UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS
ENGENHARIA AGROINDUSTRIAL AGROQUÍMICA

AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA CASCA DE ARROZ: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA

Gabriel Silveira de Campos

Santo Antônio da Patrulha

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS
ENGENHARIA AGROINDUSTRIAL AGROQUÍMICA

AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA CASCA DE ARROZ: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA

Gabriel Silveira de Campos

Projeto de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos necessários à graduação em Engenharia Agroindustrial Agroquímica.

Orientadora: Prof.ª Dra. Juliana Espindola

Santo Antônio da Patrulha

2016

RESUMO

A produção industrial deve estar associada a uma correta gestão dos resíduos gerados no processo, de modo a agregar valor aos subprodutos de processo, além de minimizar impactos ambientais. No beneficiamento de arroz, o principal resíduo é a casca de arroz, um resíduo abundante que possui baixa atratividade para as empresas do setor. A casca de arroz representa um problema para as empresas do setor localizadas no município de Santo Antônio da Patrulha - RS, pois possui destinação incerta e gera despesas associada à sua disposição adequada. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica do aproveitamento energético da casca de arroz para geração termoelétrica no município de Santo Antônio da Patrulha, onde estão localizados 9 engenhos de beneficiamento de arroz de pequeno porte. Para esse estudo, foi feito um levantamento do volume médio de casca gerado no município e a definição de escala e projeto de uma usina para aproveitamento energético da casca de arroz, considerando dois cenários de projeto: geração de energia elétrica em um engenho de pequeno porte (cenário 1) ou em uma cooperativa de empresas (cenário 2). Após, avaliação do custo do projeto e receitas para cada cenário, foi feita a análise de viabilidade econômica do projeto. Os resultados dos indicadores VPL, TIR e *payback* descontado mostram que o aproveitamento energético da casca de arroz se mostrou viável para o cenário 2, tornando o investimento em uma cooperativa bastante atrativo. Para o cenário 1 os indicadores TIR e *payback* mostraram que o investimento não é atrativo.

Palavras-chave: geração termoelétrica, casca de arroz, aproveitamento da casca de arroz.

ABSTRACT

The industrial production should be associated with a proper management of the residue in order to aggregate value to the process by-products as well as to minimize environmental impacts. In the rice processing, the main residue is the rice husk, an abundant residue that has low attractiveness to companies in the rice-milling field. The rice husk is a problem for the companies located in Santo Antônio da Patrulha, Rio Grande do Sul, because it has uncertain destination and generates expenses associated with its proper disposal. In this context, this study aims to evaluate the economic viability of the energy recovery of rice husk for thermoelectric generation in the municipality of Santo Antonio da Patrulha, in which 9 small rice-milling companies are located. For this study, the average volume of rice husk generated in the individual companies and the total in the municipality were collected by means of questionnaires. This dada was used for scale definition and design, considering two scenarios: electricity generation in a small rice-milling company (scenario 1) or in a thermoelectric cooperative company (scenario 2). After the project cost and revenue evaluation, the results for NPV, IRR and discounted payback show that the energy generation from rice husk is viable and very attractive for the second scenario. For the scenario 1, the IRR and payback indicators showed that the investment is not attractive.

Keywords: thermoelectric generation, rice husk, use of rice husk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Matriz elétrica do Brasil em 2014. 11
Figura 2. Evolução da quantidade de casca de arroz utilizada no setor energético no RS. 13
Figura 3. Processos de Conversão Energética da Casca de Arroz. 15
Figura 4. Processo de geração - ciclo de Rankine. 19
Figura 5. Diagrama temperatura versus entropia. 19
Figura 6. Processo implementado no simulador de processos iiSE – *Industrial Process Simulator* (VRTech). 32
Figura 7. Tempo de retorno do capital investido. 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Participação de cada fonte termelétrica em 2014. 12
Tabela 2. Usinas termoelétricas no RS a base de casca de arroz..... 13
Tabela 3. Poder Calorifico inferior de biomassas. 16
Tabela 4. Eficiência dos principais equipamentos de uma unidade termoelétrica. 28
Tabela 5. Perfil das empresas localizadas no município de Santo Antônio da Patrulha..... 30
Tabela 6. Destinos da casca de arroz gerada nos Engenhos do município. 31
Tabela 7. Volume de casca de arroz gerada nos engenhos de Arroz de Santo Antônio da Patrulha..... 31
Tabela 8. Escalas adotadas para ambos cenários do projeto. 32
Tabela 9. Variáveis inseridas no simulador de processos. 33
Tabela 10. Resultados simulação do processo..... 33
Tabela 11. Custo de investimento Cenário 1. 34
Tabela 12. Custo de investimento para o Cenário 2 35
Tabela 13. Custo operacional. 35
Tabela 14. Receita gerada pela comercialização de energia elétrica. 36
Tabela 15. Fluxo de caixa cumulativo do Cenário 1. 37
Tabela 16. Fluxo de caixa cumulativo do Cenário 2. 38
Tabela 17. Resultados dos métodos utilizados para análise de viabilidade econômica dos projetos. 38

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social;

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CCEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica

FC – Fluxo de caixa

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços;

MCT – Micro Central Termoelétrica;

PCI – Poder Calorífico Inferior;

TIR – Taxa Interna de Retorno;

TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo;

TMA – Taxa Mínima Atrativa;

VPL – Valor Presente Líquido;

SUMÁRIO

1 Introdução 9
2 Objetivos 10
2.1 Objetivo geral 10
2.2 Objetivos específicos 10
3 Revisão Bibliográfica 11
3.1 Introdução sobre a matriz energética nacional 11
3.1.1 Geração termoelétrica 11
3.1.2 Produção energética a partir da casca de arroz no Rio Grande do Sul 12
3.2 Uso da casca de arroz 13
3.2.1 Aproveitamento de resíduos com viabilidade econômica 13
3.2.2 Alternativas tecnológicas para o aproveitamento energético da casca 14
3.2.3 Alternativas na região de Santo Antônio da Patrulha 15
3.3 Geração termoelétrica a partir da casca de arroz 16
3.3.1 A geração termoelétrica descentralizada 17
3.3.2 Cooperativismo no setor de energia elétrica 18
3.3.3 Ciclo termodinâmico e equipamentos utilizados no processo 18
3.3.3.1 Caldeira a vapor 20
3.3.3.2 Turbina a Vapor 20
3.4 Projeto e avaliação econômica 21
3.4.1 Custos de instalação 21
3.4.2 Custo operacional 22
3.4.3 Fluxo de caixa 23
3.4.4 Valor presente líquido (VPL) 23
3.4.5 Taxa interna de retorno (TIR) 24
3.4.6 *Payback* descontado 24
4 Método 25
4.1 Coleta de Dados 25
4.2 Definição da escala e projeto 25
4.2.1 Caldeira 26
4.2.2 Turbina a vapor 26
4.2.3 Condensador 27

4.2.4 Bomba 27
4.2.5 Perdas no processo 28
4.3 Receita, custo de instalação e operacional 28
4.3.1 Receita 28
4.3.2 Custo de instalação e operacional 29
4.4 Métodos de avaliação de projetos de investimento 29
5 Resultados e discussões 30
5.1 Coleta de dados 30
5.2 Simulação do potencial de geração de energia 32
5.3 Custo de investimento 34
5.4 Custo operacional 35
5.5 Receita gerada pelo investimento 36
5.6 Financiamento 36
5.7 Demonstração dos resultados 37
5.8 Fluxo de caixa 37
5.9 Análise de viabilidade econômica dos projetos 38
6 Considerações finais 41
APÊNDICE A - Questionário estruturado. 47
APÊNDICE B - Financiamento Cenário 1. 49
APÊNDICE C – Financiamento Cenário 2. 51
APÊNDICE D – DRE Cenário 1. 53
APÊNDICE E – DRE Cenário 2. 54
APÊNDICE F – Fluxo de caixa Cenário 1. 55
APÊNDICE G – Fluxo de caixa Cenário 2. 56

1 Introdução

O beneficiamento de arroz, assim como qualquer processo industrial, pode provocar impactos ambientais se os resíduos gerados no processo forem depositados de forma inadequada no meio ambiente. Neste contexto, cada vez mais as indústrias estão entendendo que o aproveitamento dos resíduos gerados no processo é necessário, como uma alternativa para realizar uma correta gestão ambiental, além de agregar valor aos subprodutos e resíduos de processo.

Segundo os dados da CONAB divulgados em 2015, o Rio Grande do Sul foi o maior produtor nacional de arroz em casca na safra 2014/15, sendo responsável por 68,8 % do total produzido no ano, com uma safra de aproximadamente 8,6 milhões de toneladas. Desse montante, cerca de 7 milhões de toneladas são beneficiadas no estado por ano, gerando 1,5 milhões de toneladas de resíduos.

Dentre os resíduos gerados no beneficiamento de arroz, a principal preocupação é a casca de arroz, visto que são produzidos grandes volumes desse resíduo, que possui baixa atratividade para o mercado. A combustão direta da casca de arroz é a destinação mais comum da casca, sendo o calor gerado utilizado na secagem do grão ou para a geração termoelétrica (CAPELETTO; ZANCHI DE MOURA, 2014). Contudo, o aproveitamento desse resíduo é realidade apenas em grandes instalações, não contemplando a grande maioria das empresas do setor de beneficiamento de arroz. Assim, a casca de arroz representa um sério problema para as empresas do setor, pela baixa demanda de mercado e por ser de difícil decomposição no meio ambiente, o que gera problemas quanto à sua destinação adequada (MAYER, 2009).

O município de Santo Antônio da Patrulha conta com 9 empresas de beneficiamento de arroz que, juntas geram um elevado volume de resíduos. O aproveitamento energético desse recurso está pouco presente na região, uma vez que as empresas da região são, em sua grande maioria, de pequeno porte, não havendo investimentos nessa área. Além disso, o resíduo gerado representa custo para as empresas devido à necessidade de destinação adequada. Sendo assim, uma análise detalhada das características técnico-econômicas da geração de energia elétrica descentralizada, pode elucidar os aspectos favoráveis e aqueles que necessitam ser contornados para que esta tecnologia se torne realidade na região.

O presente trabalho é um estudo de caso que tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica do aproveitamento energético da casca de arroz na região de Santo Antônio da Patrulha. Esta análise será realizada para dois cenários:

- Primeiro cenário: a unidade de geração termoelétrica será instalada em um engenho de pequeno porte.
- Segundo cenário: a unidade de geração termoelétrica será instalada em um local onde todas as empresas da região irão realizar o escoamento da casca de arroz (Cooperativa de empresas).

A viabilidade econômica do projeto será avaliada através dos métodos de valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e *payback* descontado.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Avaliar o processo e a viabilidade econômica do aproveitamento energético da casca de arroz na região de Santo Antônio da Patrulha.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento da quantidade gerada de casca de arroz na região;
- Definir a escala de operação da usina termoelétrica;
- Elaborar o projeto base das instalações e avaliação preliminar de custos; e
- Avaliar a viabilidade econômica para os seguintes cenários: empresa de pequeno porte e cooperativa regional.

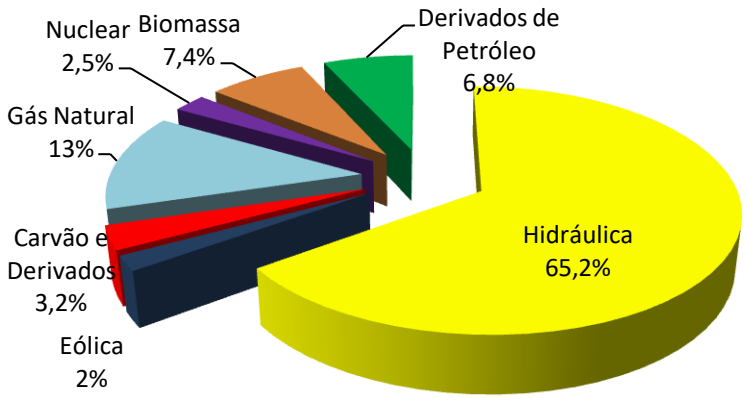
3 Revisão Bibliográfica

Os processos de produção de energia no século XXI têm como um dos principais objetivos o desenvolvimento sustentável, conceito que alia expansão da oferta, consumo consciente, preservação do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida. O desafio do país é suprir as necessidades atuais sem comprometer as necessidades das futuras gerações (DAMATTO, 2009).

