponível por secador rotativo 15000 L .....	30
<b>Tabela 3</b> - Palha disponível no Centro de Excelência do café em 2018.....	30
<b>Tabela 4</b> - Biomassa para o consumo dos secadores .....	31
<b>Tabela 5</b> - Tabela comparativa de energias .....	31
<b>Tabela 6</b> - Energia disponível no Centro de Excelência do Café.....	32
<b>Tabela 7</b> – Dados obtidos no Centro de Excelência do Café.....	33
<b>Tabela 8</b> – Resultados dos cálculos.....	34
<b>Tabela 9</b> – Energia gerada por quantidade de Biomassa .....	38
<b>Tabela 10</b> – Projeto Turbina, Redutor e Gerador .....	39
<b>Tabela 11</b> – Project: SZL2-1.25-All model, 2ton/h biomass steam boiler, 1.25Mpa design pressure, AUTOMATIC operation with chain grate.....	40
<b>Tabela 12</b> – Orçamento total .....	41
<b>Tabela 13</b> – Consumo de Energia e Geração .....	44
<b>Tabela 14</b> – Retorno do Investimento .....	47

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
$I_A$	Corrente na armadura
$CO_2$	Dióxido de Carbono
$^{\circ}C$	Grau celsius
MWh	Megawatt-hora
MPa	Mega pascal
$M^2$	Metro quadrado
Kcal	Quilocaloria
kg	Quilogramas
kW	Quilowatts
kVA	Quilovoltampere
kWh	Quilowatts-hora
RPM	Rotações por minuto
$E_A$	Tensão Interna Gerada
t	Tonelada
V	Volt

MARCIANO, Mateus Alves. **ESTUDO DE VIABILIDADE DE COGERAÇÃO A PARTIR DA BIOMASSA APLICADA NO CENTRO DE EXCELÊNCIA DO CAFÉ, CARATINGA – MG.** Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga 2018.

## RESUMO

A geração de energia elétrica através da biomassa apresenta grandes vantagens referente a energia renovável, pois há uma grande extensão do consumo de energia elétrica mundial. Será apresentado como energia renovável casca de café que é uma biomassa com grande potencial de geração de energia elétrica, e suas formas de aproveitamento visando eficiência energética. O trabalho tem como estudo verificar a qualidade da energia elétrica utilizada pelos proprietários rurais, verificando possíveis problemas de oscilação de tensão em horários de pico em redes de distribuição rural. Entretanto a viabilidade de um empreendimento de geração de energia depende também de outros fatores, tais como o preço da eletricidade, o combustível disponível e a liquidez da venda de excedentes elétricos. Por isso a decisão do investidor deverá ser adotada numa análise que envolva a tecnologia empregada, o benefício econômico e a estratégia de atuação no mercado de eletricidade.

**Palavras-chave:** Biomassa. Palha de café. Geração de energia.

MARCIANO, Mateus Alves. **ESTUDO DE VIABILIDADE DE COGERAÇÃO A PARTIR DA BIOMASSA APLICADA NO CENTRO DE EXCELÊNCIA DO CAFÉ, CARATINGA – MG.** Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga 2018.

## SUMMARY

The generation of electricity through biomass presents great advantages regarding renewable energy, since there is a great extension of the consumption of electric energy worldwide. The increase of the technological evolution, generates a need of investments to apply in sources of renewable energies. In this work the objective is to discuss and present electricity generation from the biomass as a viable source of complement of the hydro generation of the energy matrix. It will be presented as renewable energy coffee husk that is a biomass with great potential of electric energy generation, and its forms of use aiming at energy efficiency. This same one also has as study to verify the quality of the electric power used by the rural proprietors, verifying possible problems of tension oscillation in peak hours in rural distribution networks. However, the viability of an energy generation venture also depends on other factors, such as the price of electricity, available fuel and the liquidity of the sale of surplus electricity. Therefore, the decision of the investor should be adopted in an analysis that involves the technology employed, the economic benefit and the strategy of action in the market of electricity.

**Keywords:** Biomass. Coffee straw. Power generation.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 Biomassa</b> .....	<b>16</b>
2.1.1 Cenário de geração de eletricidade a partir de biomassa .....	16
<b>2.2 Casca do café</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 Poder Calorífico.....	18
<b>2.3 Combustão</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4 Secador Rotativo</b> .....	<b>18</b>
2.4.1 Fornalha de fogo indireto .....	19
<b>2.5 Caldeira</b> .....	<b>19</b>
2.5.1 Caldeiras convencionais .....	19
<b>2.6 Cogeração</b> .....	<b>20</b>
2.6.1 Tipos de cogeração.....	21
2.6.2 Cogeração no Brasil.....	23
<b>2.7 Gerador de Energia Elétrica</b> .....	<b>23</b>
<b>2.8 Micro e Mini geração Distribuída</b> .....	<b>24</b>
2.8.1 Caracterização .....	24
2.8.2 Custo benefício .....	25
<b>3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1 Local de estudo</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2 Preparação para os cálculos</b> .....	<b>27</b>
<b>4 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1 Concentração de biomassa no Centro de Excelência do Café</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2 Transformações de energias</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3 Energia elétrica gerada</b> .....	<b>32</b>
<b>4.4 Preparação para simulação</b> .....	<b>35</b>
4.4.1 Orçamento do empreendimento .....	39

<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 Resultados da conta de energia fornecida pela CEMIG no período de 10 meses .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 Potencial de geração de energia no ano de 2018 no Centro de Excelência do Café .....</b>	<b>44</b>
5.2.1 Funcionamento da geração de energia no local de estudo .....	45
5.2.2 Investimento do empreendimento de geração de energia .....	47
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>6.1 Trabalhos futuros.....</b>	<b>49</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho trata de uma análise crítica da viabilidade da geração de energia referentes ao uso de biomassa como fonte de geração de energia elétrica sendo uma alternativa energética. Pois a maioria dos países procuram uma forma de aumento no setor dessas fontes renováveis de energia e seus impactos na matriz energética, tendo como objetivo de adicionar a oferta de energia e analisar as emissões de gases para o efeito estufa.

Uma estratégia para o futuro como complementação de valor significativo no setor energético é admitir o conhecimento das fontes renováveis em relação à geração hídrica. São fontes de energia que às vezes são desconsideradas pela falta de estudos e desenvolvimento em relação às mesmas.

Em localidades rurais onde já são atendidas por concessionárias elétricas, existem problemas na qualidade da energia elétrica que abastecem suas cargas existentes. Algumas soluções como implementação de outras fontes de energia, serão estudadas para verificação desses problemas existentes e que serão analisadas, alternativas e métodos para o gerenciamento da rede de distribuição.

Nessas localidades rurais serão analisados os problemas de desligamento inesperado, ocasionado pelo o aumento de carga nessas redes e tendo relação direta com a sobreaquecimento do transformador que trabalham com sobrecargas, ausência de tensão e sobrecarga no condutor neutro ocasionando transtorno nessas regiões.

O trabalho trata-se como objetivo principal é investigar a viabilidade de uma possível implementação de uma mini termelétrica, usando sistema de cogeração, tendo combustível como biomassa (casca do café), em pesquisa no Centro de Excelência do Café de Caratinga - MG.

Nesse contexto, este trabalho propõe um estudo para analisar a geração de energia renovável a partir da biomassa.

O trabalho está estruturado em seis capítulos, onde o primeiro capítulo mostra a visão geral do trabalho, ou seja, a introdução, seguindo o segundo capítulo aborda que aborda o referencial teórico, que é todo material teórico que preside esse trabalho.

Encaminhando-se para o terceiro capítulo onde é caracterizado pelo método de estudo para a análise de geração de energia usando biomassa. Prosseguindo para o quarto capítulo onde se encontra o desenvolvimento sobre o tema principal do trabalho.

Direcionando para o quinto capítulo, apresenta os resultados e discussões e finalizando com o sexto capítulo referente a conclusão do trabalho.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será realizada uma revisão dos principais assuntos elementares para este trabalho.

### 2.1 Biomassa

A bioenergia relaciona-se à energia derivada da biomassa. A expressão biomassa inclui toda matéria de gênese vegetal que existe na natureza ou criada pelo homem ou animais, ou seja, resíduos rurais, como combustíveis produzido a partir de culturas agrícolas (MOREIRA, 2017).

Essa espécie de energia não é limpa em relação a emissões de gás carbônico, mas permite um balanço neutro dessas emissões, pois o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é contrabalanceado, absorvendo durante o crescimento das plantas (ROBERTO, 2008). A seguir a Tabela 1 mostra produção primária de energia.

