

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA GOIANO. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE

ESTUDO DE CASO DE ESTRATÉGIAS VISANDO O  
AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIAS  
DE BENEFICIAMENTO DE GRÃOS NO SUDOESTE GOIANO

Autor: Cristian Paiva Braganholo  
Orientador: Dr. Geraldo de Oliveira Andrade

RIO VERDE - GO  
Abril - 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
APLICADA E SUSTENTABILIDADE

ESTUDO DE CASO DE ESTRATÉGIAS VISANDO O  
AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIAS  
DE BENEFICIAMENTO DE GRÃOS NO SUDOESTE GOIANO

Autor: Cristian Paiva Braganholo  
Orientador: Dr. Geraldo Andrade de Oliveira

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

RIO VERDE - GO  
Abril – 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

B813e Braganholo, Cristian Paiva  
ESTUDO DE CASO DE ESTRATÉGIAS VISANDO O AUMENTO DE  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIAS DE BENEFICIAMENTO  
DE GRÃOS NO SUDOESTE GOIANO / Cristian Paiva  
Braganholo; orientador Geraldo Andrade Oliveira; co-  
orientador João Areis Ferreira Barbosa Júnior. --  
Rio Verde, 2020.  
112 p.

Dissertação ( em Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) -- Instituto  
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Demanda contratada. 2. Economia. 3.  
Beneficiamento. 4. Energia elétrica. I. Oliveira,  
Geraldo Andrade, orient. II. Barbosa Júnior, João  
Areis Ferreira, co-orient. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E  
SUSTENTABILIDADE

ESTUDO DE CASO DE ESTRATÉGIAS VISANDO O AUMENTO  
DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIAS DE  
BENEFICIAMENTO DE GRÃOS DE GRANDE E MÉDIO PORTE  
NO SUDOESTE GOIANO

Autor: Cristian Paiva Braganholo  
Orientador: Geraldo Andrade de Oliveira

*TITULAÇÃO:* Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade –  
Área de concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

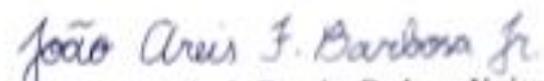
APROVADA em 30 de abril de 2020.



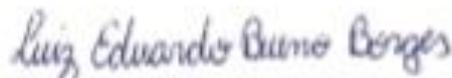
Prof. Dr. Rubiara Cavalcante Fernandes  
*Avaliador externo*  
Instituto Federal de Santa Catarina



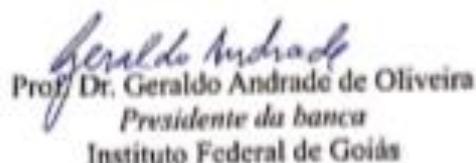
Dr.<sup>a</sup> Apolyana Lorryne Souza  
*Avaliadora externa*  
Caraiba Sementes



Prof. Dr. João Areis Ferreira Barbosa Júnior  
*Avaliador interno*  
IF Goiano - Campus Rio Verde



Me. Luiz Eduardo Bueno Borges  
*Avaliador externo*  
Sementes Goiás



Prof. Dr. Geraldo Andrade de Oliveira  
*Presidente da banca*  
Instituto Federal de Goiás



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

x  
Goiás

Repositório Institucional do IF Goiás - RIIF

Sistema Integrado de Bibliotecas

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIÁS**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiás (RIIF Goiás), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiás.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |                                                                      |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese                                        | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |                                                         |

Nome Completo do Autor: Cristian Paiva Brazanholo

Matrícula: 2018102331440020

Título do Trabalho: ESTUDO DE CASO DE ESTRATÉGIAS PARA VISANDO O AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIAS DE BENEFICIAMENTO DE GRÃOS NO SUDOESTE GOIANO.

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiás: 13/02/2020

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais não de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiás.

Cristian Paiva  
Local

30/06/20  
Data

Cristian Paiva Brazanholo  
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Gerardo Amadori  
Assinatura do(a) orientador(a)

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu a vida, a coragem e a força necessária para enfrentar todos os desafios durante o curso. À minha mãe, Silvânia Lemes de Paiva e irmão, João Paulo Lemes Ribeiro que são o meu sustentáculo, sempre me apoiando com todo o amor nas minhas escolhas, ajudando sempre nas mais simples atitudes, que representam muito.

Ao meu orientador Dr. Geraldo Andrade de Oliveira, por oferecer suas contribuições, tempo e conhecimento na orientação para a realização deste trabalho e para o aproveitamento das disciplinas ministradas no programa, sempre apoiando, motivando e acreditando no meu potencial. E também ao meu coorientador e coordenador do programa de pós-graduação João Areis Ferreira Barbosa Júnior, por todo esforço e apoio durante o curso, e por sempre confiar no meu potencial desde o momento do meu ingresso neste mestrado.

A todos amigos e irmãos de fé e caminhada na igreja que sempre estiveram rezando por mim, em especial à Rafael Candido Campos que me apoiou. Aos colegas de mestrado pela vivência em sala de aula e momentos de partilha de conhecimentos e experiência. Em especial, àqueles que estiveram mais próximos e contribuíram diretamente com o desenvolvimento do trabalho: Eng. Cleymisson Trindade e Eng. Ederson Afonso.

As duas empresas, Sementes Goiás e Sementes Caraíba que forneceram os seus ambientes industriais para que as análises deste trabalho fossem realizadas, em especial ao Msc. Luiz Eduardo Bueno, funcionário que nos recebeu abertamente na Sementes Goiás e a Dra. Apolyana que abriu as portas da Caraíba Sementes para a realização deste trabalho.

Ao Instituto Federal Goiano que proporcionou através de sua estrutura de laboratórios e servidores a aquisição de tanto conhecimento, fazendo uma menção especial a todos os professores do Programa Engenharia Aplicada e sustentabilidade. E também ao SENAI, que durante esses dois anos apoiou com a empregabilidade e sua estrutura.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), por tornar possível a existência do Programa de pós-graduação em engenharia aplicada e sustentabilidade juntamente com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG).

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Cristian Paiva Braganholo, filho de Silvânia Lemes de Paiva e Luismar Braganholo, nascido dia 16/06/1993 na cidade de Rio Verde – GO. Concluiu o ensino médio no Colégio João Veloso do Carmo em dezembro de 2010, na cidade de Rio Verde, e durante o período de estudo no ensino médio concluiu os cursos profissionalizantes em Eletricista de sistema eletroeletrônicos e Mecânico de manutenção de veículos Álcool/Gasolina na Unidade integrada SESI-SENAI Fernando Bezerra – Rio Verde Goiás. Engenheiro Mecânico pela Universidade de Rio Verde em 2017. Em março de 2018, ingressou no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, nível de mestrado profissional, na linha de pesquisa Eficiência Energética e Sustentabilidade, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde – GO. Em abril de 2020, defendeu sua dissertação, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, sob a orientação do Dr. Geraldo de Oliveira Andrade