3.1 Introdução sobre a matriz energética nacional

A matriz energética nacional é considerada sustentável, uma vez que apresenta grande oferta de energia renovável, frente aos demais países (EPE, 2015). O processo hidráulico é a principal fonte de energia elétrica no Brasil, representando 65,2% da matriz nacional em 2015, conforme apresentado na Figura 1. A oferta de energia elétrica através de biomassa representa 7,4% da matriz elétrica e possui significativa participação dos resíduos da agroindústria.

Figura 1. Matriz elétrica do Brasil em 2014.



Fonte: EPE, 2015.

3.1.1 Geração termoelétrica

A geração termoelétrica teve um crescimento de 4,3% em 2014 em comparação ao ano anterior (EPE, 2015). No entanto, a geração através de fontes renováveis no país ainda é baixa em comparação com as fontes não renováveis, representando apenas 22,6% da geração

termoelétrica, conforme apresentado na Tabela 1. O Brasil tem uma enorme variedade de biomassas disponíveis em seu território, desta forma é necessário que seja investido em tecnologias que viabilizem a inserção destas biomassas para geração de energia. No Rio Grande do Sul a casca de arroz é a biomassa de maior destaque, devido ao grande volume gerado na atividade de beneficiamento de arroz (EPE, 2015).

Tabela 1. Participação de cada fonte termelétrica em 2014.

Fonte	Percentual
Biomassa	22,6%
Gás Natural	39,6%
Nuclear	7,5%
Derivados de Petróleo	20,7%
Carvão e Derivados	9,6%

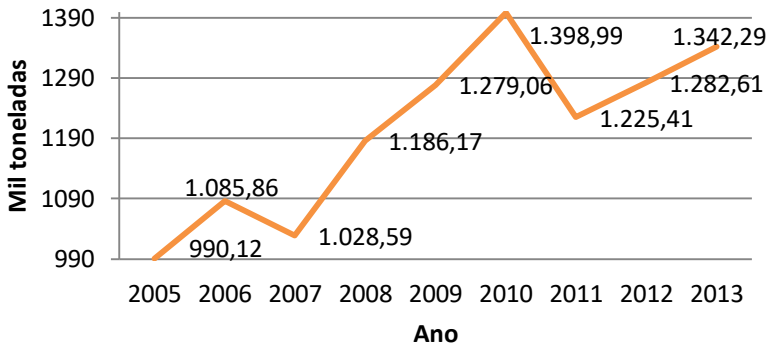
Fonte: EPE, 2015.

3.1.2 Produção energética a partir da casca de arroz no Rio Grande do Sul

O Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional de arroz em casca e também um dos principais beneficiadores do grão, gerando casca de arroz em abundância (LUDWIG, 2004). Nesse contexto, surge a oportunidade de utilização deste resíduo para gerar eletricidade e o consumo da casca para esta finalidade vem aumentando nos últimos anos, conforme apresentado na Figura 2 (CAPELETTO; ZANCHI DE MOURA, 2014).

No estado estão em funcionamento oito termoelétricas com geração a partir da casca de arroz, as quais possuem uma potência total instalada de aproximadamente 40 mil kW. A Tabela 2 apresenta a potência das usinas termoelétricas do estado, as quais estão localizadas, em grande parte, em regiões distantes do município de Santo Antônio da Patrulha. Desta forma, a planície costeira externa do Rio Grande do Sul, que é uma região grande produtora de arroz, acaba ficando com poucas alternativas para o escoamento deste resíduo.

Figura 2. Evolução da quantidade de casca de arroz utilizada no setor energético no RS.



Fonte: CAPELETTO; ZANCHI DE MOURA, 2014.

Tabela 2. Usinas termoelétricas no RS a base de casca de arroz.

Usina Termoelétrica	Potência (kW)	Município
CAAL	3.825	Alegrete
Camil Alimentos – Camaquã	4.000	Itaqui
Itaqui	4.200	Itaqui
São Borja	12.500	São Borja
Silica Verde do Arroz Ltda	4.900	Alegrete
PCT SLC Alimentos	5.800	Alegrete
Engenho Coradini	1.200	Dom Pedrito
Urbano São Gabriel	2.220	São Gabriel
Total	**38.645**	

Fonte: Aneel, 2016.

3.2 Uso da casca de arroz

3.2.1 Aproveitamento de resíduos com viabilidade econômica

Segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos tem a seguinte definição: “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição [...]”. Resíduos como a casca de arroz são classificados como resíduos industriais de classe 2-B e, conforme

estabelecido pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, devem ser aproveitados por possuir potencial energético (BRASIL, 2010).

Além disso, a grande quantidade gerada de resíduos industriais está despertando preocupação das indústrias, visto que muitos desses resíduos não são totalmente aproveitados, podendo causar sérios danos ambientais (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002).

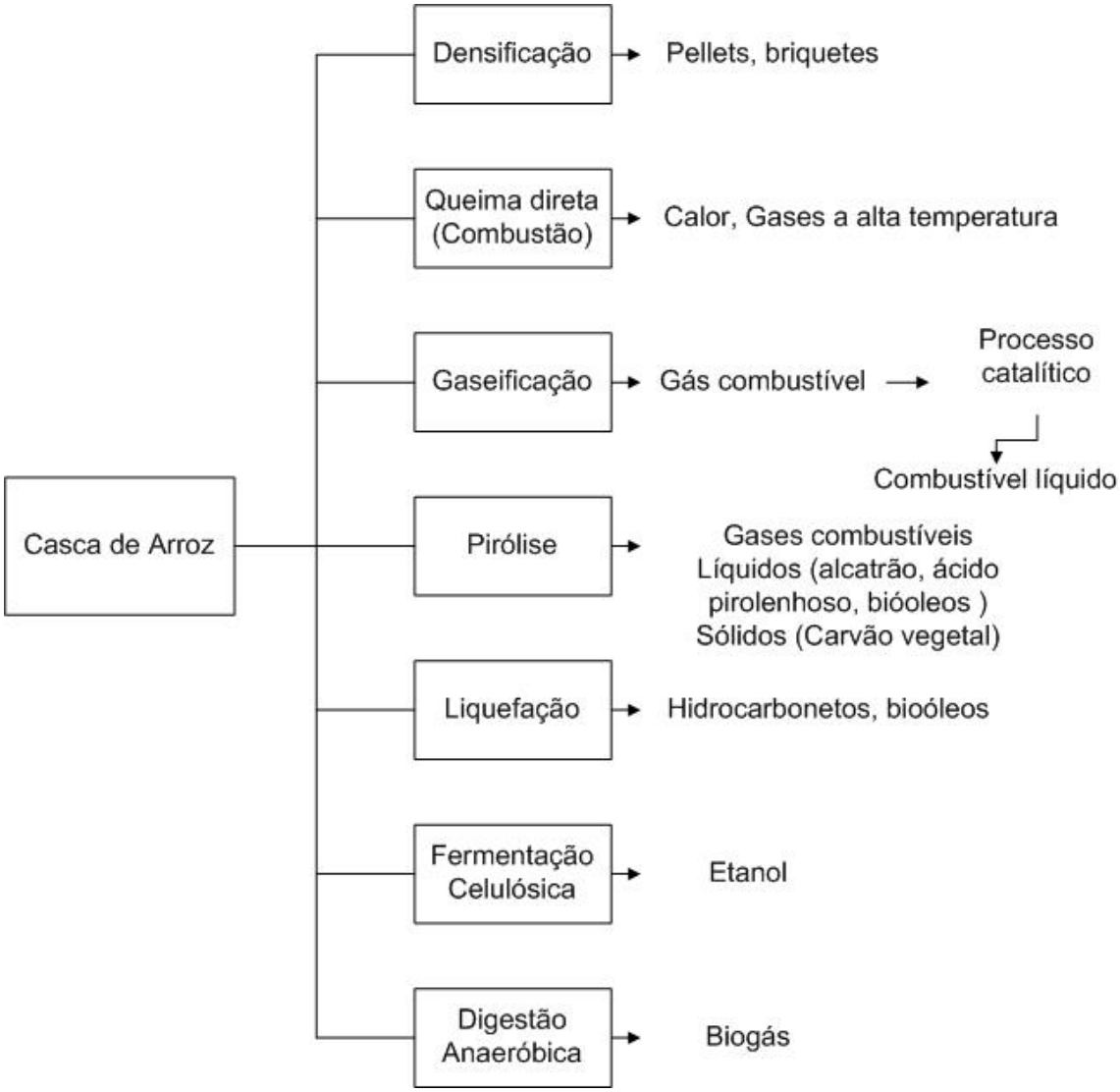
Na intenção de sanar este problema, as empresas estão em busca de soluções para atendimento da legislação vigente, que sejam economicamente viáveis e ambientalmente corretas, no sentido de serem capazes de minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos no meio ambiente e ao mesmo tempo gerar retorno financeiro (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002).

3.2.2 Alternativas tecnológicas para o aproveitamento energético da casca

O grão de arroz consiste da cariopse e de uma camada protetora (casca). A casca corresponde a cerca de 20% do peso do grão. A cariopse é formada por diferentes camadas, sendo as mais externas o pericarpo (farelo), que representa 8% do grão. O grão de arroz propriamente dito, ou miolo, perfaz cerca de 72% do peso do grão. A composição química da casca de arroz corresponde a 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica (YOJI, 2008). A casca de arroz apresenta uma massa especifica de 1,60 g/cm³, como consequência da pequena massa especifica deste material é o alto volume ocupado. (OLIVEIRA; TANNOUS, 2009).

A baixa densidade energética da casca de arroz indica a necessidade de transformação da biomassa em um vetor energético de maior densidade como, por exemplo, eletricidade, combustível líquido ou gasoso, sólidos processados, entre outros (HOFFMANN, 1999). Diversas rotas para conversão da biomassa em produtos de mais fácil utilização estão sendo investigadas, conforme Figura 3. Dentre as rotas estudadas, as de maior destaque são as rotas físicas (densificação), termoquímica (combustão, gaseificação, pirólise e liquefação) e bioquímicas (fermentação e digestão anaeróbica). Porém, a rota mais simples e consolidada para a utilização da casca de arroz continua sendo a combustão direta dessa biomassa para produção de calor.

Figura 3. Processos de Conversão Energética da Casca de Arroz.



Fonte: Mayer, 2009.

3.2.3 Alternativas na região de Santo Antônio da Patrulha

A casca de arroz não possui valor comercial para as indústrias, pois o alto percentual de sílica (SiO_2) e as fibras contidas não possuem valor nutritivo, portanto não é usada na alimentação humana e não é aconselhável a sua utilização na alimentação animal (FERRO; SILVA; WIEBECK, 2007). Mesmo para o aproveitamento energético, a demanda por esse resíduo é sazonal, dependendo do custo do combustível para transporte e da disponibilidade de outras matérias primas de mais fácil aproveitamento e potencial energético.

Os engenhos da região de Santo Antônio da Patrulha não agregam nenhum valor a este resíduo. Os principais destinos são as indústrias de ração, onde a casca é moída e adicionada em pequenos percentuais na ração animal; ou terceiros, que realizam o escoamento para empresas com caldeira adequada para queima. No estado existem poucas empresas que possuem caldeira apropriada para queima deste resíduo, portanto o destino para esta finalidade fica restrito a demanda das seguintes empresas: Celulose Rio Grandense, localizada no município de Guaíba, Ambev, localizada no município de Águas Claras, e Bunge, localizada no município de Rio Grande.

3.3 Geração termoelétrica a partir da casca de arroz

Entre os principais meios tecnológicos, o processo mais consolidado para a utilização da casca de arroz é a combustão direta da biomassa para produção de calor. O calor gerado na queima controlada da casca de arroz pode ser utilizado diretamente na secagem do arroz, através da passagem dos gases quentes emanados em um secador ou na produção de vapor para posterior utilização na geração de energia elétrica.

A geração termoelétrica pode ser resumida nas seguintes etapas: queima ou combustão do resíduo, geração de vapor, aproveitamento do vapor e geração de eletricidade (HOFFMANN, 1999).

A casca de arroz apresenta um bom poder calorífico inferior (PCI) em comparação a outras biomassas, conforme apresentado na Tabela 3. Entretanto, segundo Mayer (2009), a utilização desta biomassa como fonte de energia para geração de vapor, apresenta as seguintes dificuldades:

Tabela 3. Poder Calorifico inferior de biomassas.

Biomassa	Poder Calorifico Inferior (kcal/kg)
Casca de arroz (12% de água)	3300
Casca de Eucalipto	3750
Casca de Soja	3300
Cavaco Eucalipto	4300

Fonte: Arauterm, 2006.