**Tabela 1:** Produção primária de energia

FONTES	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	SOURCES
<b>NÃO RENOVÁVEL</b>	<b>112.636</b>	<b>116.084</b>	<b>123.161</b>	<b>129.340</b>	<b>134.277</b>	<b>140.533</b>	<b>140.573</b>	<b>139.997</b>	<b>153.920</b>	<b>166.407</b>	<b>NON-RENEWABLE ENERGY</b>
PETRÓLEO	89.214	90.765	94.000	100.918	106.559	108.976	107.258	104.762	116.705	126.127	PETROLEUM
GÁS NATURAL	17.582	18.025	21.398	20.983	22.771	23.888	25.574	27.969	31.661	34.871	NATURAL GAS
CARVÃO VAPOR	2.200	2.257	2.552	1.913	2.104	2.134	2.517	3.298	3.059	3.066	STEAM COAL
CARVÃO METALÚRGICO	87	92	101	167	0	0	0	0	0	0	METALLURGICAL COAL
URÂNIO (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	2.338	3.622	3.950	4.117	1.767	4.209	3.881	2.375	681	512	URANIUM - U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	1.214	1.323	1.159	1.242	1.075	1.326	1.343	1.592	1.814	1.830	OTHER NON-RENEWABLE
<b>RENOVÁVEL</b>	<b>99.166</b>	<b>107.624</b>	<b>113.394</b>	<b>111.118</b>	<b>118.922</b>	<b>115.854</b>	<b>116.396</b>	<b>118.096</b>	<b>118.702</b>	<b>120.064</b>	<b>RENEWABLE ENERGY</b>
ENERGIA HIDRÁULICA	29.997	32.165	31.782	33.625	34.683	36.837	35.719	33.625	32.116	30.938	HYDRAULIC
LENHA	28.496	28.618	29.227	24.609	25.997	25.997	25.683	24.580	24.936	24.519	FIREWOOD
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	35.133	40.458	45.019	44.775	48.852	43.270	45.117	49.304	49.273	50.424	SUGAR CANE PRODUCTS
OUTRAS RENOVÁVEIS	5.539	6.382	7.367	8.109	9.389	9.751	9.877	10.587	12.377	14.183	OTHER RENEWABLE
<b>TOTAL</b>	<b>211.802</b>	<b>223.708</b>	<b>236.555</b>	<b>240.458</b>	<b>253.198</b>	<b>256.387</b>	<b>256.969</b>	<b>258.092</b>	<b>272.622</b>	<b>286.471</b>	<b>TOTAL</b>

Fonte: BEN, (2016)

#### 2.1.1 Cenário de geração de eletricidade a partir de biomassa

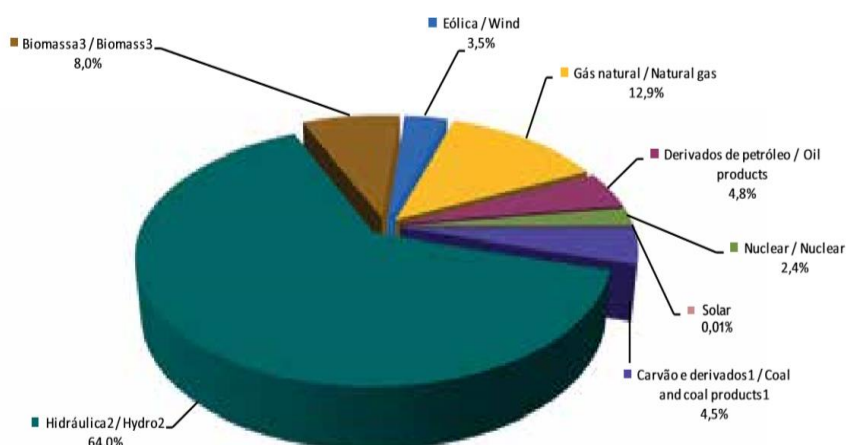
Uma análise ocorrida em 2014 constatou-se que as energias renováveis representavam cerca de 19% na matriz energética considerando em nível mundial,

mas desses 19% só 10% considera-se realmente energias renováveis, pois o restante direciona-se à biomassa tradicional, ou seja, de desmatamento (MOREIRA, 2017).

No Brasil a interação de energia das renováveis em relação a matriz energética é superior a nível da média mundial. Mas quando se analisa em conceito de sustentabilidade fica de responsabilidade o aumento dessas energias (MOREIRA, 2017).

De acordo com BEN, (2016) percebe-se que a matriz de energia elétrica em relação em participação da bioenergia ainda é inferior, com somente 8%, já referente a hidroeletricidade tem um valor superior de 64% de acordo com a Figura 1.

**Figura 1: Oferta de energia elétrica no Brasil**



Fonte: BEN, (2016)

Entretanto no Brasil, a biomassa tem sido produto importante na matriz energética brasileira ao um longo tempo, devido as políticas que existem no País, por motivo do aumento de térmicas de combustíveis com uso de biomassa, na produção de energia (MOREIRA, 2017).

## 2.2 Casca do café

O café é um produto extremamente importante para a economia nacional, com uma produção estimada em cerca de 30 milhões de sacas por ano, além de contribuir com aproximadamente 32% do mercado internacional.

Durante o processamento do café em coco, gera-se cerca de 50% de casca e na maioria das vezes são descartadas de forma inadequada. Dessa forma, torna-se necessário buscar soluções viáveis para o seu reaproveitamento (COMÉRIO e tal., 2016).

### 2.2.1 Poder Calorífico

De acordo com Comério et al., (2016) foi feito um experimento para analisar o poder calorífico da casca do café, e por consequência os resultados foram favoráveis, pois as caracterizações da casca foram benéficas, o mesmo apresentou baixo teor de cinza em relação ao bagaço da cana de açúcar.

Segundo Tec (2016), o poder calorífico da casca de café é superior ao bagaço da cana.

## 2.3 Combustão

A biomassa é manipulada para transformação de energia, sendo a combustão um exemplo, essa combustão é de forma direta, que é a tecnologia mais usada pois a combustão da biomassa oferece temperaturas altas ( $> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (DAL-BÓ, 2016).

Essa combustão, quando relacionada com outras formas de transformação de energia exibem vantagens, como: os volumes sólidos diminuírem, assim ficando fácil de descartar os restos que sobraram.

Existe três passos para que a combustão seja completa, ou seja primeiramente acontece a evaporação da água, depois a queima de compostos mutáveis e por último a queima do carbono, esses processos podem ocorrer com ar forçado ou pela forma natural (DAL-BÓ, 2016).

## 2.4 Secador rotativo

Para a seca dos grãos de café é usado um secador rotativo, que diminuem a umidade dos grãos até um ponto específico. O secador pode receber o café direto da lavoura ou até com umidade diferente, que tem um conjunto de fornalha de fogo indireto ou direto.

Podem secar outros grãos como milho, soja, feijão e pimenta do reino entre outros (PALINE e ALVES, 2018a).

#### 2.4.1 Fornalha de fogo indireto

De acordo com Paline e Alves, (2018b) fornalha de fogo indireto é uso de ar na seca dos grãos, ou seja, uma quantidade de ar quente que é aplicado sobre os grãos.

Ela é feita de placas de aço para a transferência de energia térmica para o ar. O combustível usado nessa fornalha são casca de café, lenha, óleo e GLP. Essas fornalhas são muito usadas para secadores rotativos pois em relação as fornalhas de tubos, tem uma eficiência maior.

### 2.5 Caldeira

A caldeira é um equipamento que gera vapor, pois o mesmo permite a geração de formas de energia térmica, sendo para uso industrial ou residencial. Podendo ser usada para outras aplicações, como cozimento, geração de energia, desinfecção, lavagem de utensílios, entre outros (BALESTIERI, 2002).

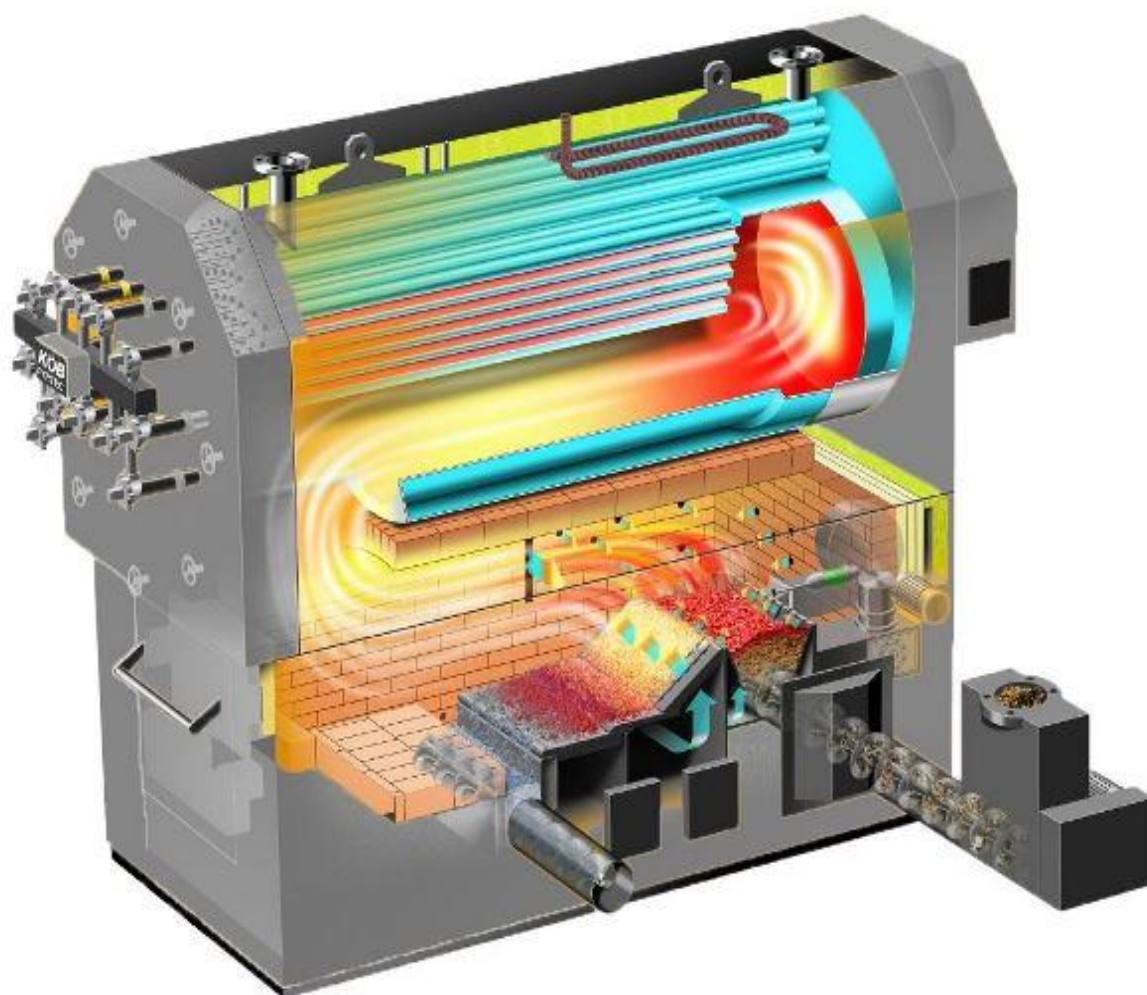
#### 2.5.1 Caldeiras convencionais

São equipamentos para produzirem vapor ou água quente em pressões elevadas, simétrico por calor liberado na combustão de combustíveis.