## ÍNDICE

|                                                                            | Página |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|
| ÍNDICE DE FIGURAS                                                          | viii   |
| ÍNDICE DE TABELAS                                                          | x      |
| LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES                          | xii    |
| RESUMO                                                                     | xvii   |
| ABSTRACT                                                                   | xix    |
| 1. INTRODUÇÃO                                                              | 22     |
| 1.1 Contextualização                                                       | 22     |
| 1.2 Revisão Bibliográfica                                                  | 25     |
| 1.2.1 Sinal horário                                                        | 27     |
| 1.2.2 Modalidades tarifárias.                                              | 27     |
| 1.2.3 Estudo de demanda ótima (Projeto MACDE)                              | 29     |
| 1.2.3.1 Projeto MACDE                                                      | 29     |
| 1.2.4 Gerador Motor Gerador (GMG)                                          | 31     |
| 1.2.4.1 Regime de uso do gerador                                           | 32     |
| 1.2.5 Energia solar                                                        | 33     |
| 1.2.5.1 Obtenção de Energia Elétrica através do Potencial Solar Brasileiro | 34     |
| 1.2.5.2 Sistema fotovoltaico off grid                                      | 35     |
| 1.2.6 Ferramentas de Análise Econômica                                     | 36     |
| 1.2.6.1 Valor Presente Líquido (VPL)                                       | 36     |
| 1.2.6.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)                                  | 37     |
| 1.2.6.3 Payback                                                            | 37     |
| 1.2.6.4 Custo da Energia                                                   | 38     |
| 1.2.7 Iluminação                                                           | 38     |

|         |                                                                                                                      |    |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.8   | Climatização                                                                                                         | 40 |
| 1.3     | Referências Bibliográficas                                                                                           | 43 |
| 2.      | OBJETIVOS                                                                                                            | 48 |
| 2.1     | Geral                                                                                                                | 48 |
| 2.2     | Específicos                                                                                                          | 48 |
| 3.      | CAPÍTULO I:                                                                                                          | 49 |
|         | ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICO DE GERAÇÃO AUTÔNOMA<br>SOLAR VERSUS MOTOR GERADOR DIESEL NO HORÁRIO DE PONTA | 49 |
| 3.1     | Introdução                                                                                                           | 50 |
| 3.2     | Materiais e Métodos                                                                                                  | 53 |
| 3.2.1   | Sistema Fotovoltaico Autônomo                                                                                        | 54 |
| 3.2.1.1 | Método de cálculo                                                                                                    | 56 |
| 3.2.1.2 | Energia real diária                                                                                                  | 57 |
| 3.2.1.3 | Dimensionamento de banco de baterias                                                                                 | 57 |
| 3.2.1.4 | Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos                                                                            | 59 |
| 3.2.2   | Grupo motor-gerador                                                                                                  | 60 |
| 3.3     | Discussão de resultados                                                                                              | 60 |
| 3.3.1   | Demanda ótima                                                                                                        | 60 |
| 3.3.2   | Sistema Fotovoltaico Autônomo                                                                                        | 62 |
| 3.3.2.1 | Banco de baterias                                                                                                    | 66 |
| 3.3.2.2 | Módulos fotovoltaicos                                                                                                | 68 |
| 3.3.2.3 | Controlador de carga                                                                                                 | 69 |
| 3.3.3   | Dimensionamento do Grupo motor gerador                                                                               | 70 |
| 3.3.3.1 | Custo de aquisição e instalação do gerador                                                                           | 70 |
| 3.3.3.2 | Custo com combustível                                                                                                | 71 |
| 3.3.3.3 | Custo com manutenção                                                                                                 | 72 |
| 3.3.3.4 | Vida útil.                                                                                                           | 72 |
| 3.3.4   | Análise de Custos                                                                                                    | 73 |
| 3.3.4.1 | Custo estimado do sistema fotovoltaico autônomo                                                                      | 73 |
| 3.3.4.2 | Custo com o grupo motor gerador                                                                                      | 76 |
| 3.3.4.3 | Comparação de viabilidade de investimentos                                                                           | 77 |
| 3.3.4.4 | Viabilidade do GMG para a Sementes Goiás                                                                             | 78 |
| 3.3.4.5 | Viabilidade GMG para a Caraíba Sementes                                                                              | 78 |
| 3.3.4.6 | Viabilidade Sistema off-grid para ambas as indústrias                                                                | 79 |
| 3.3.4.7 | Comparação entre SFA e GMG                                                                                           | 80 |

|         |                                                                                                                                           |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4     | Conclusão                                                                                                                                 | 81  |
| 3.5     | Referências                                                                                                                               | 82  |
| 4       | Capítulo II: ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA EM EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES ADMINISTRATIVOS DE UMA SEMENTEIRA | 85  |
| 4.1     | Introdução                                                                                                                                | 86  |
| 4.2     | Metodologia                                                                                                                               | 88  |
| 4.2.1   | Iluminação                                                                                                                                | 88  |
| 4.2.2   | Climatização                                                                                                                              | 91  |
| 4.3     | Resultados e discussão                                                                                                                    | 91  |
| 4.3.1   | Iluminação                                                                                                                                | 92  |
| 4.4.2.1 | Payback simples para a iluminação                                                                                                         | 97  |
| 4.4.2   | Climatização                                                                                                                              | 98  |
| 4.4.2.2 | Payback simples para a climatização                                                                                                       | 102 |
| 4.5     | Conclusão                                                                                                                                 | 102 |
| 4.6     | Referências Bibliográfica                                                                                                                 | 103 |
| 5       | CONCLUSÃO GERAL                                                                                                                           | 106 |
| 6       | APÊNDICE A                                                                                                                                | 108 |
|         | APÊNDICE B                                                                                                                                | 110 |
|         | APÊNDICE C                                                                                                                                | 112 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                             | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1. Imagem de satélite Sementes Goiás.....                                                                            | 24     |
| Figura 2. Sementes Caraíba.....                                                                                             | 25     |
| Figura 3. Grupos tarifários.....                                                                                            | 27     |
| Figura 4. Grupos tarifários.....                                                                                            | 27     |
| Figura 5. Subgrupos Tarifários do Grupo A.....                                                                              | 28     |
| Figura 6. Modalidades Tarifárias do Grupo A.....                                                                            | 28     |
| Figura 7. Fluxograma do dimensionamento de demanda ótima.....                                                               | 30     |
| Figura 8. Média anual da radiação solar global horizontal.....                                                              | 35     |
| Figura 9. Representação do sistema VRF.....                                                                                 | 41     |
| Figura 10. Geração de energia no mundo em 2015. Fonte: EPE, 2018.....                                                       | 51     |
| Figura 11 Oferta de energia no Brasil em 2018. Fonte: MME, 2019.....                                                        | 51     |
| Figura 12. Geração elétrica por fonte no Brasil. Fonte: EPE, 2018.....                                                      | 52     |
| Figura 13. Relatório MACDE CSM. Fonte: MACDE, 2020.....                                                                     | 61     |
| Figura 14. Relatório MACDE SMG. Fonte: MACDE, 2020.....                                                                     | 62     |
| Figura 15. Inversor solar off grid Victron (35730-8) 15000 VA. Fonte: ALDO SOLAR, 2019.....                                 | 65     |
| Figura 16. Bateria estacionária Heliar Freedom. Fonte: FREEDOM, 2008.....                                                   | 66     |
| Figura 17. Ciclo de vida útil das baterias Freedom. Fonte: FREEDOM, 2008.....                                               | 67     |
| Figura 18. Módulo fotovoltaico 335 Wp Canadian solar modelo 41536-4.Fonte: CANADIAN SOLAR, 2017.....                        | 68     |
| Figura 19. Controlador de carga bateria solar Victron (53286-3) de 100 A. Fonte: Aldo solar, 2020.....                      | 70     |
| Figura 20. Motor-gerador Himoinsa HSW-505 T6B.Fonte: HIMOINSA, 2020.....                                                    | 71     |
| Figura 21. Motor-gerador Cummins C65D6. Fonte: DCCO, 2020.....                                                              | 71     |
| Figura 22. Lâmpadas LED com indicação equivocada de equivalência.. Fonte: Catálogo fabricante 1, 2019.....                  | 93     |
| Figura 23. Característica da Lâmpada fluorescente instalada nos ambientes estudado. Fonte: Catálogo fabricante 2, 2009..... | 93     |