- Dificuldade no sistema de combustão da caldeira. Ocorre devido ao alto teor de sílica da casca (15% podendo chegar a 20%) que limita a temperatura do sistema em torno de 700ºC, pois em temperaturas superiores a cinza residual gerada é constituída de sílica em forma cristalina de quartzo. Nesta forma a característica abrasiva da sílica é agravada, sendo assim necessário que seja compensado pela redução da velocidade dos gases na tubulação;
- Problema na queima do material. Para evitar que a casca se feche e fique com matéria orgânica não queimada dentro dela, a queima inicial tem que ser feita com pouco oxigênio. O restante do oxigênio necessário para a queima total é fornecido em uma parte mais alta da caldeira quando o carbono do interior da casca já foi consumido;
- O transporte logístico da casca de arroz é dificultado devido à baixa densidade do material, desta forma é necessário que a casca seja utilizada em locais próximos ao beneficiamento, devido ao alto custo de transporte.

3.3.1 A geração termoelétrica descentralizada

A geração de forma descentralizada vem atendendo eficientemente à demanda de consumidores de médio e grande porte, principalmente quando se faz uso simultâneo e sequencial de calor associado ao da eletricidade, o que se designa por cogeração (DIAS; BOROTNI; HADDAD, 2004).

A busca por fontes alternativas de geração deve basear-se no contexto regional que a autoprodução de eletricidade se insere, minimizando os riscos provenientes da utilização de combustíveis com cotação flutuante no mercado internacional, como é o caso do óleo diesel, utilizado por empresas para geração de eletricidade (DIAS; BOROTNI; HADDAD, 2004).

Através do aumento das tarifas de energia elétrica observa-se que as empresas que dispõe de biomassa residual, como a casca de arroz estão buscando investir na geração termoelétrica. Diversos empreendimentos desse tipo foram instalados no estado do Rio Grande do Sul ou estão em fase de projeto ou construção (MAYER, 2009).

3.3.2 Cooperativismo no setor de energia elétrica

A formação de cooperativas é antiga e visa à ajuda mútua, com um objetivo comum, tende a gerar maior desenvolvimento, seja este econômico, financeiro ou intelectual (OLIVEIRA, 2001).

Dessa forma, tem-se como cooperação o ato de ajudar ou colaborar para um determinado fim. Enquanto cooperativismo pode ser considerado com um sistema, repleto de princípios, perfazendo uma doutrina cooperativista, as cooperativas, por sua vez, são as unidades econômicas e financeiras, caracterizadas, dessa forma, por seguir a doutrina cooperativista. Sendo assim, o cooperativismo é uma atividade econômica na qual o capital humano é mais importante que o capital financeiro (OLIVEIRA, 2001).

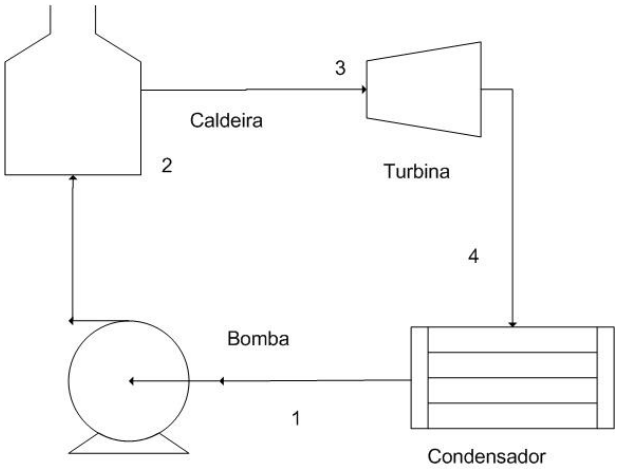
3.3.3 Ciclo termodinâmico e equipamentos utilizados no processo

Segundo Paro (2011) quase a totalidade de centrais de geração ou cogeração termoelétrica no Brasil operam através do ciclo de Rankine. Este ciclo é considerado o modelo ideal para a representação de uma unidade motora simples a vapor e, por este motivo, será abordado ao longo deste projeto. Trata-se de um ciclo de potência que utiliza a queima de um combustível em uma caldeira como fonte de energia (VAN WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE, 1997).

O ciclo simples é composto basicamente por quatro equipamentos (bomba, caldeira, turbina a vapor e condensador) e consiste de quatro processos que ocorrem em regime permanente durante a passagem de um equipamento para o outro. Segue abaixo a descrição de cada processo do ciclo de Rankine, o qual é apresentado na Figura 4.

- 1-2) Processo de compressão adiabático, na bomba;
- 2-3) Transferência de calor a pressão constante, na caldeira;
- 3-4) Expansão adiabática, na turbina;
- 4-1) Transferência de calor a pressão constante, no condensador.

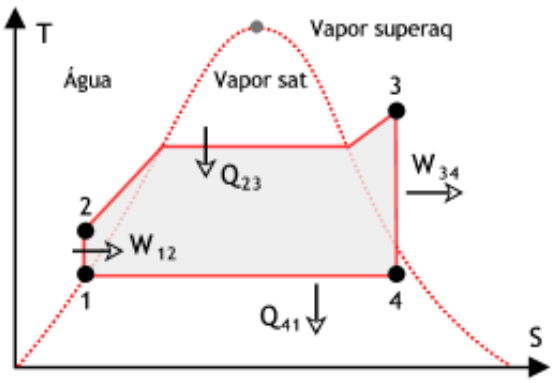
Figura 4. Processo de geração - ciclo de Rankine.



Fonte: Adaptado de VAN WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE (1997).

É comum representar o processo termodinâmico deste ciclo em um diagrama temperatura versus entropia, conforme apresentado na Figura 5 (VAN WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE, 1997).

Figura 5. Diagrama temperatura versus entropia.



Fonte: VAN WYLEN; SONNTAG; BORGNAKKE (1997).

Segundo Pretz (2001), o ciclo de Rankine consiste em uma caldeira queimando casca de arroz e produzindo vapor superaquecido, o qual fornece energia para o sistema gerador (Q_{23}). O vapor entrega energia na forma de trabalho na turbina (W_{34}) e deixa a turbina em pressão baixa, sendo encaminhado para ao condensador, onde o excesso de energia é removido da corrente (Q_{41}). Após o condensado é encaminhado para o tanque principal, junto

com a água de reposição para compensar as perdas. A mistura do tanque então é bombeada ate a caldeira principal (W_{12}), fechando o ciclo térmico, conforme segue ilustrado na Figura 5.

Nas próximas seções serão descritos os principais equipamentos que compõem este ciclo termodinâmico.

3.3.3.1 Caldeira a vapor

A caldeira é basicamente um trocador de calor que trabalha com pressão superior à pressão atmosférica, produzindo vapor a partir da energia térmica fornecida por uma fonte qualquer (NOGUEIRA et al., 2005). As caldeiras para queima de biomassa operam com vapor na faixa de 340 a 440ºC, pressões entre 21 e 81 bar e vazão de vapor na faixa de 40 a 140 t/h (LORA e NASCIMENTO, 2004).

A sua classificação pode ser realizada através de diversos critérios, no entanto o mais utilizado é quanto à disposição da água em relação aos gases:

- Flamotubular: os gases quentes provenientes da combustão circulam no interior dos tubos, imersos em água. Com esse tipo de caldeira é possível atender aplicações de pequeno porte com pressão e vazão relativamente baixa resultando em pouco excedente para geração (NOGUEIRA et al., 2005).
- Aquotubular: No interior dos tubos circula a água e por fora os gases quentes através do caminho formado pela alvenaria e chicanas internas. As caldeiras aquotubulares permitem a obtenção de maiores produções de vapor a pressões elevadas, o que faz desse modelo adequado para escalas maiores por apresentar também elevado rendimento. Esta caldeira se torna inviável para pequenas aplicações, pois sua construção mais robusta tende a aumentar o custo de instalação (NOGUEIRA et al., 2005).

3.3.3.2 Turbina a Vapor

Uma turbina a vapor é um motor térmico rotativo no qual a energia térmica do vapor é convertida em energia cinética devido à sua expansão através dos bocais. Por sua vez essa energia é transformada em energia mecânica de rotação devido à força do vapor atingindo as pás rotativas (LORA e NASCIMENTO, 2004).

A classificação das turbinas a vapor pode ser realizada por princípio de funcionamento e por arranjo dos estágios. Quanto ao princípio de funcionamento existem dois tipos fundamentais:

- De ação: o princípio de funcionamento é devido a perda de pressão do vapor nos bocais e consequentemente a redução da energia do vapor (entalpia). A energia é convertida em energia cinética aumentando a velocidade do vapor que incidirá sobre as palhetas convertendo a energia cinética em mecânica (PAZ, 2002).
- De reação: Utilizam a pressão do vapor e a sua expansão. A perda de pressão do vapor ocorre por meio de sucessivas fileiras de palhetas móveis e fixas. Parte da energia térmica do vapor é convertida em energia cinética pelas palhetas fixas e parte pelas palhetas móveis (PAZ, 2002).

Nem toda energia interna do vapor é convertida em trabalho, visto que uma boa parte é rejeitada no condensador de calor (PAZ, 2002).

3.4 Projeto e avaliação econômica

Um projeto é um instrumento elaborado e executado para proporcionar soluções para problemas que usualmente não podem ser resolvidos de imediato, individualmente e com poucos recursos. Desta forma o desenvolvimento de um projeto envolve uma avaliação cuidadosa de diferentes rotas, modos de operação e variáveis de processo, de modo a projetar um sistema de processamento que atenda ao objetivo (GOMES NETO, 2007).

Para realizar avaliação econômica de um projeto é necessário o levantamento do custo de instalação, dos custos operacionais e das receitas, que compõem o fluxo de caixa. A partir do fluxo de caixa, podem ser avaliados os indicadores de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), e Recuperação do Capital (*Payback Time*); os quais são importantes ferramentas para avaliação da viabilidade de um projeto (ROSS, WESTERFIELD, JORDAN, 2013).

3.4.1 Custos de instalação

Segundo Mayer (2009), os itens necessários para instalação de uma unidade de geração termoelétrica são:

- Terreno;
- Construção civil: instalações necessárias para a instalação da termoelétrica, que compreende o prédio para o turbo gerador e a base para instalação da caldeira;
- Máquinas e equipamentos: engloba os valores referentes aquisição da caldeira, turbina, gerador, painéis de controle e materiais eletromecânicos utilizados na montagem e interligação entre os equipamentos;
- Montagem: recursos para serviços de montagem e instalação dos equipamentos;
- Seguros referentes às garantias contra um eventual prejuízo durante a instalação da termoelétrica;
- Transporte dos equipamentos do local de fabricação até o local de montagem e instalação;
- Imprevistos: reserva de recursos financeiros para eventuais despesas não programadas durante a fase de projeto;

3.4.2 Custo operacional

O custo operacional corresponde aos custos fixos e variáveis. Os custos fixos são os salários dos operadores, encargos sociais, manutenção do prédio e manutenção dos equipamentos. Já os custos variáveis abrangem o tratamento da água da caldeira e transporte da casca.

Segundo Turton (2009), é possível estimar o número de operadores por turno, N_{trab}, através do número de equipamentos principais do processo, N_{np}, e do número de etapas do processo que envolve sólidos particulados, P. A Equação (1) fornece essa relação. Nesta equação está sendo considerado que a unidade estará em funcionamento durante 252 dias no ano e com três turnos de operação ao dia.

$$N_{trab} = 3{,}15\left(6{,}29 + 31{,}7P + 0{,}23N_{np}\right)^{0{,}5} \tag{1}$$

Através do salário mensal bruto por mês de cada operador, S_{mb} [R$], o custo anual da mão de obra para a planta, COL [R$], poderá ser obtido através da Equação 2.

$$COL = \left(N_{trab}\right)\left(S_{mb}\right)\left(12meses\right) \tag{2}$$

O custo de manutenção e reparos do prédio, C_m [R$], será estimando através do custo de instalação da planta, *FCI* [R$], conforme Equação 3 (TURTON, 2009).

$$C_m = 0{,}05(FCI) \tag{3}$$

3.4.3 Fluxo de caixa

Para análise do projeto será necessário construir o fluxo de caixa. Segundo Ross, Westerfield, Jordan (2013), o fluxo de caixa mostra todas as entradas e saídas do caixa da empresa (receitas e custos). O resultado mostrado pelo fluxo de caixa é o saldo disponível no caixa da empresa a cada dia, semana ou mês.