Um sistema com um conjunto de chaminé, soprador, bombas, queimadores, tubos entre outros. esses equipamentos são instalados na caldeira para determinados tipos de combustíveis.

Nos tubos a água passa para transformação de vapor, pois o sistema de troca térmica permite maiores níveis de pressão, igual ou a superior a 28 MPA (BALESTIERI, 2002). A seguir, na Figura 2, será ilustrado uma caldeira geradora de vapor.

**Figura 2: Caldeira**



**Fonte: MECÂNICA INDUSTRIAL, (2018)**

## **2.6 Cogeração**

Produção simultânea de diferentes tipos de energias, como térmicas e eletromecânicas, para suprir a necessidade de diferentes processos, seja ela no setor industrial, residencial, agrícola ou sistema isolado, dentro de uma mesma fonte energética primária.

Validando essas palavras, seria o aproveitamento de uma parcela de energia térmica rejeitada, resultando no aumento da eficiência global do sistema (BALESTIERI, 2002).

Por meio da cogeração é possível obter cerca de 85% da energia primária contida no combustível, no qual pode ser transformada em energia mecânica na forma de força motriz, ou eletricidade, mais energia térmica na forma de ar quente, água quente, vapor e água gelada (MOREIRA, 2017).

### 2.6.1 Tipos de cogeração

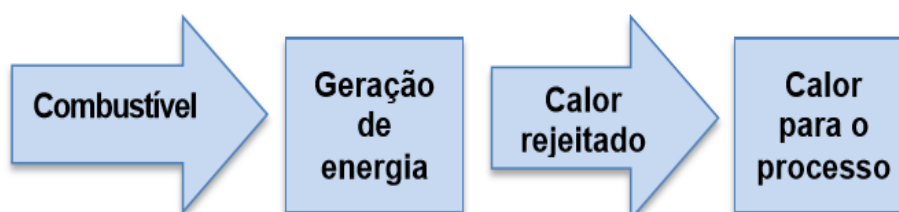
Pode-se separar os projetos de cogeração em dois modos, que se distinguem pela sequência relativa à transformação de energia eletromecânica em energia térmica.

No ciclo Topping a energia disponibilizada pelo combustível é usada primeiramente para aproveitamento na geração de energia eletromecânica, para em seguida ter o aproveitamento de calor útil rejeitado pelo sistema (CHALFUN, 2014).

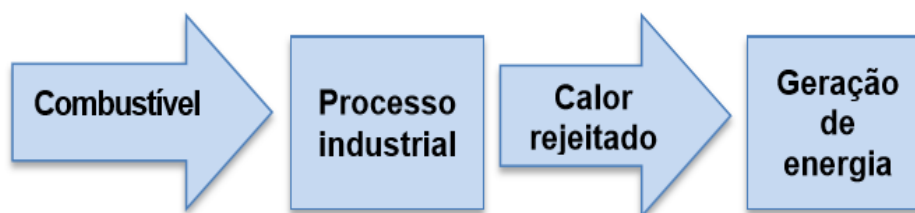
No ciclo Bottoming, essa ordem é invertida, ou seja, a energia disponibilizada pelo combustível é usada primeiramente para o aproveitamento de calor útil a elevadas temperaturas, para em seguida ser usada como geração de energia eletromecânica (CHALFUN, 2014).

As Figuras 3 e Figura 4 mostra as rotas tecnológicas dos dois tipos de ciclos.

**Figura 3:** Ciclo tipo Topping



Fonte: CHALFUN, (2014)

**Figura 4: Ciclo Bottoming**

Fonte: CHALFUN, (2014)

Segundo Balestieri, (2002) essa prática pode ser considerada uma alternativa benéfica se levar em consideração ao atual estágio de geração de energia, tal sistema interligado. As prioridades de energia elétrica são atendidas de acordo com o mediante contrato com a concessionária, sendo as necessidades térmicas atendidas.

A energia elétrica pode ser autoproduzida, sendo que nestes casos de unidades de geração devem ser dimensionadas para consumo próprio e interligados com o sistema.

Há muito tempo o histórico brasileiro na área de geração já é marcado por alternância entre privados e públicos em relação a esses processos. Em relação aos países desenvolvidos do extremo norte a geração de energia térmicas e eletromecânica, sempre foi essencial para a população, no caso da implementação do sistema de cogeração, pois é vista como uma nova tecnologia de poupadoras de energia com eficiência maior (BALESTIERI, 2002).

Balestieri, (2002) diz que, o sistema de cogeração não se encontra limitada, dependendo da fonte primária de energia térmica, pois o desenvolvimento de caldeiras para o aumento do uso do mesmo.

### 2.6.2 Cogeração no Brasil

Esse sistema ainda não tem sido muito praticado na intensidade que precisa, pois existem diversos setores que poderiam se aplicar a esse sistema melhorando a eficiência do mesmo. Esse sistema pode crescer muito ainda de acordo com a necessidade apresentada (BALESTIERI, 2002).

## 2.7 Gerador de energia elétrica

Segundo Chapman, (2013) gerador síncrono é um dispositivo usado para conversão de energia mecânica em energia elétrica com tensão e frequência específicas. A palavra síncrona significa que a frequência do gerador está proporcionalmente sincronizada com a velocidade mecânica do eixo de rotação. Esse gerador é usado para produzir a maior parte de energia elétrica no mundo inteiro.

Na geração de tensão desse gerador, um fator importante é a velocidade do eixo de rotação e da intensidade do fluxo do campo magnético. A tensão da máquina de fase é diferente da tensão interna gerada, por motivos de efeitos da reação da armadura do gerador e conduto, com a resistência e a reatância interna nos enrolamentos (CHAPMAN, 2013).

Dependendo da operação do gerador em um sistema de potência real algumas restrições são impostas. Quando essa máquina trabalha isolada, as potências ativas e reativas são determinadas pela carga que está alimentando.

Além desse fator a corrente de campo e o ponto de ajuste de operação no regulador de velocidade que controlam a tensão terminal e a frequência.

Quando essa máquina síncrona é ligada a um barramento infinito, a tensão e a frequência são fixadas de modo que o ponto de ajuste no regulador e a corrente de campo controlam a potência reativa do gerador e ativa.

Dependendo de locais de geração existem geradores de tamanhos iguais, e esses pontos de ajuste de operação nessas máquinas afetam ambos, potência ativa, reativa e frequência (CHAPMAN, 2013).



Segundo Chapman, (2013) na produção de potência elétrica de um gerador síncrono é limitado pelo aumento de temperatura no interior da máquina. Quando os enrolamentos dessa máquina sobreaquecem, a durabilidade dessa máquina pode ser encurtada. Nessa máquina existem dois enrolamentos diferentes, um da armadura e outro de campo, e existe restrições diferentes que se aplica nessa máquina.

O aumento máximo de temperatura permitido nos enrolamentos da armadura, determina o máximo valor de quilovolts-ampères que esse gerador é capaz de fornecer para a carga. E o aquecimento máximo nos enrolamentos de campo determina o valor máximo de  $E_A$  e o valor máximo de  $E_a$  e  $I_a$  determina o fator da potência do gerador.

## **2.8 Micro e minigeração distribuída**

Geração distribuída pode se caracterizar pela instalação de geradores de pequeno porte, eventualmente por fontes renováveis ou combustíveis fósseis, e localizado próximos as cargas.

Esse fator das cargas serem próximas aos geradores propiciam fatores benéficos para o sistema elétrico, dentre as quais a retardam os investimentos de transmissão e distribuição; baixo impacto ambiental; melhoria no nível de tensão na rede no período de pico, ou seja, de uso maiores das cargas no mesmo instante (ANEEL, 2016b).

### **2.8.1 Caracterização**

Conforme ANELL, (2016b) a geração micro e minigeração distribuída consiste na produção de energia, a partir de pequenas centrais que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectados ao sistema ou por unidades consumidoras.

Para diferenciação de sistemas a ANEEL, (2016b) a microgeração refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com uma potência menor ou igual a 75 kW, já a minigeração é superior a 75 kW ou menor a 3 megawatts para fonte hídrica ou 5 megawatts para outras fontes.

A geração compartilhada é caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2016b).

#### 2.8.2 Custo benefício

O estímulo para instalação de microgeração ou minigeração é do consumidor. A ANEEL não fornece custo de geradores e demais equipamentos, e nem financiamento do mesmo.

Para a instalação desses sistemas o consumidor precisa realizar um estudo de viabilidade e custo/benefício e várias circunstâncias para a instalação como, tipos de fontes de energia (solar, eólica, biomassa entre outras), e verificação de ser em zona rural ou urbana (ANEEL, 2016b).

### **3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA**

#### **3.1 Local de estudo**

Este estudo foi realizado no Centro de Excelência do Café de Caratinga, localizado a 25 KM de Caratinga de Minas Gerais.

Para avaliar a possibilidade de instalação de uma minitermelétrica associada à indústria de beneficiamento de café levantou-se a produção de casca diária e estimou-se quanto poderia ser destinado à geração termelétrica.