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 24. Diferença de fluxo luminoso por ambiente no prédio administrativo e portaria 1. Fonte: Autor, 2020..... | 95  |
| . Figura 25. Diferença de fluxo luminoso por local no laboratório de qualidade. Fonte: Autor, 2020. ....           | 95  |
| Figura 26. Redução de potência por local no laboratório. Fonte: Autor, 2020. ....                                  | 99  |
| Figura 27. Redução de potência por local no laboratório. Fonte: Próprio autor, 2020.....                           | 100 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                            | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabela 1. Campo de atuação PROCEL Fonte: PROCEL, 2006. ....                                                                | 23     |
| Tabela 2. Consumo de energia elétrica por setor econômico .....                                                            | 26     |
| Tabela 3. Limites de consumo de combustível para cada faixa de potência Fonte: Adaptado de ANEEL, REN 427, 2010.....       | 32     |
| Tabela 4. Irradiação solar em Rio Verde. Fonte: CRECESB, 2020. ....                                                        | 55     |
| Tabela 5. Dados da fatura de energia elétrica CSM. Fonte: Autor, 2020.....                                                 | 61     |
| Tabela 6. Dados da fatura de energia da SMG. Fonte: Autor,2020.....                                                        | 62     |
| Tabela 7. Histórico de consumo e demanda de energia elétrica no horário de ponta Sementes Goiás. Fonte: Autor, 2020. ....  | 63     |
| Tabela 8. Histórico de consumo e demanda de energia elétrica no horário de ponta Caraíba Sementes. Fonte: Autor, 2020..... | 64     |
| Tabela 9. Análise de curva de carga. Fonte: Autor, 2020.....                                                               | 64     |
| Tabela 10. Energia total por unidade consumidora. Fonte: Autor, 2020.....                                                  | 65     |
| Tabela 11. Dados técnicos do modulo fotovoltaico 41536-4. Fonte: Autor,2020.....                                           | 68     |
| Tabela 13. Custos com o SFA SMG. Fonte: Autor, 2020 .....                                                                  | 73     |
| Tabela 14. Investimentos e custos operacionais do SFA para SMG. Fonte: Autor, 2020....                                     | 74     |
| Tabela 15. Custos com o SFA CSM. Fonte: Autor, 2020 .....                                                                  | 75     |
| Tabela 16. Investimentos e estimativa de custos operacionais do SFA para CSM. Fonte: Autor, 2020 .....                     | 75     |
| Tabela 17. Investimentos e estimativa de custos operacionais do SFA para CSM. Fonte: Autor, 2020. ....                     | 76     |
| Tabela 18. Investimentos e estimativa de custos operacionais do SFA para SMC. Fonte: Autor, 2020 .....                     | 76     |
| Tabela 19. Custos com o SFA CSM. Fonte: Autor, 2020 .....                                                                  | 77     |
| Tabela 20. Investimentos e estimativa de custos operacionais do SFA para CSM. .Fonte: Autor, 2020. ....                    | 77     |
| Tabela 21. Comparativo de viabilidade dos investimentos. Fonte: próprio autor,2020. ....                                   | 78     |
| Tabela 22. Descrição quantitativa de lâmpadas e potência por ambiente. Fonte: Próprio autor. ....                          | 92     |
| Tabela 23. Levantamento simplificado por prédio. Fonte: Próprio autor.....                                                 | 92     |

|                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 24. Cálculo do fluxo luminoso nos locais estudados. Fonte: Próprio autor.....                                               | 94  |
| Tabela 25.Comparativo de potência e fluxo luminoso entre LFS, LED similar e LED indicado como equivalente. Fonte: Autor, 2020..... | 96  |
| Tabela 26. Comparativo inverter versus VRF do prédio administrativo. Fonte: Próprio Autor, 2020. ....                              | 100 |
| Tabela 27. Comparativo inverter versus VRF setor de qualidade. Fonte: Próprio Autor, 2020. ....                                    | 101 |
| 7 – APÊNDICE A                                                                                                                     |     |
| Tabela 1A – Características das usinas. Fator: Autor.....                                                                          | 109 |
| APÊNDICE C                                                                                                                         |     |
| Tabela 1C – Custos e economia utilizando o GMG instalado na CSM. Fonte: Autor.....                                                 | 112 |

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

|        |                                                                        |
|--------|------------------------------------------------------------------------|
| Aneel  | Agência Nacional de Energia Elétrica;                                  |
| ANP    | Agencia Nacional de Petróleo;                                          |
| COP    | Coefficiente de Performance                                            |
| COPEL  | Companhia Paranaense de Energia;                                       |
| EPE    | Empresa de Pesquisa Energética;                                        |
| ERR    | Energy Efficiency Ratio;                                               |
| GHI    | Irradiação Global Horária;                                             |
| GMG    | Grupo motor gerador.                                                   |
| HVAC   | <i>Heating, Ventilating and Air</i> ;                                  |
| LED    | Light Emitting Diode (Diodo Emissor de luz);                           |
| MACDE  | Modelo de avaliação dos contratos de demanda de energia);              |
| MCP    | Modelo de Controlo Preditivo;                                          |
| NBR    | Norma Brasileira;                                                      |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica;                  |
| SFA    | Sistema Fotovoltaico Autônomo;                                         |
| CSM    | Semente Caraíba;                                                       |
| SMG    | Sementes Goiás;                                                        |
| TMA    | Taxa Mínima de Atratividade;                                           |
| VFR    | <i>Variable Refrigerant Flow</i> (Fluxo de gás refrigerante variável); |
| VPL    | Valor Presente Líquido;                                                |

## RESUMO

PAIVA, CRISTIAN BRAGANHOLO. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, abril de 2020 **Estudo de caso de estratégias para maximização de eficiência energética em indústrias de beneficiamento de sementes do sudoeste goiano.** Orientador (a): Dr. Geraldo Andrade de Oliveira. Coorientador: Dr. João Areis Ferreira Barbosa Júnior.

O crescimento da população mundial, o desenvolvimento tecnológico e econômico, o acesso comum à tecnologia, são alguns dos fatores que têm influenciado no aumento da demanda de energia elétrica a nível mundial, o que não é diferente no Brasil. No entanto, esse aumento tem se tornado mais evidente, ocasionando a falta de acompanhamento pelo lado do fornecimento de energia. O que influencia diretamente no aumento das tarifas cobradas pelas concessionárias de geração e distribuição de energia elétrica. Este trabalho teve como objetivo estudar três estratégias que visam o aumento de eficiência energética em duas indústrias de beneficiamento de sementes (Grande e pequeno porte) da cidade de Rio Verde, sendo as estratégias: o estudo da demanda ótima através da ferramenta web MACDE, que propôs uma demanda ótima para a maior sementeira de 1309 kWh e para a sementeira menor 209 kWh; a possibilidade de geração própria no horário de ponta dimensionando um Grupo Motor Gerador comparado ao sistema fotovoltaico *offgrid* com mesmo potencial, buscando verificar qual sistema é técnica viável e economicamente para substituir parcialmente a utilização da energia elétrica pelo concessionário no horário de ponta, e se chegou ao custo da energia elétrica com o possível investimento no sistema fotovoltaico na ordem de R\$ 8,22/kWh para a indústria de maior porte e R\$ 9,04 /kWh para a indústria de menor porte. Já para o dimensionamento do Grupo Motor Gerador este valor é de R\$ 1,44 / kWh para a maior indústria e de R\$ 1,88/ kWh para a menor indústria. E, por fim, avaliar a possível redução no consumo de energia na maior indústria, estudando a economia de energia elétrica e consequentemente a possível economia financeira, ao adotar a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, bem como a substituição do sistema de climatização inverter por sistema VRF. Estimando dessa forma uma economia no consumo de energia elétrica de 146,16 kWh ao mês que equivale a R\$78,84/mês (R\$ 946,08/ano) na substituição das lâmpadas, no entanto o investimento não se mostra viável, e uma economia possível de 1400,09 kWh/mês equivalente à 16801,08 kWh/ano que financeiramente representa a economia possível de R\$756,05/mês consequentemente R\$ 9.072,58/ano ao substituir o

sistema de climatização, no entanto o investimento não se mostra viável devido ao alto custo da tecnologia.