3.4.4 Valor presente líquido (VPL)

Segundo Gitman (2004), o valor presente líquido (*VPL*) é a diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, assumindo-se determinada taxa para as avaliações. A taxa de atratividade é o mínimo que deve ser obtido em um projeto para que o valor de mercado da empresa fique inalterado. O *VPL* de uma proposta de investimento é obtido pela Equação 4, onde FC_0 é o investimento inicial do projeto, FC_t é o fluxo de caixa no período de tempo avaliado, *n*, e *K* é a taxa de retorno considerada.

$$VPL = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+K)^t} - FC_0 \tag{4}$$

Nesse método, a escolha mais apropriada é aquela que apresenta o maior *VPL*. No caso de avaliação de um único projeto, o investimento deverá ser aceito se seu *VPL* for positivo, e rejeitado se negativo (GITMAN, 2004). No caso pouco provável de que o valor presente líquido for exatamente zero, não faria diferença investir no projeto, levando em consideração a questão financeira (ROSS, WESTERFIELD, JORDAN, 2013).

3.4.5 Taxa interna de retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto *K* que, se aplicada, faz o Valor Presente Líquido do empreendimento se igualar à zero. É a taxa de desconto limite a partir da qual o empreendimento passa a não ser mais viável. (GITMAN, 2004)

$$0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+K)^t} - FC_0 \tag{5}$$

O cálculo da TIR se baseia na Equação 4, mas neste caso a equação resolve a taxa de desconto.

A análise de viabilidade a partir da TIR é feita comparando-se o seu valor com outro valor de referência que pode ser tanto o custo de oportunidade ou a taxa de atratividade (GITMAN, 2004). Quando a TIR é utilizada para tomada de decisão para aceitar ou não o projeto, os critérios adotados são os seguintes:

- Se a TIR for maior que a Taxa mínima de atratividade, o projeto é viável.
- Se a TIR for menor que a Taxa mínima de atratividade, o projeto é inviável.

3.4.6 *Payback* descontado

O *payback* descontado é o período até que a soma dos fluxos de caixa descontados seja igual ao investimento inicial. Este método considera a variação do dinheiro no tempo, o investimento é aceitável se o seu *payback* descontado for menor do que um número predeterminado de anos (ROSS; WESTERFIELD; JORDAN, 2013).

4 Método

O método adotado neste trabalho é composto pelas etapas mostradas abaixo, as quais serão descritas em detalhes nas próximas seções:

1. Coleta de dados;
2. Definição da escala e projeto;
3. Levantamento dos custos e receitas;
4. Análise de viabilidade econômica.

4.1 Coleta de Dados

Os dados foram coletados através de um questionário estruturado, que foi enviado para os proprietários dos engenhos de beneficiamento de arroz do município de Santo Antônio da Patrulha. Este questionário, que pode ser consultado no Apêndice A, teve como objetivo identificar os indicadores do processo e do perfil das empresas.

Para identificar o perfil das empresas foram realizar questões com objetivo de analisar o número de funcionários, o número de filiais e o tempo que as empresas atuam no setor.

Para obter os indicadores do processo, foram feitas perguntas para identificar o volume gerado de casca de arroz, o destino dado para este resíduo. Para a empresa do cenário 1 foi obtido também o valor gasto com energia elétrica e o seu respectivo consumo médio em MWh.

4.2 Definição da escala e projeto

A partir dos dados coletados, foi estimado o volume de casca de arroz médio gerado por um engenho de pequeno porte (Cenário 1) e o volume total médio no município de Santo Antônio da Patrulha (Cenário 2) e, por fim, foi estabelecido a escala do projeto para ambos os cenários.

Para o projeto foi adotado o ciclo de Rankine, conforme apresentado anteriormente na Figura 4. O processo utilizará o vapor de água como fluído de trabalho e avaliará a queima direta da casca de arroz em uma caldeira. O tipo de caldeira utilizada no projeto e modelo de turbina, são definidos para cada cenário, conforme a escala do projeto.

Para obter o potencial de geração de energia, para ambos os cenários, foi utilizado o simulador de processos iiSE – *Industrial Process Simulator* (VRTech) e, para fins de verificação, também foi usada uma planilha em Excel (Microsoft), na qual foram realizados os mesmos cálculos que o simulador de processo realiza. Nesse estudo, foram adotadas as seguintes hipóteses: operação em regime permanente; uso de dados termodinâmicos de equilíbrio líquido-vapor da água; e perdas de calor para o meio foram desconsideradas (MORAN, MICHAEL, J.; HOWARD, N. SHAPIRO; DAISIE, D. BOETTNER, 2000). O equacionamento de cada equipamento que foi utilizado na simulação do processo é apresentado nas próximas seções.

4.2.1 Caldeira

A energia gerada pelo combustível, Q_c [W], depende do poder calorifico inferior da casca de arroz, *PCI* [J/kg], da vazão mássica da casca, $\dot{m}_{casca}$ [kg/s] e da eficiência do equipamento, n [%], conforme Equação (6). Com o valor da energia liberada pela combustão da casca podemos calcular a vazão de vapor gerada, $\dot{m}_{vapor}$ [kg/s], através da Equação (7). Os valores de entalpia de entrada de água saturada, H_2 [J/kg] e entalpia de saída do vapor, H_3 [J/kg], foram obtidos através das pressões e temperaturas de trabalho (VIEIRA, 2011).

$$Q_C = \dot{m}_{casca}(\mathrm{n})(PCI) \tag{6}$$

$$Q_C = \dot{m}_{vapor}(H_3 - H_2) \tag{7}$$

O poder calorífico inferior da casca de arroz que foi utilizado é de 3.384 kcal/kg (COELHO, PALETTA e FREITAS, 2000). A pressão do vapor de saída da caldeira para uma pequena escala foi considerada como sendo 10 bar (Arauterm, 2016). Para escala maiores foi considerado à pressão de 45 bar (LORA e NASCIMENTO, 2004).

4.2.2 Turbina a vapor

Para o cálculo da potência gerada pela turbina, *Pt* [W], foi considerado uma turbina isentrópica. Através da eficiência isentrópica da turbina, n_{tv} [%], foi obtida a entalpia do fluido de trabalho na saída do equipamento, H_4 [J/kg], conforme Equação (8), onde H_{4s} [J/kg] é a entalpia do processo isentrópico. O trabalho real do equipamento, W_t [J/kg], foi calculado

através da Equação (9). Posteriormente foi possível o cálculo da potência, através da Equação (10) (VIEIRA, 2011). A pressão do fluido na saída do equipamento foi adotada como 0,008 MPa (PAZ, 2002).

$$n_{tv} = \frac{(H_3 - H_4)}{(H_3 - H_{4s})} \tag{8}$$

$$W_t = (H_3 - H_4) \tag{9}$$

$$P_t = W_t(\dot{m}_{vapor}) \tag{10}$$

4.2.3 Condensador

A energia retirada do fluido de trabalho, Q_{rfw} [J/kg], foi calculada através da Equação (11). Mas foi necessário primeiramente definir a pressão no condensador. Com a pressão definida foi possível encontrar a temperatura de saturação de saída da água condensada, T_1 [K] e consequentemente a entalpia do fluido de trabalho na saída do equipamento, H_1 [J/kg] (VIEIRA, 2011).

$$Q_{rfw} = (H_4 - H_1) \tag{11}$$

4.2.4 Bomba

Através do rendimento da bomba, n_b [%], fornecido pelos fabricantes deste equipamento, foi obtido o trabalho realizado pela bomba, W_b [J/kg], utilizando a Equação (12). Os valores da pressão na entrada da bomba, P_1 [Pa], pressão na saída da bomba, P_2 [Pa] e volume específico da bomba na entrada, V_1 [m³/kg], são conhecidos (VIEIRA, 2011).

$$W_b = \frac{v\ (P_2 - P_1)}{n_b} \tag{12}$$

$$H_2 = H_1 + W_b \tag{13}$$

4.2.5 Perdas no processo

O projeto foi simulado considerando perdas nos principais equipamentos do ciclo de Rankine, os valores que foram utilizados seguem na Tabela 4.

Tabela 4. Eficiência dos principais equipamentos de uma unidade termoelétrica.

Equipamento	Eficiência (n)	Fonte
Caldeira	84 %	Prasad, 1995
Turbina	85%	Hoffmann, 1999
Gerador	94%	Hoffmann, 1999
Bomba	85%	Hoffmann, 1999

Fonte: Dados compilados pelo autor.

4.3 Receita, custo de instalação e operacional

4.3.1 Receita

As receitas advindas da instalação de uma central termoelétrica provêm de duas fontes distintas de recursos:

- Economia de energia através da autoprodução de eletricidade;
- Comercialização de energia excedente;

A comercialização de energia elétrica é realizada através de leilões realizados pela CCEE, por delegação da Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel com objetivo de regular o mercado. Para cálculo da receita foi considerado o valor do último leilão, no qual foi pago R$ 251,00 para o MWh, através da geração por biomassa ou carvão (ANELL, 2016)

Para o cenário de uma cooperativa de empresas a receita será proporcional ao valor recebido da concessionária pelo fornecimento da energia para rede. Já para o cenário de uma empresa de pequeno porte a receita será o valor economizado com energia elétrica acrescido da receita gerada pela energia encaminhada para a rede.

4.3.2 Custo de instalação e operacional

O custo de instalação adotado para os itens mencionados na seção 3.4.1 são os valores praticados pela empresa PTZ Bioenergy (Mayer, 2009), considerando a metodologia de estimativa de custos por similaridade de escala.

O custo operacional foi calculado através das equações apresentadas na seção 3.4.2. Temos como custo variável o valor que será gasto com o tratamento de água, químicos, água de reposição, utilidade e transporte para a unidade de geração. O custo com logística foi considerado como sendo R$ 10,00/tonelada de casca, este custo é apenas para o cenário da cooperativa (Cenário 2). Neste estudo não foi considerado o custo de matéria prima, visto que é um resíduo, ao qual não é agregado valor.

4.4 Métodos de avaliação de projetos de investimento

No presente trabalho foram utilizados os seguintes métodos para avaliar o projeto: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Tempo de Retorno de Capital Descontado (*payback* descontado).

5 Resultados e discussões

Neste capítulo são apresentados os principais resultados deste trabalho, bem como análise e discussão da viabilidade econômica do aproveitamento energético da casca de arroz no município de Santo Antônio da Patrulha. Informações complementares foram incluídas na seção de Apêndices.

5.1 Coleta de dados

O questionário estruturado utilizado na coleta de dados (Apêndice A) foi enviado para as 9 empresas localizadas em Santo Antônio da Patrulha. Destas, 8 empresas enviaram resposta ao questionário. Os dados coletados foram utilizados para identificar o perfil das empresas, identificadas pelas letras A-H, e indicadores do processo, os quais são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7.

As empresas localizadas no município de Santo Antônio da Patrulha são de pequeno porte e grande parte delas está no mercado a menos de 15 anos, conforme ilustra a Tabela 5.

Tabela 5. Perfil das empresas localizadas no município de Santo Antônio da Patrulha.

Empresa	Número de funcionários	Possui filial	Tempo que a empresa esta no setor
A	39	não	4 anos
B	7	não	6 anos
C	18	não	11 anos
D	7	não	16 anos
E	6	não	9 anos
F	30	sim	34 anos
G	5	não	8 anos
H	60	sim	47 anos

Fonte: Dados compilados pelo autor.

Foram identificados dois destinos para casca de arroz residual do processo: empresas de ração ou para produtores utilizarem na avicultura como cama para frango, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6. Destinos da casca de arroz gerada nos Engenhos do município.

Empresa	Qual o destino dado atualmente para a casca de arroz?	Existe custo para a empresa?
A	Ração ou cama de frango	Sim, transporte interno
B	Ração ou cama de frango	Custo de retirada de R$ 10,00/ton
C	Ração ou cama de frango	não tem custo
D	Cama de frango	não tem custo
E	Cama de frango	não tem custo
F	Caldeira (96% da casca) e 4% cama de frango	não tem custo
G	Cama de frango	não tem custo
H	Cama de frango	não tem custo

Fonte: Dados compilados pelo autor.

O volume mensal e diário da casca de arroz gerado pelos engenhos é diferente para cada empresa, pois o número de dias úteis trabalhados não é igual, conforme segue ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7. Volume de casca de arroz gerada nos engenhos de Arroz de Santo Antônio da Patrulha.

Empresa	Volume mensal (ton)	Volume diário (ton)	Dias trabalhados
A	1.040,00	40,00	26
B	220,00	10,00	22
C	312,00	12,00	26
D	240,00	12,00	20
E	312,00	12,00	26
F	16,00[a]	0,80	20
G	158,40	7,20	22
H	220,00	10,00	22
Total	**2.518,40**	**104,00**	

[a] Excedente de casca. Aproximadamente 96% da casca é utilizada para a geração de calor para o processo.