Para isso, descontou-se o que é utilizado nos processos de secagem do café e avaliou-se a quantidade de energia elétrica que seria possível produzir, levando em consideração o poder calorífico da casca, a eficiência dos equipamentos, e a probabilidade de venda de possíveis excedentes de energia.

No local calculou-se a demanda de energia necessária para o abastecimento do mesmo, através de equações.

Nessa etapa foi selecionado o local onde a coleta de dados foi realizada.

Para o cálculo de análise foram utilizados dados do histórico de consumo de energia elétrica do Centro de Excelência do Café, situado em zona rural de Caratinga Minas Gerais.

A estrutura física do Centro de Excelência do Café é apresentada na Figura 5.

**Figura 5:** Centro de Excelência do Café de Caratinga



**Fonte:** Autor, (2018)

### **3.2 Preparação para os cálculos**

Para os cálculos, foram analisados de forma técnica os meses do período da época da seca do local que são os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro.

A primeira etapa desse capítulo foi calculada a quantidade de biomassa existente no local de estudo.

Primeiramente calcula-se a quantidade de sacas de café beneficiadas no ano de 2018 no Centro de Excelência, que totalizam em torno de 12000 sacas. Dentro dessa quantidade de sacas de café e seguindo calcula-se a quantidade de palha disponível como combustível para geração de energia elétrica e analisando os métodos com maiores eficiências, para a transformação de energia concentrada na biomassa até seu produto final.

A cogeração foi analisada de modo que aumente o rendimento do ciclo térmico, ou seja, a influência que ela tem na geração de energia verificando a eficiência do

sistema todo comparando a produção de vapor em processo de geração de energia elétrica, e alimentando os secadores rotativos de café, com ar quente.

Foi simulado dados técnicos no *software* REGENERA para obter rendimentos de cada estágio de funcionamento do ciclo de geração de energia. Esse *software* calcula o rendimento do processo desde a caldeira até a turbina da termelétrica.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Concentração de biomassa no Centro de Excelência do Café

Nessa etapa foi calculado a quantidade de casca de café no local de estudo. Esse cálculo baseou-se pelo rendimento de café beneficiado no Centro de Excelência do Café no ano de 2018. A Figura 6, mostra uma prévia quantidade de palha de café situada no local de estudo.

**Figura 6:** Casca do café no Centro de Excelência do Café



**Fonte:** Autor, (2018)

Calculado a quantidade de café beneficiado e casca de café disponível em referência de um secador rotativo existente no local de estudo, percebeu que esse tipo de café cereja significa que contém mais de 50% do grão de palha em seu total. A Tabela 2 mostra o resultado. Destaca-se que no Centro de Excelência do Café existe mais três secadores do mesmo segmento para secagem dos grãos de café cereja.

**Tabela 2:** Quantidade de palha disponível por secador rotativo 15000L

Café cereja		Café beneficiado		Casca disponível	
Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
6500	kg	3000	kg	3500	kg

**Fonte:** Autor (2018)

Depois do beneficiamento observa-se que desses 6500 kg de café cereja somente 3000 kg realmente são grãos limpos, ou seja, 53,84 % dessa quantidade de café é composto de palha. Essa estimativa tem relevância em relação ao rendimento e pode-se destacar que todos os tipos de café contêm um rendimento variado pelas condições climáticas, já que os tipos de café nessa região contêm pouco rendimento.

O cálculo da quantidade total de palha existente no Centro de Excelência do Café em 2018, tem como referência a tabela anterior quando se analisa o rendimento. Para melhor entendimento a Tabela 3, define o valor total de palha, ou seja, biomassa.

**Tabela 3:** Palha disponível no Centro de Excelência do Café em 2018

Sacas de café beneficiadas		Secadores por média de sacas		Palha disponível total	
Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
12000	kg	50	kg	840	t

**Fonte:** Autor, (2018)

A quantidade total de biomassa em 2018 soma-se 840 toneladas nos períodos de maio a setembro. Desse valor total de biomassa é descontado uma quantidade de biomassa como combustível, para gerar energia térmica através da combustão nas fornalhas dos secadores rotativos. A Tabela 4 mostra a quantidade de biomassa para o consumo das fornalhas.

**Tabela 4:** Biomassa para o consumo dos secadores

Biomassa utilizada por 15 h		Total de horas de secagem		Palha resultante disponível	
Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
750	kg	3600	H	660	t

**Fonte:** Autor, (2018)

Observa-se que, a biomassa resultante no Centro de Excelência do Café no ano de 2018 chegou em 660 toneladas, isso significa uma grande energia acumulada neste local, verificou-se que foram 240 vezes que secadores rotativos secaram o café em uma média de 15 horas, esse fator existe devido a um terreiro de 10.000 m<sup>2</sup> para iniciar a secagem dos grãos de café com a energia térmica fornecida pelo sol.

#### 4.2 Transformações de energias

Foi calculado a forma de energia da biomassa disponível. Isso foi realizado por meio de uma revisão bibliográfica, que indicou que a análise se inicia pelo poder calorífico inferior. Além disso, foi acompanhado o processamento da energia até a etapa final. A Tabela 5 exemplifica os cálculos.

**Tabela 5:** Tabela comparativa de energias

Biomassa	Poder Calorífico		Produção de Biomassa		Energia total	
	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
Casca do Café	3800	kcal/kg	660	t	2,508E+12	kcal

**Fonte:** Autor, (2018)

Esse valor de quilocalorias refere-se a energia disponível como combustível para geração de energia elétrica. A próxima tabela define quantidade de quilowatts-hora que tem disponível para o consumo.



**Tabela 6:** Energia disponível no Centro de Excelência do Café

Energia		Energia para o consumo	
Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
2,508E+12	kcal	2914,85	MWh

**Fonte:** Autor, (2018)

A Tabela 6 mostra uma quantidade de energia em MWh disponível para o consumo, mas essa energia foi transformada sem nenhum processo, seja químico ou térmico. Logicamente que qualquer desses processos tem uma perda de energia pequena para sua transformação.

### 4.3 Energia elétrica gerada

Para avaliar a possibilidade da instalação de uma usina termoelétrica associada ao empreendimento de beneficiamento de café levantou-se em conta a produção de casca nos meses de colheita e estimou-se quanto poderia ser destinado à geração termoelétrica.

Para isso, descontou-se o que é utilizado nos processos de secagem e avaliou-se a quantidade de energia elétrica que seria possível produzir, levando em consideração o poder calorífico da casca, a eficiência dos equipamentos, e a probabilidade de venda de possíveis excedentes de energia.

Os procedimentos iniciais para começar o dimensionamento de uma planta a vapor são a potência nominal da planta e o consumo específico de vapor da turbina. Com eles, a quantidade de biomassa a ser consumida pela caldeira pode ser calculada, o que determina o tamanho da caldeira. Portanto, para o dimensionamento da planta de geração de energia elétrica, pode ser seguida da seguinte forma:

- 1) Quantificar a demanda de energia a ser fornecida pela planta verificando a quantidade de energia disponível;
- 2) Qualificar e quantificar a biomassa disponibilizada no local: conhecer o (PCI) – Poder Calorífico Inferior;

- 3) Escolher o tipo de máquina a vapor a ser utilizada no projeto: turbina a vapor. Nesta escolha já se define o gerador de energia elétrica que tem que atender as condições de tensão, corrente, frequência e regime de funcionamento (contínuo ou intermitente) a que estará sendo requisitado;
- 4) Obter do fabricante da turbina ou máquina alternativa a vapor seu consumo específico e suas características dimensionais;
- 5) Calcular a quantidade de vapor necessária para atender a demanda de energia;
- 6) Com a quantidade e qualidade do vapor requerida, definir o tamanho da caldeira e obter do fabricante suas características dimensionais. Definir o tipo de fornalha em função da biomassa disponibilizada;
- 7) Identificar a quantidade de biomassa a ser disponibilizada. (Uma primeira aproximação pode ser 1 kg de biomassa para cada 4 kg de vapor gerado).

Com estas informações torna-se possível o desenvolvimento do projeto de engenharia para inúmeros tamanhos de plantas de geração de energia elétrica, utilizando biomassa como combustível. A Tabela 7, identifica os dados conhecidos e calculados no Centro de Excelência do Café.

**Tabela 7:** Dados obtidos no Centro de Excelência do Café

Quantidade de Biomassa		Poder Calorífico Inferior (PCI)		Consumo Específico	
Produzida por hora				De Biomassa no Local	
Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
458,33	kg/h	3800	kcal/kg	2,26	kg/kWh

**Fonte:** Autor, (2018)

Tendo isso em mente, calculou-se a potência da turbina e a quantidade de biomassa para atender essa turbina pelas equações de 1 a 3 do livro Ludwig et al., (2012):

$$P_t = \frac{B_{dis}}{C_b} \quad (1)$$

Em que:

$P_t$ : Potência da turbina (kW);

$B_{dis}$ : Biomassa disponível (kg/h);

$C_b$ : Consumo de biomassa (kg/kWh).

$$Q_b = C_b P_t \quad (2)$$

Em que:

$Q_b$ : Biomassa consumida por hora de trabalho realizado (kg/h);

$C_b$ : Consumo de biomassa (kg/kWh);

$P_t$ : Potência da turbina (kW).

Analisou-se a quantidade de biomassa que a caldeira consome pela dimensão e respetivamente por quilogramas vapor por hora pela equação:

$$Q_{vapor} = 4Q_b \quad (3)$$

Em que:

$Q_{vapor}$ : Quantidade de vapor que a caldeira fornece (kg vapor/h);

$Q_b$ : Biomassa consumida por hora de trabalho realizado (kg/h).

A seguir-se percebe-se os resultados obtidos na tabela 8.