PAVAVRAS-CHAVES: Demanda de energia; economia; beneficiamento de sementes; energia elétrica.

## ABSTRACT

PAIVA, CRISTIAN BRAGANHOLO. Federal Institute Goiano – Campus Rio Verde – GO, april 2019. **Case study of strategies to increase energy efficiency in large and medium sized grain processing industries in southwest of Goiás.** Advisor: DSc. Geraldo Andrade de Oliveira. Co-advisor: DSc. João Areis Ferreira Barbosa Júnior.

World population growth, technological and economic development, as well as the, common access to technology, are some of the factors that have influenced the increase in demand for electricity worldwide, which is no different in Brazil. However, this increase has become more evident, leading to a lack of follow-up on the energy supply side. This has a direct influence on the increase in the tariffs charged by the electric power generation and distribution concessionaires. This work aimed to study three strategies to increase energy efficiency in two grain processing industries (large and small) in the city of Rio Verde being them: the optimum demand study through the MACDE web tool, which proposed an optimum demand for the largest sowing of 1309 kWh and for the smallest of 209 kWh; the possibility of own generation at peak hours by sizing a generator motor group compared to an offgrid photovoltaic system with the same potential, seeking to verify which system is technically and economically viable to partially replace the electric energy use by the concessionaire at peak hours, where the electric energy was reached with the possible investment in the photovoltaic system in the order of R\$ 8.22/kWh for the larger industry and R\$ 9.04 /kWh for the smaller industry. For dimensioning the generator motor group this value is of R\$ 1,44 / kWh for the largest industry and R\$ 1,88/kWh for the smallest industry. And finally, to evaluate the possible reduction in energy consumption in the biggest industry, studying the electric energy savings and consequently the possible financial savings, when adopting the substitution of fluorescent lamps by LED lamps, as well as the substitution of the inverse air conditioning systems for VRF systems. Thus, estimating a saving in electric energy consumption of 146.16 kWh per month which is equivalent to R\$78.84 per month (R\$ 946.08 per year) in the substitution of light bulbs, and a possible saving of 1400.09 kWh

per month equivalent to 16801.08 kWh per year which financially represents a possible saving of R\$756.05 per month consequently R\$ 9,072.58 per year when replacing the air conditioning system.

Keywords : Energy demand; economy; seed processing; electric power

KEY WORDS :. Energy demand; economy; seed processing; electric power

## **Estrutura da dissertação**

Este trabalho teve como foco estudar ações para melhorar o aproveitamento energético em duas indústrias de beneficiamento de sementes, para isso, são apresentados em forma de dissertação nos padrões da instituição de ensino. Possuindo dessa forma a seguinte estrutura:

No capítulo 1 há uma breve contextualização com exposição de conceitos importantes através de referências para o entendimento das ações de eficiência energética.

No capítulo 2 é apresentado o objetivo geral do trabalho seguido pelos objetivos específicos.

Na sequência foram apresentados os artigos desenvolvidos na realização deste trabalho, que estão formatados de acordo com a determinação da instituição de ensino para a edição de dissertação de mestrado de acordo com o programa de pós-graduação.

O capítulo 3 expõe o primeiro artigo desenvolvido por este trabalho que conta com breve introdução, explicação da metodologia utilizada para o estudo da demanda ótima e dimensionamento e avaliação de viabilidade econômica dos sistemas de geração de energia elétrica para o horário de ponta, os resultados obtidos seguidos da discussão e por fim as conclusões do artigo.

No capítulo 4 é apresentado o segundo artigo deste trabalho que avaliou a implementação de tecnologias mais eficientes em dois ambientes da indústria de maior porte, a Sementes Goiás, seguindo a formatação de acordo com a revista escolhida para a submissão do artigo.

O capítulo 5 expõe as conclusões dos estudos realizados como um todo nos dois artigos desenvolvidos e sugestões para trabalhos futuros.

O capítulo 6 foi destinado a apresentação dos apêndices do trabalho.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização

A humanidade precisou passar por algumas situações para pensar melhor na forma como são utilizados os recursos naturais provedores de energia e a forma de utilização das mesmas, situações tais como a crise petrolífera de 1973(JUNIOR, 2008) e os apagões no início do século XXI no Brasil.

Essas crises se deram pelo esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia elétrica, no caso do Brasil (90% da energia era produzida pelas hidroelétricas) sofreu com período extenso de estiagem que por sua vez causava baixos níveis nos reservatórios chegando até a parada de produção de energia em algumas delas aliada com a baixa infraestrutura de geração e transmissão de energia (PROCEL, 2006).

Já na crise do petróleo de 1973 (a matriz energética era totalmente dependente da queima deste recurso) um dos motivos da eclosão desse evento foi a descoberta que a matéria prima era um recurso esgotável, além da redução da comercialização do produto pelos países árabes, que, conseqüentemente elevou o preço comercial do petróleo no mercado internacional (JUNIOR, 2019).

Com isso, iniciou grande procura por soluções para esse problema, que originou em pesquisas para explorar novas fontes de geração de energia elétrica e o aumento da eficiência energética de forma geral (equipamentos, edificações, processos, etc.). Em se tratando de pesquisas sobre novas fontes de energia, destacam-se as fontes de energia solar, eólica e bioenergia (com grande ênfase na cogeração pela queima do bagaço de cana) (TOLMASQUIM;GUERREIRO;GORINI, 2007).

O governo brasileiro através do ministério de minas e energia criou em 1985 os programas: PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) que visa o

uso racional de energia elétrica, através de várias vertentes, como pode ser visto na tabela abaixo:

**Tabela 1. Campo de atuação PROCEL Fonte: PROCEL, 2006.**

| <b>Campo de atividades do PROCEL</b> |                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Indústria e comércio</b>          | Influencia a substituição de motores e equipamentos defasados em termos de eficiência energética                                                                                  |
| <b>Edifica</b>                       | Visa melhorar a eficiência da construção civil, residenciais, comerciais e públicas, que disponibiliza manuais e simuladores especializados para projetos, execução e manutenção. |
| <b>Reluz</b>                         | Busca a atualização da iluminação pública e sinalização pública no planejamento e implantação de projetos de melhoria.                                                            |
| <b>Conhecimento</b>                  | Elaboração e disseminação de informação qualificada em eficiência energética                                                                                                      |
| <b>Poder público</b>                 | Visa o menor consumo de energia em municípios e ao uso eficiente de eletricidade e água na área de saneamento                                                                     |
| <b>Equipamento</b>                   | sendo etiquetados pelo Selo PROCEL os equipamentos mais eficientes do mercado, estimula o desenvolvimento e aprimoramento tecnológico dos equipamentos.                           |

O uso racional de energia elétrica tem sido pautado no Brasil há aproximadamente 30 anos. Tal preocupação tem fundamento por causa crescimento do país durante esse período, de acordo com essa perspectiva, o que não é difícil relacionar de forma simples com o aumento da população, do acesso à rede elétrica e com o acentuado desenvolvimento da tecnologia, resultando conseqüentemente em aumento da demanda de energia elétrica de forma geral. De certa maneira, esses fatores juntamente com a falta de infraestrutura de distribuição de energia elétrica, tiveram influência sobre o período de racionamento de energia elétrica no início do milênio.

Com isso, é possível associar o crescimento do país ao aumento do consumo de energia elétrica, pois, quanto mais as indústrias crescem em estatura e número, maior é a demanda por energia elétrica.

É inevitável o crescimento do consumo de energia elétrica para o bom desenvolvimento da economia de um país. No entanto este crescimento precisa ser sustentável, visando o uso racional e eficiente de energia juntamente com a propagação da geração de energia distribuída. Com isso, o estudo em questão foi realizado em duas indústrias de beneficiamento de sementes, visando diminuir os gastos na utilização da energia elétrica, sendo as empresas a Sementes Goiás e a Caraíba Sementes.