Fonte: Dados compilados pelo autor.

A partir dos dados da Tabela 7, foi definida a escala de projeto, visando obter o potencial de geração de energia para cada cenário. Como a maior parte das empresas produz até 12 toneladas por dia de casca de arroz, este foi o valor adotado como base para o Cenário 1. Para o Cenário 2, foi utilizado o volume médio total produzido por todas as empresas consultadas na pesquisa. Os cenários são definidos e apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Escalas adotadas para ambos cenários do projeto.

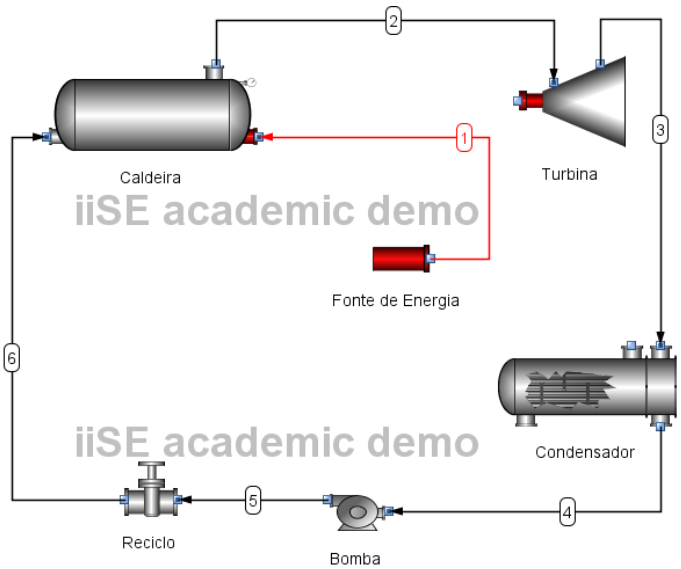
	Cenário 1	**Cenário 2**
Definição do cenário	Engenho de pequeno porte	Cooperativa de empresas
Escala de projeto	12 t/dia 312 t/mês	104 t/dia 2518 t/mês

Fonte: Dados compilados pelo autor.

5.2 Simulação do potencial de geração de energia

No simulador de processos iiSE – *Industrial Process Simulator* (VRTech), foi implementado o ciclo de Rankine, conforme ilustrado na Figura 6. Posteriormente, foi realizado o cálculo do potencial de geração da energia elétrica, através da quantificação da biomassa residual disponível nas indústrias, rendimento elétrico para a escala considerada e regime operacional adotado. Desta forma foi possível estimar a potência instalada teórica para ambos os cenários de projeto. Os volumes de casca de arroz disponíveis para queima são aqueles apresentados na Tabela 8.

Figura 6. Processo implementado no simulador de processos iiSE – *Industrial Process Simulator* (VRTech).



Fonte: O autor.

Para os balanços e cálculos termodinâmicos realizados no simulador foi necessário considerar alguns parâmetros de operação e rendimentos de equipamentos, conforme segue ilustrado na Tabela 9.

Tabela 9. Variáveis inseridas no simulador de processos.

Equipamento/Parâmetros	Cenário 1	Cenário 2
Fonte de Energia (Casca de Arroz)		
Poder calorífico (Kcal/kg)	3860	3860
Eficiência de troca térmica (%)	84	84
Caldeira		
Pressão (bar)	10	45
Temperatura (°C)	179,9	257,5
Turbina		
Pressão de saída (MPa)	0,008	0,008
Eficiência isentrópica (%)	85	85
Condensador		
Temperatura de sub-resfriamento (°C)	0	0
Bomba		
Eficiência isentrópica (%)	85	85
Pressão de saída da bomba (Mpa)	13,782	13,782

Fonte: Dados compilados pelo autor.

Através da simulação do processo foi obtido o potencial de geração da energia dos projetos, conforme segue na Tabela 10. Para o cenário 1, temos o consumo de energia para o processo de 212 kW, conforme dados fornecidos pela empresa C e um excedente direcionado para a rede de 197 kW. No cenário 2, toda a energia gerada é direcionada para rede.

Tabela 10. Resultados simulação do processo.

Cenários/parâmetros	Cenário 1	Cenário 2
Potência líquida gerada pela turbina (kW)	409	4967
Rendimento gerador de energia (%)	94	94
Consumo no processo (kW)	212[a]	0[b]
Potência transferida para rede (kW)	197	4967

[a] Potência média consumida por uma empresa de pequeno porte (Fonte: Empresa C).
[b] A totalidade da energia gerada é transferida para a rede.

Fonte: Dados compilados pelo autor.

5.3 Custo de investimento

A partir da simulação se obteve o potencial de geração de energia de 409 kW para o primeiro cenário. Para obter uma margem de projeto, optou-se pela capacidade nominal de operação da unidade em uma faixa de potência de 500 kW, operando com ociosidade. O custo de investimento foi obtido a partir dos dados da empresa PTZ Bioenergy, para a potência nominal de projeto de 500 kW. Os valores de investimento com equipamentos e demais custos fixos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Custo de investimento Cenário 1.

Potência Nominal (kW)		**500**
Estudos preliminares	R$	24.740,45
Terreno;		
Construção civil	R$	324.500,00
Máquinas e equipamentos:	R$	1.237.022,34
Montagem: recursos para serviços de montagem e instalação dos equipamentos;	R$	166.183,00
Seguros	R$	2.474,04
Transporte dos equipamentos	R$	1.661,83
Total parcial	R$	1.731.841,21
Imprevistos (5%)	R$	86.592,06
Total	**R$**	**1.818.433,27**

Fonte: PTZ Bioenergy – Mayer, 2009.

Para o segundo cenário a simulação fornece uma capacidade de geração de energia de 4967 kW. Para o projeto optou-se pela capacidade nominal de operação de 5000 kW. Por não haver dados disponíveis nessa faixa de potência, adotou-se o critério de similaridade de escala, considerado que o custo cresce de forma linear com a capacidade instalada. Esse tipo de abordagem, conduz a erros de até 30% para mais ou para menos (TURTON, 2009). Os dados de Rabenschlag e Pinto (2013) foram utilizados como referência para a estimativa de custo de investimento e são apresentados juntamente com o custo de investimento para o Cenário 2, na Tabela 12. A incerteza máxima nesse cenário é de 23,5%, visto que, no seu limite inferior, este percentual de incerteza conduz à um custo de investimento equivalente ao da referência adotada, sendo, portanto, o limite inferior considerado para o custo de investimento.

Tabela 12. Custo de investimento para o Cenário 2

Potência	3.825	5000
Custo	R$ 10.500.000,00	R$ 13.725.490,20
Custo [a]	-	R$ 16.950.980,40
Custo [b]	-	R$ 10.500.000,00

[a] Custo considerando a incerteza de 23,5% a mais do valor utilizado.
[b] Custo considerando a incerteza de 23,5% a menos do valor utilizado.

Fonte: RABENSCHLAG E PINTO, 2013.

5.4 Custo operacional

Após a realização do investimento inicial será necessário desembolsar mensalmente um determinado valor para manter a termoelétrica funcionando. Esse valor será chamado de custo operacional e, os valores estimados para os custos fixos e variáveis associados à operação da unidade são apresentados na Tabela 13 para ambos os cenários.

Os custos operacionais fixos, que englobam salários dos operadores, encargos sociais, manutenção do prédio e manutenção dos equipamentos, foram estimados a partir das equações 1-3. Para a operação da unidade estima-se precisar de 3 funcionários por turno para o cenário 1 e 7 funcionários para o cenário 2. Nesse projeto está sendo considerado o salário dos funcionários, com o valor dos encargos incluso, como sendo R$ 3.000,00. O custo variável neste trabalho corresponde ao custo com tratamento de água para a caldeira, o qual foi fornecido pela empresa PTZ Bioenergy, e o custo com transporte da casca de arroz.

Tabela 13. Custo operacional.

Custo fixo	**Cenário 1**		**Cenário 2**	
Custo de mão de obra anual	R$	340.200,00	R$	793.800,00
Custo com manutenção anual	R$	90.921,66	R$	686.274,51
Custo variável				
Custo tratamento de água	R$	14.000,00	R$	131.250,00
Custo transporte de casca	R$	-	R$	249.600,00[a]
TOTAL	**R$**	**445.121,66**	**R$**	**1.860.924,51**

[a] C**usto** de transporte de **R$ 10,00/t de casca** de arroz.

Fonte: Dados compilados pelo autor.

5.5 Receita gerada pelo investimento

A Tabela 14 ilustra as receitas de cada cenário, mostrando os valores que serão oriundos da autoprodução de energia e da comercialização para rede. Para este cálculo está sendo considerado que a unidade de geração termoelétrica opera durante 24h/dia em 20 dias úteis no mês.

Tabela 14. Receita gerada pela comercialização de energia elétrica.

Cenário		**1**		**2**
Potência gerada (kW)		409,64		4967,81
Total de horas trabalhadas no mês		**480**		**480**
Energia total gerada (MWh)		196,63		2384,55
Energia consumida no processo (MWh)		89,07		0
Energia vendida (MWh)		**107,56**		**2384,55**
Valor MWh leilão (2016)	R$	251,00	R$	251,00
Receita energia excedente gerada para rede	R$	26.996,91	R$	598.522,04
Receita economia energia processo	R$	48.000,00[a]	R$	-
Receita anual	**R$**	**899.962,87**	**R$**	**7.182.264,45**

[a] Despesa média de uma empresa de pequeno porte com energia elétrica fornecida pela concessionária local (Fonte: Empresa C).

Fonte: Dados compilados pelo autor.

5.6 Financiamento

As linhas de financiamento ofertadas pelo BNDES são as que melhor se ajustam aos casos em estudo, podendo ser através do FINAME - Máquinas e Equipamentos, para o caso de a empresa adquirir somente equipamentos, do FINEM - Financiamento a Empreendimentos ou do BNDES Automático (BNDES, 2016). No caso do FINEM existe uma área de atuação específica que é a de “Gás, Petróleo e Fontes Renováveis de Energia”, cujo financiamento pode ter um valor máximo de até 80% de participação por parte do BNDES. Neste estudo foi considerado que nos dois cenários será financiado 60% do valor do investimento.

A taxa de juros dessa modalidade é composta pelo custo financeiro (Taxa de Juros de Longo Prazo – TJLP – 7,5% a.a.), remuneração do BNDES (1,0% a.a.) e remuneração da instituição financeira (2% a.a. sendo possível a negociação) totalizando 10,5% a.a. Nessas condições o capital que será necessário desembolsar, sem financiamento, para instalação do projeto será R$ 727.373,31 para o cenário 1 e R$ 5.490.196,08 para o cenário 2. Detalhes

sobre as parcelas dos financiamentos são apresentados para os cenários 1 e 2, respectivamente, nos Apêndices B e C.

5.7 Demonstração dos resultados

Nos Apêndices D e E consta o demonstrativo de resultados do exercício (DRE) dos primeiros 20 anos de funcionamento da unidade de geração termoelétrica para os cenários 1 e 2, respectivamente. Foi considerado que o início da operação ocorre um ano após o investimento inicial.

5.8 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa (FC) cumulativo dos projetos, considerando vinte anos de operação para os dois cenários, são apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Fluxo de caixa cumulativo do Cenário 1.

Ano	Fluxo de caixa	FC descontado	FC cumulativo
0	-R$ 1.818.433,27	-R$ 1.818.433,27	-R$ 1.818.433,27
1	R$ 179.892,22	R$ 167.341,60	-R$ 1.651.091,67
2	R$ 197.766,80	R$ 171.134,06	-R$ 1.479.957,61
3	R$ 204.679,62	R$ 164.759,02	-R$ 1.315.198,59
4	R$ 222.554,19	R$ 166.648,70	-R$ 1.148.549,90
5	R$ 236.774,85	R$ 164.927,57	-R$ 983.622,33
6	R$ 244.477,71	R$ 158.412,15	-R$ 825.210,19
7	R$ 244.477,71	R$ 147.360,13	-R$ 677.850,05
8	R$ 244.477,71	R$ 137.079,20	-R$ 540.770,86
9	R$ 244.477,71	R$ 127.515,53	-R$ 413.255,33
10	R$ 244.477,71	R$ 118.619,10	-R$ 294.636,23
11	R$ 244.477,71	R$ 110.343,35	-R$ 184.292,88
12	R$ 244.477,71	R$ 102.644,97	-R$ 81.647,91
13	**R$ 244.477,71**	**R$ 95.483,70**	**R$ 13.835,79**
14	R$ 244.477,71	R$ 88.822,04	R$ 102.657,83
15	R$ 244.477,71	R$ 82.625,16	R$ 185.282,99
16	R$ 244.477,71	R$ 76.860,61	R$ 262.143,60
17	R$ 244.477,71	R$ 71.498,24	R$ 333.641,84
18	R$ 244.477,71	R$ 66.509,99	R$ 400.151,84
19	R$ 244.477,71	R$ 61.869,76	R$ 462.021,60
20	R$ 244.477,71	R$ 57.553,27	R$ 519.574,87

Fonte: Dados compilados pelo autor.