**Tabela 8:** Resultados dos cálculos

Vapor Gerado pela Caldeira		Potência da Turbina		Potência do Gerador	
Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
1779,40	kg vapor/h	202,41	kW	200	kVA

Fonte: Autor, (2018)

Observou-se, que na Tabela 8 a quantidade de quilogramas de vapor fornecido pela caldeira, definindo a potência da turbina e conseqüentemente do gerador.

Então, o empreendimento de geração de energia tem-se as seguintes configurações:

- Caldeira com produção nominal de 2000 kg vapor/h e pressão de 10 atm;
- Turbina a vapor com potência de 200 kW dois estágios e com entrada de vapor a 10 atm e saída a pressão de 1 atm, temperatura de entrada do vapor 260°C, rotação 7.000 RPM;
- Redutor de velocidade, entrada de 7.000 RPM e saída para 1.800 RPM;
- Gerador 500 KW/380 V/1800 RPM. Alternador Síncrono Trifásico, tipo industrial, sistema de excitação brushless (sem escovas), regulador eletrônico de tensão.

#### 4.4 Preparação para simulação

Para a simulação utilizou-se o *software* REGENERA, o mesmo simula os dados técnicos e sua eficiência do ciclo a vapor regenerativo. A Figura 7, mostra os dados obtidos pelas equações anteriores.

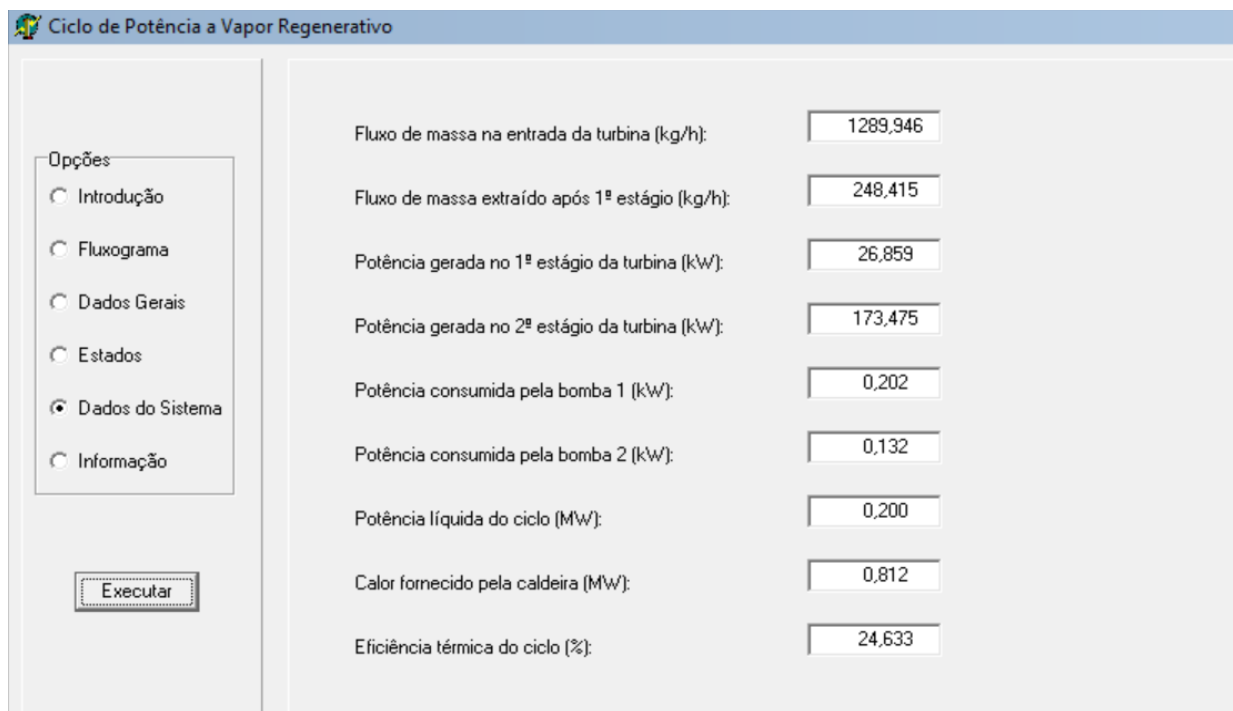
**Figura 7:** Inserção dos dados técnicos

Parâmetro	Valor
Pressão de entrada na turbina (MPa):	1,032
Temperatura de entrada na turbina (°C):	260,0
Pressão de extração após o 1º estágio (MPa):	0,7
Pressão de saída após o 2º estágio (MPa):	0,008
Título na saída do aquecedor:	0,00
Título na saída do condensador:	0,00
Eficiência isentrópica da turbina (%):	85,0
Potência líquida do ciclo (MW):	0,200

**Fonte:** *Software* REGENERA, (2018)

Executou-se o *software* para obter resultados técnicos, verificando a eficiência do ciclo a vapor. A Figura 8, mostra os resultados obtidos pelo software.

**Figura 8:** Resultado da eficiência



**Fonte:** Software REGENERA, (2018)

De acordo com a Figura 8, fica compreensível o entendimento do sistema de geração de energia elétrica, com suas características.

O *software* REGENERA calculou-se as energias necessária até a turbina, no caso de geração de energia elétrica, calcula a eficiência do gerador para obter dados técnicos mais específicos. De acordo com a próxima equação os sistemas obtêm os seguintes resultados:

$$W_{elétrica} = \eta_{gerador} W_{total} \quad (4)$$

Em que:

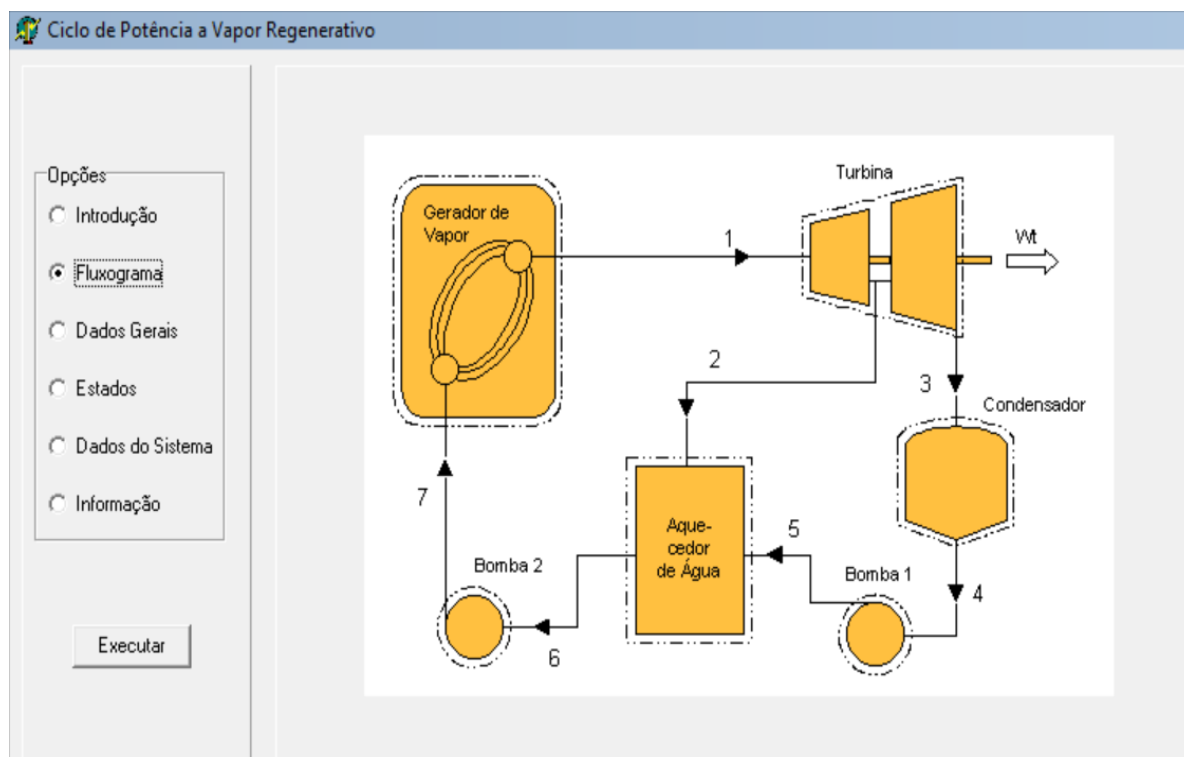
$W_{elétrica}$  :Energia produzida pelo gerador (kW);

$\eta_{gerador}$ : corresponde ao rendimento do gerador;

$W_{total}$ : Energia até a turbina (kW).

A Figura 9 refere-se ao fluxograma de todo o sistema.

**Figura 9:** Organograma do ciclo Rankine regenerativo



Fonte: Software REGENERA, (2018)

De acordo com o fluxograma o ciclo de geração de energia elétrica funciona da seguinte forma:

- 1) O gerador de vapor simula a caldeira no sistema, esse vapor transferido para turbina realiza trabalho no mesmo, como a turbina está interligado ao gerador de energia elétrica, conseqüentemente, gera energia elétrica;
- 2) A turbina tem dois estágios, alta pressão e baixa pressão, uma pequena porcentagem do vapor transferido para alta pressão volta ou aquecedor de água e o restante com pressão baixa segue no estágio dois da turbina;
- 3) O fluido de vapor depois que passa pela turbina segue em destino ao condensador, onde o fluido de água volta ao seu estado líquido;
- 4) Uma bomba de água funciona para transferir essa água até ao aquecedor;
- 5) A bomba 1 consome uma porcentagem muito pequena de energia para realizar trabalho no ciclo;

- 6) A bomba 2 transfere esse fluido até a caldeira que inicia o ciclo novamente;
- 7) Água em estado líquido pronta para iniciar o ciclo.