A Sementes Goiás que faz parte do grupo TEC Agro atua nas cidades de Rio Verde, Montividiu, Paraúna, Jataí, Santa Helena, Goiatuba, Catalão e Goiânia. Trata-se de uma indústria de beneficiamento de sementes no sudoeste goiano, que beneficia sementes de soja e sorgo. Em 2019 produziu o total de 786.849 sacas de sementes de soja apenas no parque industrial de Rio Verde. A empresa, presente no mercado desde 1996, destaca-se entre as empresas mais inovadoras em seu seguimento, possuindo um vasto portfólio de sementes de soja, produzindo 14 variedades diferentes dessa cultivar.

**Figura 1. Imagem de satélite Sementes Goiás.**



Fonte: Google maps, 2020.

A planta industrial (Figura 1) estudada se encontra na cidade de Rio Verde, fica 13 Km da cidade, nas coordenadas geográficas de latitude 17° 47' 53" S e longitude de 50° 55' 41" O. O clima predominante é o tropical, temperatura média anual de 23,3 °C, a irradiação média na região de Rio Verde é de 5,71 kWh/m<sup>2</sup>.dia (CLIMA-DATA,2018).

A outra unidade, Caratiba Sementes que foi fundada em 1997 na cidade de Rio Verde, Goiás, trabalha com 32 variedades de soja e 12 híbridos de milho em estágio pré-comercial, sua unidade de produção se encontra em Rio Verde, e possui 8 unidades de vendas atendendo 9 estados brasileiros.

**Figura 2. Sementes Caraíba.**



Fontes: Google maps, 2020.

A planta de produção das Caraíba Sementes (Figura 2) encontra-se no 4,9 km da GO 174, fica 14 km de Rio Verde. Suas coordenadas geográficas são 17° 44' 21" Sul e 50° 57' 26" Oeste. O clima predominante é o tropical, temperatura média anual de 23,3 °C, a irradiação média na região de Rio Verde é de 5,71 kWh/m<sup>2</sup>.dia (CLIMA-DATA,2018).

No que se refere a alimentação de energia elétrica pelo concessionário, ambas as empresas possuem uma alimentação de entrada de 34,5 kV, enquadrando no grupo tarifário da ANEEL A3a que engloba os consumidores com alimentação de tensão de 30 kV a 44 kV.

## **1.2 Revisão Bibliográfica**

Existem várias ações destinadas para o aumento de eficiência energética direcionado aos diversos consumidores de energia elétrica, desde estudos que não necessitam de investimento para diminuir o custo pago pela eletricidade, como é o caso do estudo de demanda ótima contratada pelo concessionário até estudos que envolvem investimentos razoáveis como é o caso de planos para substituição de equipamentos defasados.

Tais ações são de grande importância no setor secundário (indústrias) do Brasil, que, como pode ser observado na Tabela 2, é o setor que possui maior consumo de energia elétrica, representando 35,7 % do consumo energético total no país no ano de 2018 (EPE, 2019).

**Tabela 2. Consumo de energia elétrica por setor econômico**

|                    | 2014           | 2015           | 2016           | 2017           | 2018           | Δ%<br>(2018/2017) | Part. %<br>(2018) |                 |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Brasil</b>      | <b>474.823</b> | <b>465.708</b> | <b>461.780</b> | <b>467.161</b> | <b>474.820</b> | <b>1,6</b>        | <b>100</b>        | <b>Brazil</b>   |
| Residencial        | 132.302        | 131.190        | 132.872        | 134.368        | 137.615        | 2,4               | 29,0              | Residential     |
| Industrial         | 179.106        | 169.289        | 165.314        | 167.398        | 169.625        | 1,3               | 35,7              | Industrial      |
| Comercial          | 89.840         | 90.768         | 87.873         | 88.292         | 88.631         | 0,4               | 18,7              | Commercial      |
| Rural              | 25.671         | 25.899         | 27.266         | 28.136         | 29.168         | 3,7               | 6,1               | Rural           |
| Podar público      | 15.355         | 15.196         | 15.096         | 15.052         | 15.076         | 0,2               | 3,2               | Public sector   |
| Iluminação pública | 14.043         | 15.333         | 15.035         | 15.443         | 15.690         | 1,6               | 3,3               | Public lighting |
| Serviço público    | 15.242         | 14.730         | 14.969         | 15.196         | 15.778         | 3,8               | 3,3               | Public service  |
| Consumo próprio    | 3.265          | 3.304          | 3.355          | 3.277          | 3.238          | -1,2              | 0,7               | Own use         |

Fonte: EPE, 2019.

Dessa forma, cada vez mais se faz necessário o desenvolvimento de estudos que tenha como objetivo a diminuição de perdas nas instalações industriais e a autonomia de produção de energia elétrica para estes setores.

Para orientar estes estudos, a COPEL (Companhia Paranaense de Energia), 2005 desenvolveu um manual para orientar os trabalhos de melhorias em instalações elétricas industriais. Estes estudos envolvem a avaliação contratos de energia elétrica junto as concessionárias, controle da utilização de energia ativa e reativa, bem como o incentivo à correção doo fator de potência, redução de perdas em transformadores, distribuição adequada de circuitos elétricos, adequação de motores de indução adequados para cada utilização, iluminação, melhorias em fornos elétricos, estufas e sistemas de geração de calor e melhorias em sistemas de refrigeração, ar comprimido, condicionamento de ar e ventilação.

Com isso, abaixo foi realizado:

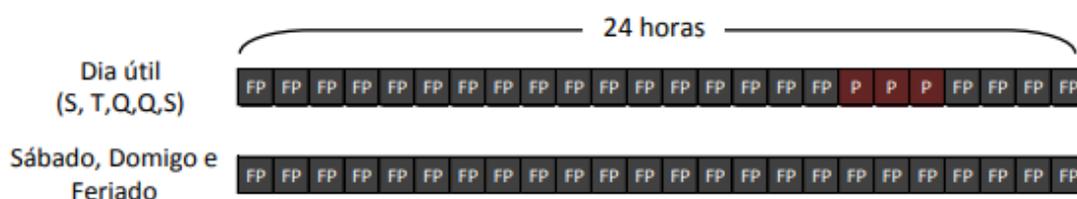
- A explicitação das modalidades tarifárias utilizadas atualmente em âmbito nacional, bem como os postos horários de acordo com as opções de contratação estipuladas pela Resolução Normativa número 414/2010 da ANEEL para o grupo A, que é o grupo das unidades consumidoras estudadas neste trabalho;
- A conceituação do estudo de demanda ótima utilizando a ferramenta WEB MACDE (Modelo de avaliação dos contratos de demanda de energia)
- A referenciação do aproveitamento do potencial energético solar e Grupo Motor Gerador Diesel;
- Estudo das normas regulamentadoras e de trabalhos referentes a tecnologia LED;

- E por fim foi explorado os conceitos do sistema VRF e condicionadores de ar Split juntamente com alguns artigos referenciais do mesmo.

### 1.2.1 Sinal horário

Os postos horários para o grupo A, separam o dia em períodos, sendo divididos em dois, o horário de ponta e o horário fora de ponta. O horário de ponta consiste em três horas diárias consecutivas nos dias da semana (de segunda a sexta) com exceção feita em feriados nacionais, o horário fora de ponta é o período complementar das horas do dia. Na figura 3 pode ser mais bem observada essa distribuição.

**Figura 3. Grupos tarifários.**



Fonte: ANELL REN, 414/2010.