Tabela 16. Fluxo de caixa cumulativo do Cenário 2.

Ano	Fluxo de caixa	FC descontado	FC cumulativo
0	-R$ 13.725.490,20	-R$ 13.725.490,20	-R$ 13.725.490,20
1	R$ 2.478.502,85	R$ 2.305.584,05	-R$ 11.419.906,15
2	R$ 2.613.419,72	R$ 2.261.477,31	-R$ 9.158.428,83
3	R$ 2.665.597,51	R$ 2.145.700,89	-R$ 7.012.727,94
4	R$ 2.800.514,38	R$ 2.097.026,65	-R$ 4.915.701,29
5	R$ 2.907.851,56	R$ 2.025.489,10	-R$ 2.890.212,18
6	R$ 2.965.992,53	R$ 1.921.849,02	-R$ 968.363,16
7	**R$ 2.965.992,53**	**R$ 1.787.766,53**	**R$ 819.403,37**
8	R$ 2.965.992,53	R$ 1.663.038,64	R$ 2.482.442,01
9	R$ 2.965.992,53	R$ 1.547.012,68	R$ 4.029.454,69
10	R$ 2.965.992,53	R$ 1.439.081,57	R$ 5.468.536,26
11	R$ 2.965.992,53	R$ 1.338.680,53	R$ 6.807.216,79
12	R$ 2.965.992,53	R$ 1.245.284,21	R$ 8.052.501,00
13	R$ 2.965.992,53	R$ 1.158.403,92	R$ 9.210.904,91
14	R$ 2.965.992,53	R$ 1.077.585,04	R$ 10.288.489,95
15	R$ 2.965.992,53	R$ 1.002.404,69	R$ 11.290.894,64
16	R$ 2.965.992,53	R$ 932.469,48	R$ 12.223.364,12
17	R$ 2.965.992,53	R$ 867.413,47	R$ 13.090.777,58
18	R$ 2.965.992,53	R$ 806.896,25	R$ 13.897.673,83
19	R$ 2.965.992,53	R$ 750.601,16	R$ 14.648.274,99
20	R$ 2.965.992,53	R$ 698.233,64	R$ 15.346.508,63

Fonte: Dados compilados pelo autor.

5.9 Análise de viabilidade econômica dos projetos

Para os cálculos de viabilidade econômica foi elaborado um fluxo de caixa de 20 anos de operação do projeto. Considerando que o capital de terceiros tem um custo de 10,5 % ao ano e representa 60% do total investido e o capital próprio é igual a 40%. Seguem ilustrados na tabela 17, os resultados obtidos para cada método adotado para análise econômica.

Tabela 17. Resultados dos métodos utilizados para análise de viabilidade econômica dos projetos.

	Cenário 1	Cenário 2
VPL	R$ 412.226,87	R$ 15.346.508,63
TMA	18%	18%
TIR	10,20%	19,68%
Payback	13 anos e 10 meses	6 anos e 6 meses

Fonte: Dados compilados pelo autor.

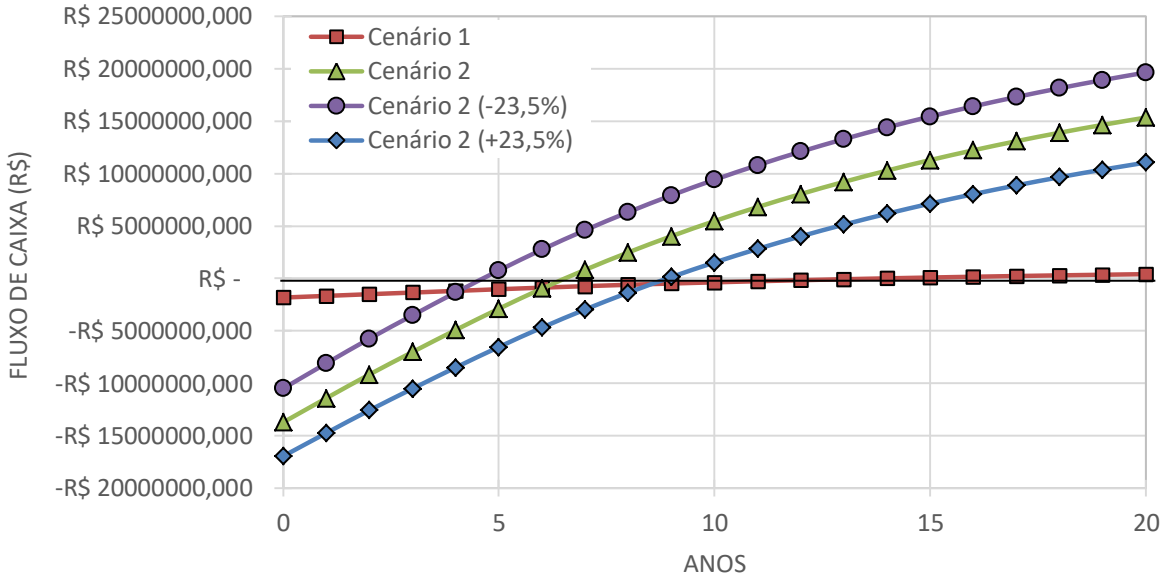
Para o cenário 1 foi obtido um VPL de R$ 412.226,87, o que indica que o empreendimento se mostrou viável no período avaliado, pois traz retorno financeiro. No cenário 2, com as mesmas condições, foi encontrado um VPL de R$ 15.346.508,63, mostrando que o projeto oferece bons ganhos financeiros.

A taxa mínima de atratividade (TMA) adotada na análise Econômica do projeto foi de 18% para os dois cenários (RABENSCHLAG E PINTO, 2013). A partir do cálculo do VPL para o período de 20 anos se obteve uma TIR de 10,20 % ao ano para o cenário 1 e 19,68% para o cenário 2, ou seja, esse indicador mostra que o investimento não é viável para o cenário 1, pois é inferior a TMA. Para o cenário 2 a TIR obtida foi de 19,68% ao ano, portanto o investimento se mostra viável, pois a TMA é menor que a TIR.

Para o cálculo do tempo de retorno de capital descontado foi utilizado os valores obtidos no VPL. Para o cenário 1 o projeto retornou o investimento em 13 anos e 10 meses e para o cenário 2 o projeto se paga em 6 anos e 6 meses. Desta forma o projeto para o cenário 2 se mostrou bastante atrativo devido ao período de retorno. Já o cenário 1 se mostrou viável, no entanto o retorno é em longo prazo.

Ambos os projetos são atrativos após 20 anos (VPL), mas o projeto do Cenário 1 tem um retorno tão pequeno, que o fluxo de caixa cresce a uma taxa muito pequena, o que resulta em um retorno muito baixo. Já o projeto do Cenário 2 tem uma retorno muito rápido, conforme ilustrando na Figura 7. Nessa figura também estão representados os fluxos de caixa para o cenário 2, considerando a incerteza de 23,5% no valor do investimento inicial, conforme dados da Tabela 12. Conforme se pode observar, para o limite inferior de incerteza, ou seja, um investimento de R$ 10.500.000,00, o investimento se paga em pouco menos de 5 anos e possui uma taxa de retorno de 26,9%, o que torna o investimento extremamente atrativo. Já para o limite superior de desvio no investimento inicial, tem-se um retorno mais lento do investimento, o qual ocorre próximo do nono ano. Nesse caso, a taxa de retorno do investimento é de aproximadamente 15%, inferior a TMA estabelecida para esse projeto, o que torna o investimento pouco atrativo por apresentar retorno mais lento do investimento.

Figura 7. Tempo de retorno do capital investido.



Fonte: Dados compilados pelo autor

Os resultados indicam, portanto, que o investimento em uma usina de geração termoelétrica nos moldes de uma cooperativa de empresas é atrativo, com grande potencial de retorno financeiro. Uma análise mais detalhada dos custos fixos e variáveis de processo, bem como das receitas para o projeto é necessária, de modo a obter uma informação mais segura quanto ao retorno do investimento, visto que o desvio aplicado ao valor investido no segundo cenário, torna o investimento pouco atrativo para uma taxa mínima de atratividade de 18%.

6 Considerações finais

O grande volume gerado de casca de arroz no Rio Grande do sul, por si só justifica estudos com objetivo de viabilizar alternativas que fornecem uma destinação correta desta biomassa que possui um grande potencial poluidor se depositada de forma inadequada no meio ambiente.

No atual cenário de Santo Antônio da Patrulha as empresas não agregam valor para a casca de arroz e existem poucas alternativas para a destinação da mesma, desta forma as empresas ficam sujeitas as variações do mercado, que muitas vezes causam impacto financeiro. Sendo assim o presente estudo aborda preliminarmente uma alternativa para este cenário.

Através desse estudo foi possível realizar a viabilidade econômica para o aproveitamento energético da casca de arroz para os dois cenários adotado. Para o engenho de pequeno porte (Cenário 1) o projeto possui viabilidade econômica, através do indicador VPL, visto que foi obtido um valor positivo, no entanto os valores encontrados para a TIR e o *payback* demostrou que o projeto é pouco atrativo, pois a TIR é inferior a TMA e o tempo de retorno de capital é superior a 10 anos. Para a cooperativa regional (Cenário 2) o projeto se mostrou bastante viável, pois o VPL é positivo, a TIR é superior a TMA e o tempo de payback é inferior a 10 anos. O investimento no cenário 2 torna-se pouco atrativo quando considerado um desvio de 23,5% a mais no custo de investimento inicial. Esse resultado mostra a grande dependência que a análise econômica apresenta com relação ao investimento inicial, indicando a necessidade de buscar dados mais acurados para uma análise mais precisa da viabilidade do investimento.

Um dois principais fatores que inviabiliza o projeto para o cenário 1 é que o engenho não utiliza vapor no atual processo produtivo, desta forma o projeto tem um alto custo de investimento, sendo assim sugere-se para trabalhos futuros uma análise da viabilidade de investimentos em engenhos que já utilizam o vapor no beneficiamento de arroz, pois dependendo do projeto da caldeira é possível adaptá-la para a produção de energia elétrica e assim reduzir os custos de investimento.

Sugere-se para trabalhos futuros uma análise mais detalhada da influência das flutuações nos custos de investimento e operacionais sobre a viabilidade do projeto. Uma definição detalhada das utilidades, sistemas de tratamento e reuso de águas de processo,

sistemas de controle de poluição e emissão de particulados também podem ser considerados para maior detalhamento do projeto e análise econômica. Neste mesmo contexto é importante avaliar a influência também do custo com a utilidade do condensador, pois este valor pode impactar na viabilidade de ambos os cenários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica.** 2016.

<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=2&fase=3> Acesso em 05 maio. 2016.

ANELL. **Leilão para contratação de energia elétrica**. 2016.

<http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVlZ6/content/aneel-promove-primeiro-leilao-a-5-de-2016/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVlZ6_viewMode=print&_101_INSTANCE_zXQREz8EVlZ6_languageId=pt_BR> Acesso em 03 novembro. 2016.

ARAUTERM. **Poder Calorifico Inferior**. 2016.

ARAUTERM. **Caldeira de vapor saturado**. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004/2004 - Resíduos sólidos - Classificação. v. 18, n. 2, p. 7–18, 2004.

CAPELETTO, G.J; ZANCHI DE MOURA, G.H. **Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2014: Ano base 2013.** Porto Alegre: Grupo CEEE, 2014.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ag. 2010. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-010/2010/Lei/L12305.htm >. Acesso em 10 maio. 2016.

CAPELETTO, G.J; ZANCHI DE MOURA, G.H. **Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2014: Ano base 2013.** Porto Alegre: Grupo CEEE, 2014.

COELHO, S. T; PALETTA, C. E. M; FREITAS, M. A. V. **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica.** Brasília: Dupligráfica, 2000.

CONAB, 2015. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos **– Sexto Levantamento da safra 2014/15**. Disponível em http://www.conab.gov.b/>. Acesso em 05 maio. 2016.