De acordo *Software* REGENERA (2018) cada componente do ciclo é analisado como um volume de controle em regime permanente. Todos os processos do fluido de trabalho são internamente reversíveis, exceto as expansões através dos dois estágios da turbina e a mistura no aquecedor de água aberto.

Através dos dados obtidos e simulados pôde-se concluir a quantidade de energia gerada pelo empreendimento na época de seca no local de estudo. A Tabela 9, mostra a quantidade de energia gerada na época de seca no Centro de Excelência do Café.

**Tabela 9:** Energia gerada por quantidade de Biomassa

Biomassa		Horas		Total de Energia	
Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
660000	kg	1440	h	250560	kWh

**Fonte:** Autor, (2018)

A Tabela 9, conclui-se que a geração de energia elétrica nessas 1440 horas, obteve um grande potencial para atender a demanda do local, e excedente para a concessionária de foram compartilhada.

Horário de funcionamento no local do empreendimento funciona das oito horas da manhã até oito horas da noite. Anos anteriores funcionava 24 horas por dia, mas pelo fato de segurança houve uma redução de funcionamento.

Essa energia gerada nessa época será de sistema de Compensação de Energia Elétrica de fator de Geração compartilhada, onde caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa.

Este compartilhamento é composto por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada.

#### 4.4.1 Orçamento do empreendimento

Os materiais do orçamento são de origem importadas, por relevância ao custo do empreendimento total, a cotação de forma direta pelo fornecedor.

Os dados contidos na Tabela 10 e na Tabela 11, apresenta o orçamento da caldeira e seus equipamentos de complemento.

As informações foram obtidas na empresa de estudo e constam os valores específicos dos componentes da caldeira. Esses valores estão em dólares, moeda corrente do fornecedor.

A Tabela 10 é referente ao orçamento do conjunto turbina, redutor e gerador.

**Tabela 10:** Projeto Turbina, Redutor e Gerador

Product name	Model	Quantity (set)	Total price (USD)	ORIGINAL & MANUFACTURER
200KW Steam Turbine and 200KVA Generator with Reducer	N0.2-1.6/201°C	1	\$90000	Power generation
Inland delivery cost to Shanghai port & port charges			\$3000	
In total	\$93000			
	After discount: :92000 USD			

Fonte: ZHANG, (2018)

A Tabela 11 é referente ao orçamento da caldeira com seus respectivos equipamentos de complementos.



**Tabela 11:**Project: SZL2-1.25-All model, 2ton/h biomass steam boiler, 1.25Mpa design pressure, AUTOMATIC operation with chain grate

Product name		Model	Quantity (set)	Total price (USD)	ORIGINAL & MANUFACTURER
<b>I. Boiler main part</b>		<b>SZL2-1.25-All</b>	1	<b>\$17.818</b>	GB standard
<b>II. Boiler accessories equipments (including below 1-15 items)</b>					
1	Forced fan with motor	P=1578pa, F=5268m3/h  P=3kw	1	\$255	Blow air into boiler furnace for fuel firing,  Centrifugal Type
2	Induced fan with motor	P=2265pa, F=9870m3/h, P=11kw	1	\$968	Drawexhaustedsmokeoutofthechimney
3	Electric control box	GLK21C-MZ2-6D/YCT	1	\$872	Relay control system
4	Valve & Gauge (used on boiler main part)		1	\$1.062	For water level and pressure control
5	Grate speed reducer	GL5P P=0.55kw	1	\$912	Fire grate actuator for combustion
6	Feed water pump	CDL2-26	<b>2</b>	\$555	Stainlessverticaltype,oneusingone standby
7	Steam distributor	Φ273×1500mm	1	\$433	1 input port 3 output ports
8	Smoke chimney	Φ360×16000mm	1	\$830	Carbon steel with cover
9	Smoke ducting	DZ-2T	1	\$807	Carbon steel
10	Economizer	26.4m2	1	\$1.521	Fuel saving equipment, recycle exhausted smoke to heat feed water
11	Fuel feeder	90-120kg 30s/	1	\$553	Step lifting Type
12	Slag remover	660kg/h 1.1kw	1	\$1.465	Scraper type
13	Cyclone Dust Collector	Q=6400m3/h	1	\$886	Ceramic type separator; For fly ash removal;
14	Water softener	Φ400×1650×1	1	\$608	USA Fleck Controller, with resin and salt
15	Frequency inverter	11kw 15hp 3 phase 220 v	1	\$265	Power system
<b>III. Inland delivery cost to Shanghai port &amp; port charges</b>				<b>\$3.000</b>	
<b>In total</b>		<b>\$32.810</b>			
		<b>After discount: 32.745 USD</b>			
<b>Remarks</b>	Price Term	<b>FOB Shanghai</b>			
	Price Validity	<b>15DAYS</b>			
	Delivery Time	<b>30DAYS AFTER DEPOSIT</b>			
	Payment Term	<b>T/T</b>			
	Power supply	<b>380volts, 3-Phase, 50 Hz.</b>			
<b>1/ The above water treatment is suitable for raw water that hardness is below 6mmol/L</b>					
<b>2/ The above offer don't include cost of engineer abroad service and installation materials which are water pipe and steam pipe as well as items used on these pipes</b>					

**Fonte:** Henan Yuanda Boiler, (2018)

Para verificação, a Tabela 12 refere-se ao orçamento total em moeda nacional (reais) e em moeda corrente (dólar) fornecida pelo fornecedor.

**Tabela 12:** Orçamento total

Orçamento total (USD)	Orçamento total (R\$)
Valor	valor
124.745,00	492.742,75

**Fonte:** Autor, (2018)

A Tabela 12 mostra o orçamento total, o valor contado em reais pode sofrer alterações aumentando o seu valor ou diminuindo de acordo com a variação que o dólar sofre. O valor resultante em reais considerou-se o dólar no patamar dos 3,95 reais.

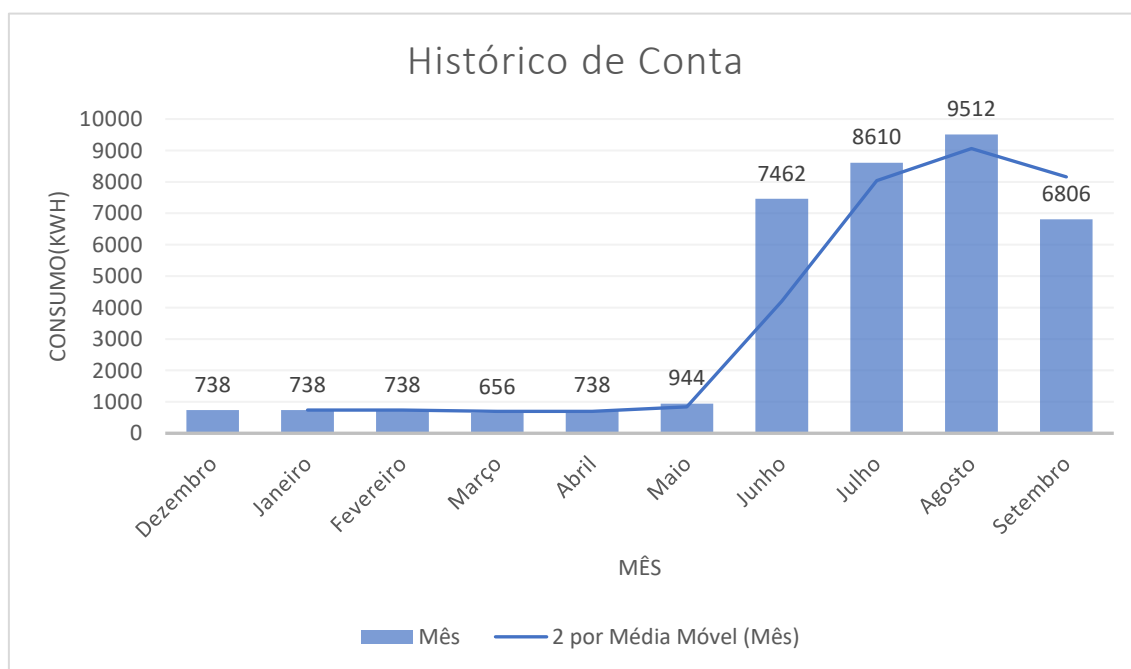
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os principais resultados obtidos pelos estudos de campo e simulação do projeto do capítulo quatro.

### 5.1 Resultados da conta de energia fornecida pela CEMIG no período de 10 meses

Os dados dessa etapa foram obtidos pela conta de energia elétrica fornecida pela concessionária CEMIG. O Gráfico 1, mostra o resultado nesse período de 10 meses.

**Gráfico 1:** Contas de energia elétrica fornecida pela CEMIG



**Fonte:** Autor, (2018)

Verifica-se os meses de maiores índices de consumo nos meses de junho, julho, agosto e setembro.