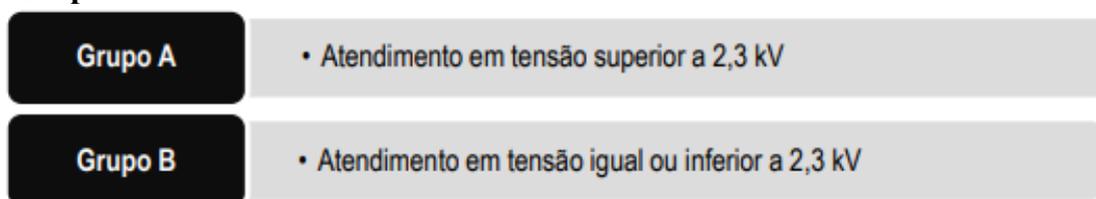
Tal diferenciação de horários se dá pela grande solicitação de energia elétrica por consumidores de forma geral nestes horários em específico, e pode variar de estado para estado.

No estado de Goiás o horário de ponta é determinado das 18 horas às 21 horas da noite, conforme estipula a empresa de distribuição de energia elétrica do estado.

### 1.2.2 Modalidades tarifárias.

A ANEEL, por meio da REN, 414/2010 estabelece a classificação dos consumidores em dois grupos tarifário de acordo com o nível de tensão utilizado pelo consumidor, como pode ser observado na figura 4.

**Figura 4. Grupos tarifários.**



Fonte: ANELL, 2010.

O Grupo A possui ainda uma divisão em sub grupos de atendimento de tensão acima de 2,3 kV, de acordo com a necessidade do consumidor e da localização geográfica do mesmo, esta subdivisão pode ser observada na figura 5.

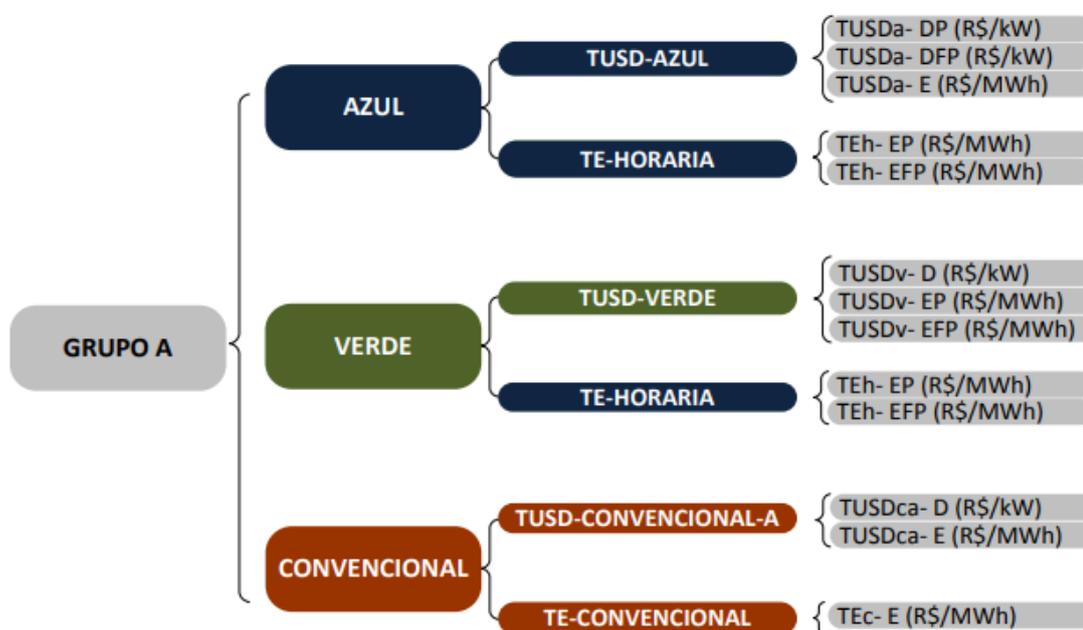
**Figura 5. Subgrupos Tarifários do Grupo A.**

|                    |                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Subgrupo A1</b> | • Atendimento em tensão igual ou superior a 230 kV              |
| <b>Subgrupo A2</b> | • Atendimento em tensão de 88 kV a 138 kV                       |
| <b>Subgrupo A3</b> | • Atendimento em tensão de 69 kV                                |
| <b>Subgrupo A4</b> | • Atendimento em tensão de 2,3 kV a 44 kV                       |
| <b>Subgrupo AS</b> | • Atendimento em tensão inferior a 2,3 kV (sistema subterrâneo) |

Fonte: ANELL REN, 414/2010

As modalidades tarifárias do grupo A são divididas em azul, verde e convencional como pode ser observado na figura 6.

**Figura 6. Modalidades Tarifárias do Grupo A.**



Fonte: ANELL REN, 414/2010

A modalidade tarifária Azul para o grupo A consiste em uma Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) para a demanda em ambos os postos horários (ponta e fora de ponta) e para a energia consumida, e uma Tarifa de Energia (TE) diferente para cada posto horário.

A modalidade tarifária Verde é composta por apenas uma TUSD para demanda em ambos os postos horários, e TUSD e TE diferente para o consumo de energia nos horários fora de ponta e ponta.

A modalidade Convencional é composta apenas por uma TUSD para demanda e consumo de energia elétrica em ambos os postos horários e apenas um TE para ambos os postos horários.

### **1.2.3 Estudo de demanda ótima (Projeto MACDE)**

Com o foco na melhoria dos contratos de fornecimento de energia elétrica em institutos de ensino superior, tendo grande aplicabilidade nos demais setores de consumo de energia elétrica por sua ampla utilização em grupos tarifários de alta tensão.

A ferramenta MACDE (Modelo de avaliação dos contratos de demanda de energia) tem sido amplamente aplicada em consumidores do setor público brasileiro, sendo utilizada em edificações governamentais.

Revelando necessidade de mudança dos contratos de demanda de energia elétrica nestas edificações, mostrando, em muitos casos, a necessidade de aumento da demanda contratada por estas edificações procurando acabar com o pagamento de multas devido ao subdimensionamento dessa demanda, o que, na maioria dos casos, passa despercebido pelo consumidor, que continuamente estará pagando um valor a mais pela energia consumida.

Existem ainda casos em que a demanda contratada está superdimensionada, gerando o pagamento por um nível de potência que não é utilizado pela unidade consumidora, produzindo um custo desnecessário com essa potência elétrica não utilizada.

#### **1.2.3.1 Projeto MACDE**

SILVEIRA et. Al, 2019 desenvolveram um sistema que calcula a demanda ótima de instalações dos consumidores cativos que se enquadram no grupo A, para as modalidades tarifárias azul ou verde.

Este trabalho consiste nos seguintes passos:

**Figura 7. Fluxograma do dimensionamento de demanda ótima.**



Fonte: SILVEIRA et. Al, 2019

A fase do histórico consiste em obter os dados necessários para o estudo (Histórico das demandas medidas dos dois últimos anos, crescimento percentual esperado, critério de cálculo, folga percentual, demanda contratada atual, tarifa de demanda/energia, e informações gerais).

Na fase de previsão é feita a média dupla, que consiste em fazer a primeira média geral das demandas para os dois anos anteriores, mês a mês, adicionando o crescimento percentual de 5% e posteriormente se faz a média entre as maiores demandas dos dois anos, também fazendo o ajuste percentual e por fim, faz um média entre esses valores.

Na etapa de otimização se faz basicamente, excursionar os prováveis valores de demanda contratada, do menor ao maior valor de referência; calcular o custo anual correspondente a cada um deles; e posteriormente encontrar qual dos valores de demanda contratada otimiza esse custo.

E por fim é emitido um relatório, que calculam os parâmetros restantes necessários para elaboração do relatório e o mesmo é gerado. Alguns dos parâmetros calculados são:

- Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD);
- Tarifa de Energia (TE);
- Tarifa Final (TUSD+TE);
- Estimativa de custos atual;
- Estimativa de custos proposta;
- Economia estimada.

#### 1.2.4 Gerador Motor Gerador (GMG)

O motor diesel é um motor de combustão interna, e a queima do combustível é feita pelo aumento da temperatura provocado pela compressão, sendo em pressão constante, da mistura inflamável (ar + óleo diesel) (F. B. OLIVEIRA; M. VANDRESEN; M. PEREIRA, 2011).