DIAS, M. V. X.; BOROTNI, E. D. C.; HADDAD, J. Geração distribuída no Brasil : oportunidades e barreiras. **SBPE Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, Revista Brasileira de Energia**, vol. 11, nº 2, v. 11, p. 1–11, 2004.

DAMATTO, W. **A cogeração de energia elétrica a partir da biomassa inserida na matriz energética brasileira.** 2001. 40 f. Trabalho de conclusão (Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório síntese.** Rio de Janeiro, 2015.

FERRO, W. P.; SILVA, L.; WIEBECK, H. Study of the use of rice husk ash as filler in polyamide 6 and polyamide 6.6 matrices. **Polímeros**, v. 17, n. 3, p. 240–243, 2007.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GITMAN, L. **Princípios de administração financeira**. 10. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2004.

GOMES NETO, OCTAVIO DA COSTA. Diretrizes para elaboração de propostas de projetos, Rio de Janeiro, p.41, 2007.

HOFFMANN, R. **Método avaliativo da geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1MW, a partir da gestão dos resíduos de biomassa – o caso da casca de arroz.** 1999. 211 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

LORA, Electo Eduardo Silva et al. Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, v. 2, p. 2, 2004.

LUDWIG, V. S. **A agroindústria processadora de arroz: um estudo das principais características organizacionais e estratégicas das empresas líderes gaúchas**. Tese (Mestrado em Agronegócio) – Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa:** planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MAYER, F. D. **Aproveitamento da casca de arroz em uma micro central termoelétrica – avaliação dos impactos econômicos e ambientais para o setor arrozeiro do Rio Grande do Sul.** 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. DE A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303–313, 2002.

MORAN, MICHAEL, J.; HOWARD, N. SHAPIRO; DAISIE, D. BOETTNER. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. Grupo Gen-LTC, 2000.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta et al. **Eficiência energética no uso de vapor: manual prático**. Eletrobrás, 2005.

OLIVEIRA, C. M; TANNOUS K. **Fluidodinâmica de biomassa em leito fluidizado gasoso.** 5f. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009 Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

OLIVEIRA, D. R. **Manual de gestão das cooperativas: uma abordagem prática**. São Paulo: Atlas, 2001.

PARO, A. C. **Uma metodologia para gestão da eficiência energética de centrais de cogeração a biomassa: aplicação ao bagaço de cana.** 2011. 146 f. Tese (Doutor em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PAZ, A.E.C. **Simulação de sistemas térmicos de potência para geração de energia elétrica.** 2002. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

PRASAD, B. Biomass-fired steam power cogeneration system: a theoretical study. **Energy convers. Mgmt**, London, v.36, n.1, p. 65-77, 1995.

PRETZ, R**. Potencial bioenergético do setor arrozeiro do Rio Grande do Sul: uma abordagem termelétrica.** 2001. 78 f. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande, Porto Alegre, 2001.

ROSS, S. A; WESTERFIELD, R. W; JAFFE, J. F. **Administração Financeira.** 9. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

PINTO, F. A.; RABENSCHLAG, D. R. Viabilidade econômica do uso de casca de arroz para geração de energia. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 9., 2013. Alegrete: ISSN 1984-9354, 2013. p. 17.

TURTON, R. et al. **Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes**. 3. ed. Pearson Education, 2009.

VAN WYLEN, G; SONNTAG, R; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1997.

VIEIRA, Julio Cesar da Silva Freitas. **Avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos do couro do Vale dos Sinos – RS.** 2011. 27 f. Trabalho de conclusão (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

YOJI, C. **Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para a construção rural.** 2008. 181 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Questionário estruturado. 47
APÊNDICE B - Financiamento Cenário 1. 49
APÊNDICE C – Financiamento Cenário 2. 51
APÊNDICE D – DRE Cenário 1. 53
APÊNDICE E – DRE Cenário 2. 54
APÊNDICE F – Fluxo de caixa Cenário 1. 55
APÊNDICE G – Fluxo de caixa Cenário 2. 56

APÊNDICE A - Questionário estruturado.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE

CAMPUS SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA

ENGENHARIA AGROINDUSTRIAL AGROQUÍMICA

CARTA DE APRESENTAÇÃO

O presente questionário tem como objetivo identificar o perfil das empresas de beneficiamento de arroz localizadas na Região de Santo Antônio da Patrulha. Em particular, identificar a quantidade de casca de arroz gerada no processo e sua destinação atual.

Os dados coletados através desse questionário serão utilizados para avaliar a viabilidade econômica do aproveitamento energético da casca de arroz na região de Santo Antônio da Patrulha, através de um estudo de viabilidade econômica da implantação de usina termoelétrica a base de casca de arroz. Esta análise será realizada para dois cenários: Cooperativa de empresas ou engenho de pequeno porte.

Através da quantidade gerada de casca de arroz de cada engenho da região de Santo Antônio da Patrulha será possível realizar uma avaliação preliminar de implantação de uma termoelétrica a base de casca de arroz na região.

Este é um Projeto de conclusão de curso que será apresentado à Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos necessários à graduação em Engenharia Agroindustrial Agroquímica.

Para responder este questionário não é necessário identificar-se. Os dados informados neste questionário não serão divulgados.

Após o término da avaliação deste projeto, os resultados serão repassados para empresas.

Agradeço pela sua colaboração.

Gabriel Silveira de Campos
Graduando Engenharia Agroindustrial Agroquímica
Universidade Federal do Rio Grande

QUESTIONÁRIO

Nome da Empresa (Opcional):

Nome do entrevistado (Opcional):

Cargo do entrevistado:

Identificação do perfil da empresa

1) Quantidade de funcionários (incluindo todos os setores)
2) Possui filial?
3) A quantos anos está no setor de beneficiamento de arroz?

Indicadores do processo

4) Qual a quantidade gerada de casca de arroz diariamente/mensalmente?
5) Qual o destino dado atualmente para a casca de arroz?
6) Existe algum custo para a empresa?

APÊNDICE B - Financiamento Cenário 1.

Mês	Principal	Juros	Amortização	Prestação
1	R$ 1.091.059,96	R$ 9.115,81	**R$ 18.184,33**	R$ 27.300,14
2	R$ 1.072.875,63	R$ 8.963,88	**R$ 18.184,33**	R$ 27.148,21
3	R$ 1.054.691,30	R$ 8.811,95	**R$ 18.184,33**	R$ 26.996,28
4	R$ 1.036.506,96	R$ 8.660,02	**R$ 18.184,33**	R$ 26.844,35
5	R$ 1.018.322,63	R$ 8.508,09	**R$ 18.184,33**	R$ 26.692,42
6	R$ 1.000.138,30	R$ 8.356,16	**R$ 18.184,33**	R$ 26.540,49
7	R$ 981.953,97	R$ 8.204,23	**R$ 18.184,33**	R$ 26.388,56
8	R$ 963.769,63	R$ 8.052,30	**R$ 18.184,33**	R$ 26.236,63
9	R$ 945.585,30	R$ 7.900,37	**R$ 18.184,33**	R$ 26.084,70
10	R$ 927.400,97	R$ 7.748,44	**R$ 18.184,33**	R$ 25.932,77
11	R$ 909.216,64	R$ 7.596,50	**R$ 18.184,33**	R$ 25.780,84
12	R$ 891.032,30	R$ 7.444,57	**R$ 18.184,33**	R$ 25.628,91
13	R$ 872.847,97	R$ 7.292,64	**R$ 18.184,33**	R$ 25.476,98
14	R$ 854.663,64	R$ 7.140,71	**R$ 18.184,33**	R$ 25.325,05
15	R$ 836.479,30	R$ 6.988,78	**R$ 18.184,33**	R$ 25.173,12
16	R$ 818.294,97	R$ 6.836,85	**R$ 18.184,33**	R$ 25.021,19
17	R$ 800.110,64	R$ 6.684,92	**R$ 18.184,33**	R$ 24.869,26
18	R$ 781.926,31	R$ 6.532,99	**R$ 18.184,33**	R$ 24.717,33
19	R$ 763.741,97	R$ 6.381,06	**R$ 18.184,33**	R$ 24.565,40
20	R$ 745.557,64	R$ 6.229,13	**R$ 18.184,33**	R$ 24.413,47
21	R$ 727.373,31	R$ 6.077,20	**R$ 18.184,33**	R$ 24.261,54
22	R$ 709.188,98	R$ 5.925,27	**R$ 18.184,33**	R$ 24.109,61
23	R$ 691.004,64	R$ 5.773,34	**R$ 18.184,33**	R$ 23.957,68
24	R$ 672.820,31	R$ 5.621,41	**R$ 18.184,33**	R$ 23.805,75
25	R$ 654.635,98	R$ 5.469,48	**R$ 18.184,33**	R$ 23.653,82
26	R$ 636.451,64	R$ 5.317,55	**R$ 18.184,33**	R$ 23.501,89
27	R$ 618.267,31	R$ 5.165,62	**R$ 18.184,33**	R$ 23.349,96
28	R$ 600.082,98	R$ 5.013,69	**R$ 18.184,33**	R$ 23.198,03
29	R$ 581.898,65	R$ 4.861,76	**R$ 18.184,33**	R$ 23.046,10
30	R$ 563.714,31	R$ 4.709,83	**R$ 18.184,33**	R$ 22.894,17
31	R$ 545.529,98	R$ 4.557,90	**R$ 18.184,33**	R$ 22.742,24
32	R$ 527.345,65	R$ 4.405,97	**R$ 18.184,33**	R$ 22.590,31
33	R$ 509.161,32	R$ 4.254,04	**R$ 18.184,33**	R$ 22.438,38
34	R$ 490.976,98	R$ 4.102,11	**R$ 18.184,33**	R$ 22.286,45
35	R$ 472.792,65	R$ 3.950,18	**R$ 18.184,33**	R$ 22.134,52
36	R$ 454.608,32	R$ 3.798,25	**R$ 18.184,33**	R$ 21.982,59
37	R$ 436.423,98	R$ 3.646,32	**R$ 18.184,33**	R$ 21.830,66
38	R$ 418.239,65	R$ 3.494,39	**R$ 18.184,33**	R$ 21.678,72

39	R$	400.055,32	R$	3.342,46	**R$**	**18.184,33**	R$ 21.526,79
40	R$	381.870,99	R$	3.190,53	**R$**	**18.184,33**	R$ 21.374,86
41	R$	363.686,65	R$	3.038,60	**R$**	**18.184,33**	R$ 21.222,93
42	R$	345.502,32	R$	2.886,67	**R$**	**18.184,33**	R$ 21.071,00
43	R$	327.317,99	R$	2.734,74	**R$**	**18.184,33**	R$ 20.919,07
44	R$	309.133,66	R$	2.582,81	**R$**	**18.184,33**	R$ 20.767,14
45	R$	290.949,32	R$	2.430,88	**R$**	**18.184,33**	R$ 20.615,21
46	R$	272.764,99	R$	2.278,95	**R$**	**18.184,33**	R$ 20.463,28
47	R$	254.580,66	R$	2.127,02	**R$**	**18.184,33**	R$ 20.311,35
48	R$	236.396,33	R$	1.975,09	**R$**	**18.184,33**	R$ 20.159,42
49	R$	218.211,99	R$	1.823,16	**R$**	**18.184,33**	R$ 20.007,49
50	R$	200.027,66	R$	1.671,23	**R$**	**18.184,33**	R$ 19.855,56
51	R$	181.843,33	R$	1.519,30	**R$**	**18.184,33**	R$ 19.703,63
52	R$	163.658,99	R$	1.367,37	**R$**	**18.184,33**	R$ 19.551,70
53	R$	145.474,66	R$	1.215,44	**R$**	**18.184,33**	R$ 19.399,77
54	R$	127.290,33	R$	1.063,51	**R$**	**18.184,33**	R$ 19.247,84
55	R$	109.106,00	R$	911,58	**R$**	**18.184,33**	R$ 19.095,91
56	R$	90.921,66	R$	759,65	**R$**	**18.184,33**	R$ 18.943,98
57	R$	72.737,33	R$	607,72	**R$**	**18.184,33**	R$ 18.792,05
58	R$	54.553,00	R$	455,79	**R$**	**18.184,33**	R$ 18.640,12
59	R$	36.368,67	R$	303,86	**R$**	**18.184,33**	R$ 18.488,19
60	R$	18.184,33	R$	151,93	**R$**	**18.184,33**	R$ 18.336,26

APÊNDICE C – Financiamento Cenário 2.