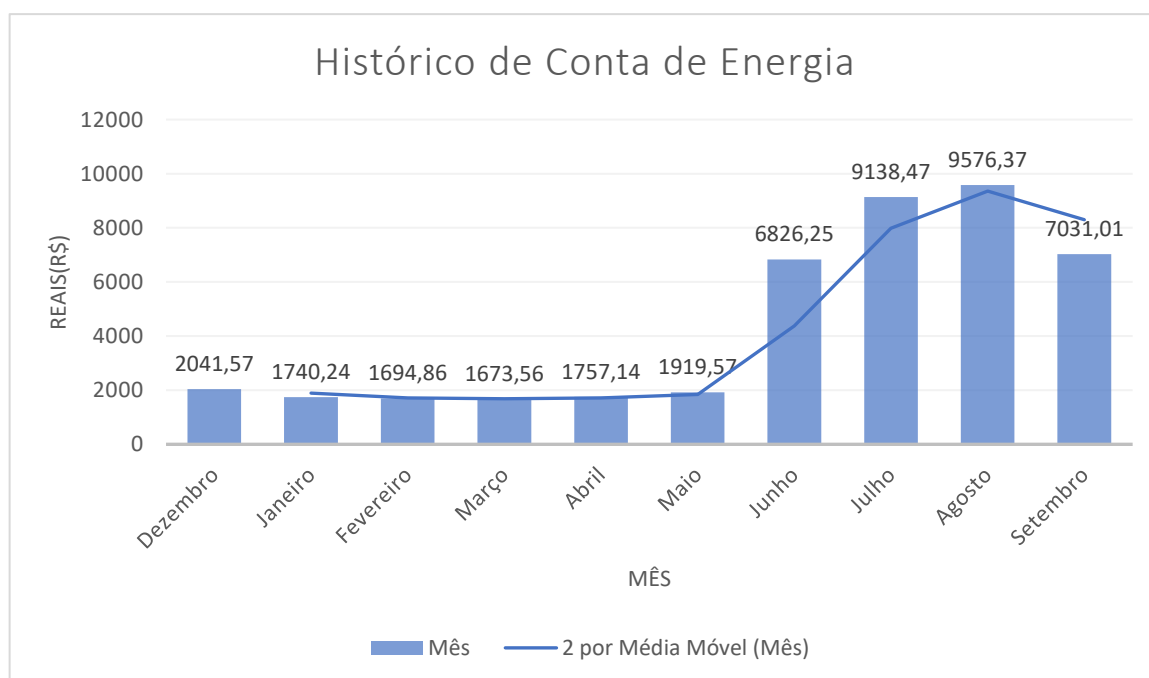
Já no mês de maio para junho a quantidade de kWh consumido no local foi de elevação extrema, percebe-se em porcentagem um aumento de 658,33%, isso se dá conta pelo o uso total das máquinas em maiores tempos no Centro de Excelência do Café.

Continuando o consumo em kWh no empreendimento, tem uma variação de junho para julho uma extensão de 15,38%, permanecendo consumo de kWh elevado.

Percebe-se também no mês de agosto o maior índice de consumo havendo um declínio para o mês de setembro de -26%, isso se dá conta pelo fator de que alguns beneficentes já estão com suas colheitas de café concluídas, com isso o fluxo de trabalho das máquinas no Centro de Excelência do Café diminui.

Para a análise de cálculo foi utilizado as contas de energia para averiguar os meses a quantidade gasto em reais por mês. O Gráfico 2, mostra o histórico de faturamento referente ao cenário atual.

**Gráfico 2:** Histórico de faturamento



**Fonte:** Autor, (2018)

Percebe-se que, o aumento da fatura por mês começa no mês de maio, com 9,24% em relação ao mês de abril, isso se dá conta por motivo que alguns beneficentes do Centro de Excelência do Café começam suas colheitas de café com antecedência, por motivos de terem muitos cafezais e pela falta de mão de obra.

O mês de maio para junho observa-se o aumento da fatura por mês excessivo, cerca de 255,61 % superior em relação ao mês anterior. Esse fator de aumento é

justamente pelo fato de que as máquinas no Centro de Excelência do Café funcionam em maior tempo no mês de junho até setembro, a fatura por mês sempre prevalece alta.

Vários fatores incluem esse aumento, principalmente da bandeira vermelha aplicada no período de seca, e o ciclo de colheita são maiores entre os meses de junho até setembro.

## 5.2 Potencial de geração de energia no ano de 2018 no Centro de Excelência do Café

O projeto calculado considerou que no Centro de Excelência do Café em questão o processo de beneficiamento do café produz cerca de 840 t ano<sup>-1</sup> de casca, sendo que, durante 5 meses são utilizados 22% da produção diária de casca na secagem do café. Isso dá uma média diária de 7,85 t no qual será utilizado para produção de energia elétrica.

Os dados da próxima tabela refletem nos resultados obtidos da geração de energia no ano de 2018, consumo e excedente.

**Tabela 12:** Consumo de Energia e Geração

Energia		Energia Gerada		Total de energia	
Consumida ano 2018		ano 2018		Excedente ano 2018	
Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade
36942	kWh	250560	kWh	213618	kWh

Fonte: Autor, (2018)

De acordo com os dados obtidos no capítulo quatro, a Tabela 12 mostra a produção de energia gerada somente no ano de 2018 com excedente, ou seja, a 779% de energia disponível para vender na concessionária. Esse fator reflete que existe uma quantidade grande de biomassa no local e que casca de café tem o poder calorífico alto.

### 5.2.1 Funcionamento da geração de energia no local de estudo

A queima da casca será feita dentro da caldeira, com alimentação constante de 444,85 Kg/ h, no entanto devido às características do equipamento pode-se queimar até 500 Kg/h de casca. Acima desse valor há necessidade de mudar os equipamentos.

Este processo terá como um dos subprodutos a cinza. Grande parte desta será utilizada como adubo. Estima-se que com a queima de 444,85 Kg/h de casca de café, com poder calorífico de 3800 kcal/kg, produzir-se 200 KW por hora.

Com isto, será possível aquecer a caldeira e conseqüentemente produzir 1779,4 kg de vapor com temperatura de 270 °C e pressão de 1,032 MPa.

Através de uma tubulação esse vapor superaquecido será levado até a turbina, transformando a energia de pressão em energia mecânica, que faz girar um eixo ligado em um gerador.

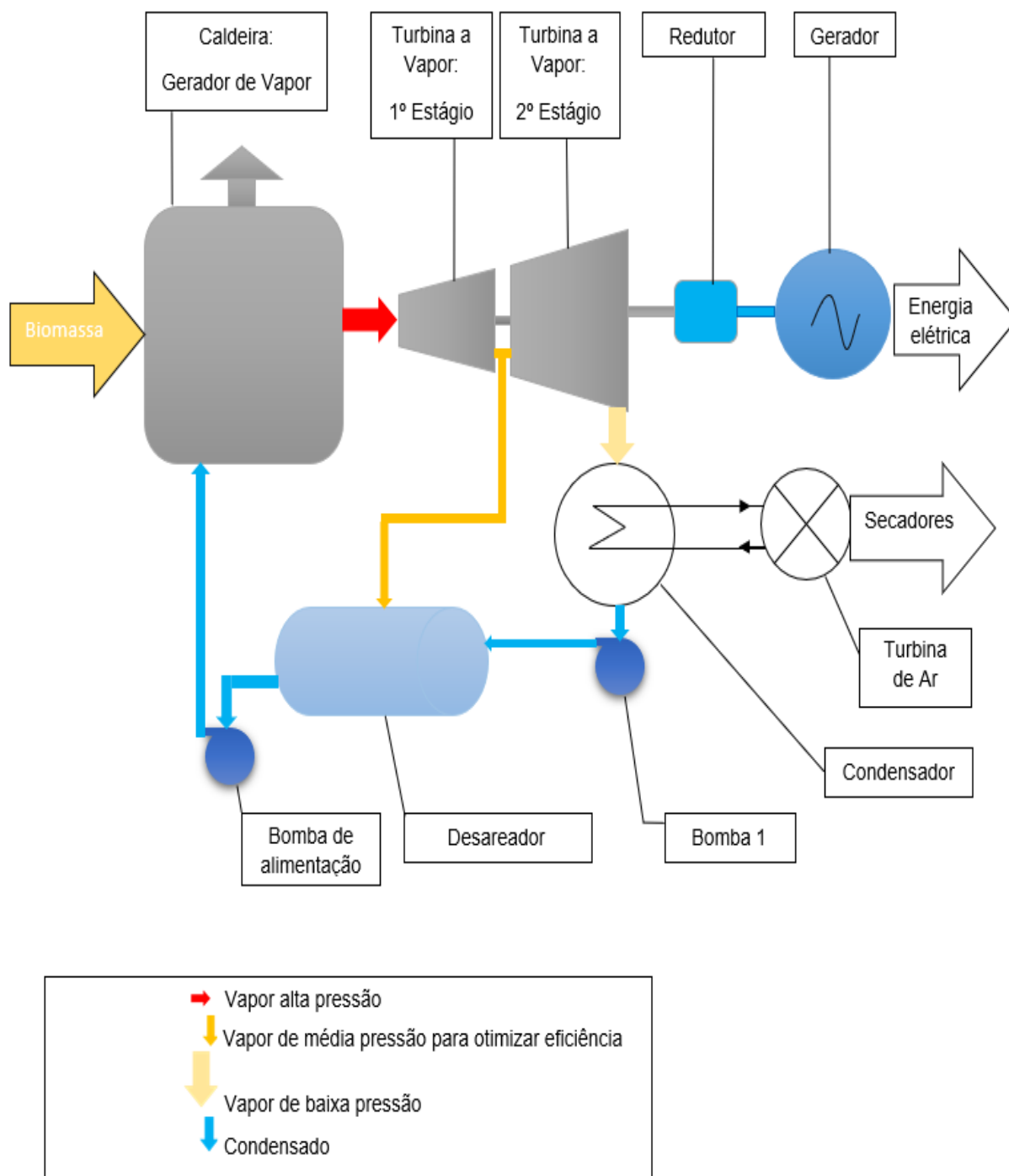
O vapor sairá da turbina com pressão de 0,008MPa praticamente à mesma temperatura, e através de um trocador de calor uma tubulação de ar passará no condensador com direção aos secadores de café para aproveitar ao seu calor nos processos de secagem.

Após retornará a caldeira, onde o ciclo será repetido. O gerador terá uma potência de 200 kVA e uma tensão de saída 13.800 V.