Grupo Motor Gerador (GMG) é um equipamento constituído de um motor à combustão interna que utiliza o Diesel, gasolina ou gás, conectado ao gerador e instalado em cima de base metálica, com partida manual ou automático. O equipamento possui também um motor elétrico que pode ser síncrono ou de indução. De forma alternativa, pode-se usar um motor combustão interna principal, assim como um gerador elétrico de corrente contínua ou corrente alternada, com seus eixos ligados mecanicamente. Tal equipamento pode ser usado em paralelo ou em unidade com outros grupos motor gerador constituindo usinas de até 30MVA (PINHO, GALDINO, 2014).

Microusinas geradoras a Diesel utilizam combustível Diesel para produzir eletricidade. O diesel combustível é utilizado para operar o motor ciclo Diesel que transforma a energia química proveniente da queima do combustível em energia mecânica. No interior do gerador existem vários conjuntos de bobinas de condutores elétricos. A energia mecânica proveniente do motor a combustão interna Diesel, provoca o movimento de cargas elétricas que se encontram nessas bobinas. Esse movimento produz eletricidade. No interior de um GMG a Diesel é utilizada a energia mecânica para provocar o fluxo de elétrons, muitas vezes é confundido com a criação de energia elétrica, que, na verdade, não é criada, mas transforma energia proveniente do movimento do motor em energia elétrica.

Grupos de geradores motores são utilizados para disponibilizar energia elétrica em demanda específica, como em instalações médicas, backup de energia de emergência, condicionamento de energia para locais remotos ou processamento de dados, ou ainda em outras aplicações industriais ou comerciais de missão crítica que necessite de energia remota ou independente (EL-HAWARY; ECKELS, 2014).

O motor é escolhido para trabalhar de acordo com a fonte de alimentação disponível; os geradores são dimensionados para prover a frequência ou tensão de saída necessária.

A quantidade de combustível consumido por um gerador está relacionada proporcionalmente a sua potência, ou seja, quanto mais robusto for o motor, maior será a sua demanda por combustível, tal relação pode ser observada na tabela 3.

Tabela 3. Limites de consumo de combustível para cada faixa de potência Fonte: Adaptado de ANEEL, REN 427, 2010.

| <b>Motor a pistão Potência</b> |          |                            |
|--------------------------------|----------|----------------------------|
| <b>Potência (kW)</b>           |          | <b>Combustível líquido</b> |
| <b>De</b>                      | <b>A</b> | <b>(L/kWh)</b>             |
| 1                              | 100      | 0,404                      |
| 101                            | 250      | 0,349                      |
| 251                            | 500      | 0,329                      |
| 501                            | 750      | 0,296                      |
| 751                            | 1000     | 0,289                      |
| 1001                           | 2500     | 0,267                      |

A característica primordial de um GMG é converter energia mecânica em energia elétrica, com tensão elétrica estável não dependendo da velocidade e curva de carga. A energia elétrica fornecida pelo grupo motor gerador é comandada por instrumentos de medições e várias proteções, como: fusíveis, contadores, disjuntores, chaves e o quadro de comando (HEIMER, 2018). Os mesmos podem ser classificados conforme a sua aplicação em: emergencial (utilizado para cobrir a indisponibilidade de fornecimento energia local da rede elétrica), economia: trocar o uso da rede elétrica local em horários que a energia elétrica possu custo maior, como é o caso dos consumidores que pagam por tarifas diferentes em determinados horários do dia, ponta e fora de ponta.

A geração por motor a combustão interna Diesel é também utilizada como fonte de alimentação extra caso falte energia elétrica (COELHO et al, 2006). A capacidade de geração de carga de um grupo gerador é estabelecida através dos intervalos de tempo entre as revisões gerais ou pelo tempo estimado de vida útil. O Diesel não é uma fonte de geração de energia renovável, pois o combustível não pode ser reutilizado ou reciclado. A queima do diesel, produz gases causadores do efeito estufa e vários outros poluentes atmosféricos (F. B. OLIVEIRA; M. VANDRESEN; M.PEREIRA, 2011).

#### **1.2.4.1 Regime de uso do gerador**

Devido à variedade do uso por parte dos consumidores de energia elétrica, os GMG's são produzidos com características especiais que os tornam adequados para diversas aplicações como a, para aplicação emergencial, no caso lojas de conveniências e hospitais, até a geração de energia em grandes períodos de tempo (contínua), quando se tem a

necessidade de utilizar energia com menos oscilação (PEREIRA, 2011). O tipo de operação de um gerador pode ser classificado em:

Regime *standby*: trabalha com reserva para fonte principal de energia e não é usado com frequência. Sendo o seu fator de utilização de 1,0;

Regime *Prime*: o gerador é usado como principal fonte de energia, sem limitação na quantidade de horas diárias trabalhadas e com variação de carga, não podendo ultrapassar a média diária de 70% do pico máximo de potência a ser consumido. Fator de utilização 1,1.

Regime contínuo: o gerador é usado como principal fonte de energia, sendo ilimitada a quantidade de horas diárias e com carga invariável 24hX24h. possui fator de utilização 1,35 (F. B. OLIVEIRA; M. VANDRESEN; M.PEREIRA, 2011).

### 1.2.5 Energia solar

Todos os dias a terra recebe sobre a sua superfície mais energia vinda do sol do que o consumo de energia elétrica dos habitantes do planeta inteiro durante um ano. Existem diversas formas de aproveitar esse potencial energético, e a mais procurada e difundida é a geração direta através do efeito fotovoltaico nos painéis solares (RUTHER, 2004).

Anteriormente a instalação de painéis de energia fotovoltaica possuía valores elevados sendo utilizado apenas em casos muito específicos como satélites e estações espaciais, com o desenvolvimento da tecnologia de fabricação desses painéis o seu custo caiu consideravelmente sendo que em alguns casos se torna viável economicamente a utilização dessa tecnologia para obter energia elétrica em locais de difícil acesso, esses sistemas que geralmente são denominados autônomos em muitos casos necessitam de acumuladores de energia, para disponibilizar energia quando a geração de energia é insuficiente ou durante a noite. No entanto, atualmente este tipo de geração é interligada a rede pública em paralelo as grandes centrais geradoras. (RUTHER, 2004).

Com a crescente utilização do potencial energético do sol, várias pesquisas e tecnologias foram desenvolvidas para aproveitar ao máximo esse potencial, atualmente a eficiência média dos painéis solares comercializados são de 16%, entretanto já existem tecnologias que conseguiu a eficiência de 20%, no entanto o custo para fabricar tais painéis é muito elevado, inviabilizando a sua utilização. (RIBEIRO et al, 2012). Segundo Levitan, teoricamente a eficiência máxima de painéis de silício cristalino é de 28%, a *Sun Power Corp* já conseguiu alcançar a eficiência de 24%.