Mês	Principal	Juros	Amortização	Prestação
1	R$ 8.235.294,12	R$ 68.805,88	**R$ 137.254,90**	R$ 206.060,78
2	R$ 8.098.039,22	R$ 67.659,12	**R$ 137.254,90**	R$ 204.914,02
3	R$ 7.960.784,31	R$ 66.512,35	**R$ 137.254,90**	R$ 203.767,25
4	R$ 7.823.529,41	R$ 65.365,59	**R$ 137.254,90**	R$ 202.620,49
5	R$ 7.686.274,51	R$ 64.218,82	**R$ 137.254,90**	R$ 201.473,73
6	R$ 7.549.019,61	R$ 63.072,06	**R$ 137.254,90**	R$ 200.326,96
7	R$ 7.411.764,71	R$ 61.925,29	**R$ 137.254,90**	R$ 199.180,20
8	R$ 7.274.509,80	R$ 60.778,53	**R$ 137.254,90**	R$ 198.033,43
9	R$ 7.137.254,90	R$ 59.631,76	**R$ 137.254,90**	R$ 196.886,67
10	R$ 7.000.000,00	R$ 58.485,00	**R$ 137.254,90**	R$ 195.739,90
11	R$ 6.862.745,10	R$ 57.338,24	**R$ 137.254,90**	R$ 194.593,14
12	R$ 6.725.490,20	R$ 56.191,47	**R$ 137.254,90**	R$ 193.446,37
13	R$ 6.588.235,29	R$ 55.044,71	**R$ 137.254,90**	R$ 192.299,61
14	R$ 6.450.980,39	R$ 53.897,94	**R$ 137.254,90**	R$ 191.152,84
15	R$ 6.313.725,49	R$ 52.751,18	**R$ 137.254,90**	R$ 190.006,08
16	R$ 6.176.470,59	R$ 51.604,41	**R$ 137.254,90**	R$ 188.859,31
17	R$ 6.039.215,69	R$ 50.457,65	**R$ 137.254,90**	R$ 187.712,55
18	R$ 5.901.960,78	R$ 49.310,88	**R$ 137.254,90**	R$ 186.565,78
19	R$ 5.764.705,88	R$ 48.164,12	**R$ 137.254,90**	R$ 185.419,02
20	R$ 5.627.450,98	R$ 47.017,35	**R$ 137.254,90**	R$ 184.272,25
21	R$ 5.490.196,08	R$ 45.870,59	**R$ 137.254,90**	R$ 183.125,49
22	R$ 5.352.941,18	R$ 44.723,82	**R$ 137.254,90**	R$ 181.978,73
23	R$ 5.215.686,27	R$ 43.577,06	**R$ 137.254,90**	R$ 180.831,96
24	R$ 5.078.431,37	R$ 42.430,29	**R$ 137.254,90**	R$ 179.685,20
25	R$ 4.941.176,47	R$ 41.283,53	**R$ 137.254,90**	R$ 178.538,43
26	R$ 4.803.921,57	R$ 40.136,76	**R$ 137.254,90**	R$ 177.391,67
27	R$ 4.666.666,67	R$ 38.990,00	**R$ 137.254,90**	R$ 176.244,90
28	R$ 4.529.411,76	R$ 37.843,24	**R$ 137.254,90**	R$ 175.098,14
29	R$ 4.392.156,86	R$ 36.696,47	**R$ 137.254,90**	R$ 173.951,37
30	R$ 4.254.901,96	R$ 35.549,71	**R$ 137.254,90**	R$ 172.804,61
31	R$ 4.117.647,06	R$ 34.402,94	**R$ 137.254,90**	R$ 171.657,84
32	R$ 3.980.392,16	R$ 33.256,18	**R$ 137.254,90**	R$ 170.511,08
33	R$ 3.843.137,25	R$ 32.109,41	**R$ 137.254,90**	R$ 169.364,31
34	R$ 3.705.882,35	R$ 30.962,65	**R$ 137.254,90**	R$ 168.217,55
35	R$ 3.568.627,45	R$ 29.815,88	**R$ 137.254,90**	R$ 167.070,78
36	R$ 3.431.372,55	R$ 28.669,12	**R$ 137.254,90**	R$ 165.924,02
37	R$ 3.294.117,65	R$ 27.522,35	**R$ 137.254,90**	R$ 164.777,25
38	R$ 3.156.862,75	R$ 26.375,59	**R$ 137.254,90**	R$ 163.630,49
39	R$ 3.019.607,84	R$ 25.228,82	**R$ 137.254,90**	R$ 162.483,73

40	R$	2.882.352,94	R$	24.082,06	**R$**	**137.254,90**	R$ 161.336,96
41	R$	2.745.098,04	R$	22.935,29	**R$**	**137.254,90**	R$ 160.190,20
42	R$	2.607.843,14	R$	21.788,53	**R$**	**137.254,90**	R$ 159.043,43
43	R$	2.470.588,24	R$	20.641,76	**R$**	**137.254,90**	R$ 157.896,67
44	R$	2.333.333,33	R$	19.495,00	**R$**	**137.254,90**	R$ 156.749,90
45	R$	2.196.078,43	R$	18.348,24	**R$**	**137.254,90**	R$ 155.603,14
46	R$	2.058.823,53	R$	17.201,47	**R$**	**137.254,90**	R$ 154.456,37
47	R$	1.921.568,63	R$	16.054,71	**R$**	**137.254,90**	R$ 153.309,61
48	R$	1.784.313,73	R$	14.907,94	**R$**	**137.254,90**	R$ 152.162,84
49	R$	1.647.058,82	R$	13.761,18	**R$**	**137.254,90**	R$ 151.016,08
50	R$	1.509.803,92	R$	12.614,41	**R$**	**137.254,90**	R$ 149.869,31
51	R$	1.372.549,02	R$	11.467,65	**R$**	**137.254,90**	R$ 148.722,55
52	R$	1.235.294,12	R$	10.320,88	**R$**	**137.254,90**	R$ 147.575,78
53	R$	1.098.039,22	R$	9.174,12	**R$**	**137.254,90**	R$ 146.429,02
54	R$	960.784,31	R$	8.027,35	**R$**	**137.254,90**	R$ 145.282,25
55	R$	823.529,41	R$	6.880,59	**R$**	**137.254,90**	R$ 144.135,49
56	R$	686.274,51	R$	5.733,82	**R$**	**137.254,90**	R$ 142.988,73
57	R$	549.019,61	R$	4.587,06	**R$**	**137.254,90**	R$ 141.841,96
58	R$	411.764,71	R$	3.440,29	**R$**	**137.254,90**	R$ 140.695,20
59	R$	274.509,80	R$	2.293,53	**R$**	**137.254,90**	R$ 139.548,43
60	R$	137.254,90	R$	1.146,76	**R$**	**137.254,90**	R$ 138.401,67

APÊNDICE D – DRE Cenário 1.

Ano	1	2	3	4	5	6 ao 19	20
Receita Bruta	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**
Energia elétrica gerada	899.962,87	899.962,87	899.962,87	899.962,87	899.962,87	899.962,87	899.962,87
(-) Custo direto	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**
Mão de obra	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00
Manutenção	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66
(-) Custo indireto	**104.921,66**	**104.921,66**	**104.921,66**	**104.921,66**	**104.921,66**	**104.921,66**	**104.921,66**
Tratamento de água	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00
Depreciação	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66
(=) Lucro bruto	**380.119,55**	**380.119,55**	**380.119,55**	**380.119,55**	**380.119,55**	**380.119,55**	**380.119,55**
(-) Despesas operacionais	**103.362,29**	**75.862,94**	**65.227,83**	**37.728,48**	**15.850,55**	**4.000,00**	**4.000,00**
Despesas administrativas	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Despesas financeiras	99.362,29	71.862,94	61.227,83	33.728,48	11.850,55	0,00	0,00
Juros	99.362,29	71.862,94	61.227,83	33.728,48	11.850,55	0,00	0,00
(=) Lucro líquido antes do IR	**276.757,26**	**304.256,61**	**314.891,72**	**342.391,06**	**364.269,00**	**376.119,55**	**376.119,55**
(-) Imposto de renda	96.865,04	106.489,81	110.212,10	119.836,87	127.494,15	131.641,84	131.641,84
(=) Lucro líquido após o IR	**179.892,22**	**197.766,80**	**204.679,62**	**222.554,19**	**236.774,85**	**244.477,71**	**244.477,71**

APÊNDICE E – DRE Cenário 2.

Ano	1	2	3	4	5	6 ao 19	20
Receita Bruta	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**
Energia elétrica gerada	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45
(-) Custo direto	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**
Mão de obra	793.800,00	793.800,00	793.800,00	793.800,00	793.800,00	793.800,00	793.800,00
Manutenção	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51
(-) Custo indireto	**1.067.124,51**	**1.067.124,51**	**1.067.124,51**	**1.067.124,51**	**1.067.124,51**	**1.067.124,51**	**1.067.124,51**
Tratamento de água	131.250,00	131.250,00	131.250,00	131.250,00	131.250,00	131.250,00	131.250,00
Logistica	249.600,00	249.600,00	249.600,00	249.600,00	249.600,00	249.600,00	249.600,00
Depreciação	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51
(=) Lucro bruto	**4.635.065,43**	**4.635.065,43**	**4.635.065,43**	**4.635.065,43**	**4.635.065,43**	**4.635.065,43**	**4.635.065,43**
(-) Despesas operacionais	**821.984,12**	**614.419,71**	**534.146,18**	**326.581,76**	**161.447,65**	**72.000,00**	**72.000,00**
Despesas administrativas	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00
Despesas financeiras	749.984,12	542.419,71	462.146,18	254.581,76	89.447,65	0,00	0,00
Juros	749.984,12	542.419,71	462.146,18	254.581,76	89.447,65	0,00	0,00
(=) Lucro líquido antes do IR	**3.813.081,31**	**4.020.645,72**	**4.100.919,25**	**4.308.483,66**	**4.473.617,78**	**4.563.065,43**	**4.563.065,43**
(-) Imposto de renda	1.334.578,46	1.407.226,00	1.435.321,74	1.507.969,28	1.565.766,22	1.597.072,90	1.597.072,90
(=) Lucro líquido após o IR	**2.478.502,85**	**2.613.419,72**	**2.665.597,51**	**2.800.514,38**	**2.907.851,56**	**2.965.992,53**	**2.965.992,53**

APÊNDICE F – Fluxo de caixa Cenário 1.

Ano	1	2	3	4	5	6 ao 19	20
Receita (R$)	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**	**899.962,87**
Energia gerada	899.962,87	899.962,87	899.962,87	899.962,87	899.962,87	899.962,87	899.962,87
Custos Variáveis (R$)	**14.000,00**	**14.000,00**	**14.000,00**	**14.000,00**	**14.000,00**	**14.000,00**	**14.000,00**
Tratamento de água	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00
Custos fixos (R$)	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**	**414.921,66**
Mão de obra	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00	324.000,00
Manutenção	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66	90.921,66
Custo Total (R$)	**428921,66**	**428921,66**	**428921,66**	**428921,66**	**428921,66**	**428921,664**	**428921,66**
Despesas (R$)	**4.000,00**	**4.000,00**	**4.000,00**	**4.000,00**	**4.000,00**	**4.000,00**	**4.000,00**
Despesas Administrativas	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00	4.000,00
Saldo de caixa (R$)	**467.041,21**	**467.041,21**	**467.041,21**	**467.041,21**	**467.041,21**	**467.041,21**	**467.041,21**

APÊNDICE G – Fluxo de caixa Cenário 2.

Ano	1	2	3	4	5	6 ao 19	20
Receita (R$)	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**	**7.182.264,45**
Energia gerada	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45	7.182.264,45
Custos Variáveis (R$)	**380.850,00**	**380.850,00**	**380.850,00**	**380.850,00**	**380.850,00**	**380.850,00**	**380.850,00**
Tratamento de água	131.250,00	131.250,00	131.250,00	131.250,00	131.250,00	131.250,00	131.250,00
Logistica	249.600,00	249.600,00	249.600,00	249.600,00	249.600,00	249.600,00	249.600,00
Custos fixos (R$)	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**	**1.480.074,51**
Mão de obra	793.800,00	793.800,00	793.800,00	793.800,00	793.800,00	793.800,00	793.800,00
Manutenção	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51	686.274,51
Custo Total (R$)	**1.860.924,51**	**1.860.924,51**	**1.860.924,51**	**1.860.924,51**	**1.860.924,51**	**1.860.924,51**	**1.860.924,51**
Despesas (R$)	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00
Despesas Administrativas (R$)	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00	72.000,00
Saldo de caixa	**5.249.339,94**	**5.249.339,94**	**5.249.339,94**	**5.249.339,94**	**5.249.339,94**	**5.249.339,94**	**5.249.339,94**