A saída do gerador está ligada nos sistemas de controle onde será feito monitoramento e controle da tensão gerada. Parte da energia estará ligada na rede de distribuição da concessionária e a outra parte em um transformador, com uma potência de 200 kVA e saída de tensão de 380/220 V, para alimentar a unidade do Centro de Excelência do Café.

O detalhe importante que vale destacar no Centro de Excelência do Café, refere-se em aproveitar a energia térmica que contém no condensador, para utilizar nos secadores de café. A Figura 10, mostra um organograma para melhor entendimento.

**Figura 10:** Organograma do sistema no Centro de Excelência do Café



**Fonte:** Autor, (2018)

### 5.2.2 Investimento do empreendimento de geração de energia

O tempo de restituição do investimento no Centro de Excelência do Café de Caratinga em energia gerada através da minitermelétrica tratou-se de um cálculo que representa o tempo necessário para que o custo de instalação se pague e a partir da mini termoelétrica entre em funcionamento para que comece a dar lucro para o mesmo.

Basicamente, para fazer este cálculo é necessário fazer o levantamento do custo total do investimento e dividi-lo pela economia proporcionada mensalmente. A próxima equação cinco calcula o tempo necessário.

$$T_{ret} = \frac{In}{E_{ger}V_{tar}} \quad (5)$$

Em que:

$T_{ret}$ : Tempo de retorno do investimento em (meses);

$In$ : Investimento total (R\$);

$E_{ger}$ : Energia gerada (KWh/mês);

$V_{tar}$ : Valor tarifa sem impostos (R\$).

A Tabela 13 mostra os resultados obtidos pelos cálculos do investimento no local de estudo.

**Tabela 13:** Retorno do Investimento

Investimento bruto		Valor tarifa sem impostos		Meses de retorno	
Quantidade	Unidade	Preço	Unidade	Quantidade	Unidade
500000	R\$	0,71	R\$/kWh	32	meses

Fonte: Autor, (2018)

De acordo com a tabela anterior o investimento inicial para instalação da mini termelétrica fica em torno de R\$ 500.000,00 compreendendo instalações dos equipamentos. Considerando os indicadores econômicos, obteve-se um payback, o qual representa o número de períodos necessários para a recuperação do capital investido de 3 anos.



## 6 CONCLUSÕES

No início deste trabalho propôs-se verificar a viabilidade da geração de energia elétrica de forma descentralizada, a partir de resíduos de biomassa proveniente da cultura de café.

Para tal, precisou-se traçar um objetivo, que foi desenvolver uma metodologia científica capaz de definir que informações seriam necessárias e como equalizá-las de forma a conseguir uma resposta positiva para verificação.

A primeira hipótese levantada, questionava se a disponibilidade de resíduos de biomassa produzida no local de estudo seria suficiente para sustentar uma mini usina termelétrica em pleno funcionamento.

O estudo de caso no Centro de Excelência do Café de Caratinga confirma a veracidade desta hipótese, já que no local a biomassa residual proveniente do café fica em torno de 250,560 MWH/ano.

A segunda hipótese também teve sua veracidade confirmada, já que afirmava que a uma das tecnologias de conversão de biomassa residual em energia elétrica seria através da combustão direta em caldeira (ciclo a vapor) com sistema de cogeração e calcular a eficiência do ciclo.

Os dados técnicos obtidos e simulados no *software* aponta, que a eficiência do ciclo com equipamentos menores como caldeira e turbina tem um valor menor comparado as usinas termelétricas de maiores portes.

Conclui-se também que, o consumo maior de energia elétrica no Centro de Excelência do Café de Caratinga é nos meses da época da seca, onde ocorre o adicionamento de bandeira vermelha na conta de energia elétrica, além que no horário de pico tem oscilações de falta de energia elétrica prejudicando o funcionamento do local nessa época.

Os resultados da caracterização da biomassa apresentaram alto poder calorífico quando comparada ao bagaço da cana.

O tema proposto contribui para o desenvolvimento sustentável e incentiva o desenvolvimento de novas tecnologias, para o aproveitamento de biomassa. A aplicação da casca do café como fonte energética é uma das alternativas viáveis para atender aos pequenos produtores, sem comprometer o meio ambiente para as gerações futuras.

Finalizou-se que o tempo de recuperação do investimento considerando que feitos os investimentos propostos no projeto e com base nos indicadores econômicos, o projeto de implantação da minitermelétrica a casca de café apresenta-se economicamente viável.

Pelo fator que na época da seca o valor tarifa é valor superior de acordo com conta de energia obtida no local de estudo e poderá gerar com potência máxima nessa mesma época.

## **6.1 Trabalhos futuros**

Estudo conveniente para este assunto seria o monitoramento do controle da geração de energia através da biomassa, através de um *software* verificando o controle de energia consumida no local e excedentes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Fontes renováveis*. 2008a. 74p. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf)>. Acesso em: 16 de maio de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Micro e minigeração distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica*. 2016b. 7p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida++2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em 03 de abril 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*. 2012d. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 07 de junho de 2018.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). Ministério de Minas e Energia-EPE. Rio de Janeiro, 2016.

BALESTIERI, J. A. P. *Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor*. Florianópolis – SC: Editora da UFSC, 2002. 279p.

CHAPMAN, Stephen J. Geradores Síncronos. CHAPMAN, Stephen J. *Fundamentos de Maquinas elétricas*. Rio Grande do Sul: AMGH Editora Ltda, 2013. 191-270.

CHALFUN, M. F. A. *Elaboração de uma ferramenta para análise técnica e econômica de projetos de cogeração de energia*. Graduação (Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012310.pdf>>. Acesso em: 15 de agosto de 2018.

COMÉRIO, L. M; KAFLE, G. C; CORRÊA, V; DAL-BÓ, T. S LIRA; ARRIECHE, L. S. *Casca do café para a geração de energia: caracterização da biomassa e análise dos gases de combustão*. 2016. 8p. Artigo. Universidade Federal do Ceará, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/324068416\\_Casca\\_do\\_Cafe\\_para\\_a\\_Geracao\\_de\\_Energia\\_Characterizacao\\_da\\_Biomassa\\_e\\_Analise\\_dos\\_Gases\\_de\\_Combustao](https://www.researchgate.net/publication/324068416_Casca_do_Cafe_para_a_Geracao_de_Energia_Characterizacao_da_Biomassa_e_Analise_dos_Gases_de_Combustao)>. Acesso em: 05 de abril de 2018.

DAL-BÓ, Vanessa. *Potencialidades para o aproveitamento de biomassa de casca de café robusta para a geração de energia*. 2016. 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2016. Disponível em: <<http://www.energia.ufes.br/pos-graduacao/PGEN/detalhes-da-tese?id=10086>>. Acesso em: 15 de abril de 2018.

HENAN YUANDA, B. C. LTD. *Caldeira a vapor 2 toneladas*. Geração de energia. Distrito Industrial Ocidental de Ganxiao Road, Xihua, Província de Henan, China 2018. Disponível em: <<https://portuguese.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=products&CatId=&SearchText=caldeira+biomassa+2+toneladas&selectedTab=products>>. Acesso em 09 de novembro de 2018.

LOPES, C.T. G. *Análise termodinâmica comparativa entre um ciclo rankine tradicional e um inovador utilizando gases residuais do processo siderúrgico como combustível*. 2007. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=11329@1](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=11329@1)> Acesso em 12 setembro de 2018.

LUDWIG, R; SOUZA ARAUJO. A; FERRARI, P. F. *Usina termelétrica a partir da casca de arroz*. 2012. 15p. Artigo. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, São Paulo, 2012. Disponível em: <[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/331/334](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/331/334)>. Acesso em: 8 de setembro de 2018.

MECÂNICA INDUSTRIAL. *Benefícios das caldeiras de biomassa*. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/>>. Acesso em 08 de setembro de 2018.

MOREIRA, J. R. S. *Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética*. 1. Ed. Rio de Janeiro: Triall Editorial Ltda. 2017. v. 1, 393p.

OLIVEIRA, D. S. *Termodinâmica aplicada às termelétricas*. 2º ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 2016. 153p.

PALINE e ALVES. *Secador rotativo para café e outros grãos*. Descrição. 2018a. 1p. Disponível em: <[http://www.palinalves.com.br/produto.php?produto=86&pa\\_sr\\_18](http://www.palinalves.com.br/produto.php?produto=86&pa_sr_18)>. Acesso em 12 de maio de 2018.

PALINE e ALVES. *Fornalha de fogo indireto Descrição*. 2018b. 1p. Disponível em: <[http://www.palinalves.com.br/produto.php?produto=128&pa\\_tfi\\_300\\_10\\_a\\_18](http://www.palinalves.com.br/produto.php?produto=128&pa_tfi_300_10_a_18)>. Acesso em 12 de maio de 2018.

ROBERTO, L. M. P. *Análise da Viabilidade da Geração de Energia Elétrica Descentralizada a partir de resíduos agrícolas no estado de Goiás e Estudo de Caso do Município de Rio Verde*. 2008. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia). Universidade Federal De Itajubá, Itajubá, 2008. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0034119.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

REGENERA. *Ciclo de Potência a Vapor Regenerativo*. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/program.htm>. Acesso em 07 de novembro 2018.

TEC – Tecnologia em Calor. *Tabela Poder Calorífico*. Disponível em <<http://www.teccalor.com.br/PDF/TabelaPoderCalorifico.pdf>>. Acesso em: 21 de junho de 2018

ZHANG, H. *Roduct display*. Disponível em:< <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/10-KW-200-KW-Micro-Steam-60805064161.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.350.5cb54a33mHaHuv>>. Acesso em: 09 de novembro de 2018.