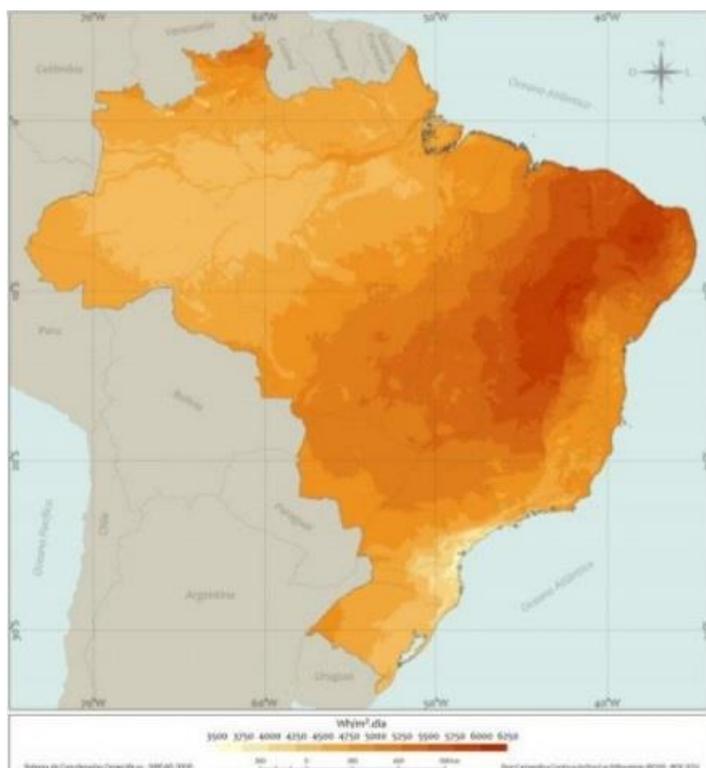
### **1.2.5.1 Obtenção de Energia Elétrica através do Potencial Solar Brasileiro**

Sendo uma tecnologia muito promissora e um potencial elevado, nos tempos atuais a energia solar fotovoltaica vem ganhando destaque. Conforme a EPE/ANEEL (2019), o Brasil tem, nos dias atuais, aproximadamente instalada, 2,2GW de capacidade em geração fotovoltaica, representando 1,2% da matriz energética brasileira, sendo que 99% é destinada ao atendimento de sistemas isolados e remotos, principalmente no que tange a falta de disponibilidade de redes de distribuição, que na maioria dos casos, não é economicamente viável.

A irradiação global horizontal é a variável que mais interessa, pelo fato de quantificar a radiação incidida por uma superfície horizontal plana. Ela é formada por uma parte de irradiação difusa horizontal, que é a dispersão da irradiação e a atenuação proporcionada por vapores de água, reflexões em poeiras, nuvens e outros elementos presentes na atmosfera. A irradiação global horizontal também é composta pela irradiação normal direta, parte que é radiada diretamente sobre o solo, sem influência dos componentes presentes na atmosfera (EPE, 2012).

A energia solar fotovoltaica no Brasil é especialmente utilizada em sistemas isolados ou autônomos de menor porte instalados em locais de difícil acesso ou em lugares não atendidos pela rede elétrica. Porém, é possível identificar por meio da média anual da radiação solar global horizontal no Brasil, o potencial solar energético do Brasil é elevado, de acordo com a Figura 8 (PEREIRA et al., 2006). É importante salientar que a média de insolação anual em Goiás é de 6 horas diárias (ANEEL, 2014).

**Figura 8. Média anual da radiação solar global horizontal.**



Fonte: (PEREIRA et al., 2006).

Conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no ano de 2018 a oferta interna de energia elétrica chegou a 636,4 TWh, representando aumento de 1,7% em relação a 2016 (625,7 TWh), registrando crescimento de 1,94% comparado a 2014. O “monopólio” da fonte geração elétrica por meio do aproveitamento hidráulico na estrutura da oferta interna de energia elétrica sofreu redução, caindo para 66,6% em 2018. (BEN, 2018).

No Brasil, dois fatores que merecem ser citados interferem de forma negativa na propagação do uso da energia solar: a falta de política oficial de subsídios e o custo de compra e instalação dos módulos. O primeiro está diretamente relacionado com a vontade política dos governantes e a conscientização da sociedade, item de grande importância junto ao poder público. Já, o segundo fator está sendo superado pelos avanços tecnológicos, que têm diminuído os custos e elevando a eficiência dos painéis fotovoltaicos (FILHO, 2019).

### **1.2.5.2 Sistema fotovoltaico off grid**

São sistemas que independem da rede elétrica convencional para funcionar, tornando possível o seu uso em locais carentes de rede de distribuição elétrica. Existem dois tipos de sistemas autônomos: sem armazenamento e com armazenamento. O primeiro é

frequentemente usado em sistema bombeamento de água e apresenta viabilidade econômica maior, pelo fato de não usar equipamentos para armazenar energia, no entanto, pode ser utilizado para qualquer consumidor de energia elétrica que não necessite de energia elétrica em períodos sem a incidência de irradiação solar (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011). No sistema isolado, a geração de energia usa armazenamento de energia elétrica como suprimento, casos em que a rede de distribuição não pode ser alcançada pelas concessionárias. O segundo pode ser utilizado para iluminação pública, carregar baterias de veículos elétricos e em pequenos aparelhos portáteis (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O sistema off grid é composto pela maioria das características de um sistema conectado à rede, com algumas diferenças como: os sistemas de controladores de carga e os bancos de baterias. Contudo, os inversores e os módulos fotovoltaicos são comuns em ambos os sistemas.

### **1.2.6 Ferramentas de Análise Econômica**

Existem opções tecnológicas que são mais eficientes tecnicamente, no entanto, em muitos casos não possibilitam financeiramente economia ou lucratividade maior para as empresas, por se tratar de tecnologias que necessitam de altos investimentos, valor que não possui retorno para o investidor dentro do período de planejamento do investimento (FILHO, 2019).

Dessa forma, investidores estabelecem prioridades para o sistema, optando ou por ter um sistema mais eficiente ou mais econômico. Buscando efetuar tal análise, a matemática financeira possibilita executar o estudo de verificação de viabilidade econômica utilizando ferramentas da engenharia econômica que tem o propósito de racionalizar os recursos que ajudam a tomar a decisão pelos investimentos com maior viabilidade.

Na análise econômica mais simples, empregada por vários pesquisadores e profissionais, são utilizados três indicadores (Payback, VPL e TIR) para estudo do projeto.

#### **1.2.6.1 Valor Presente Líquido (VPL)**

É um indicador econômico que analisa as saídas e entradas de recursos para a data de início do projeto. Dessa forma, são deduzidas todas as despesas e receitas futuras do fluxo de caixa usando a taxa mínima de juros, que é a taxa de atratividade do projeto (TMA). Um investimento é considerado viável economicamente quando os recursos inerentes as suas saídas forem menores que os recursos que estão na entrada do caixa, dessa forma, quando o

VPL for positivo, o projeto é viável (SANDRINI, 2007). O investimento se mostra mais atrativo quanto maior o valor positivo do VPL. O cálculo do VPL é feito pela equação 1:

$$VPL = \sum_0^n Fn(1 + i)^{-n} \quad (1)$$

Sendo:

VPL: Valor Presente Líquido de um fluxo de caixa

n: número de períodos em cada elemento de receitas e despesas do fluxo de caixa,

F<sub>n</sub>: valores envolvidos no fluxo de caixa líquido;

i: representa a taxa mínima de atratividade (TMA).

### 1.2.6.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

KREUZ; SOUZA; CLEMENTE tratam que para fazer um investimento, comparam-se os rendimentos estimados que serão alcançados através dele com as outras possibilidades de investimento disponíveis no mercado financeiro. O mínimo valor de rentabilidade, também conhecida com taxa de juros comparativa de um empreendimento é denominada a taxa mínima de atratividade. Para o que empreendimento seja viável essa taxa precisa ser atingida. A TMA precisa ser a melhor taxa, ou seja, uma taxa com grau baixo de risco disponibilizado para o investimento em questão (KREUZ; SOUZA; CLEMENTE, 2008).

### 1.2.6.3 Payback

Busca o tempo de retorno dos investimentos em empreendimento dentro do período planejado, sendo uma ferramenta que torna possível calcular a recuperação do empreendimento. O *payback* é diretamente proporcional ao risco de investimento, ou seja, quanto menor ele for, menor o risco do investimento (SOUZA, CLEMENTE, 2000).

Esse indicador deve ser utilizado com cuidado para a comparação de investimentos dos variados ambientes de atividade, pelo fato de não considerar os demais eventos depois do período de recuperação de investimento. O *payback* pode ser determinado pela equação 2:

$$\sum_{j=1}^N \frac{FC_j}{(1 + TMA)^j} \geq |FC_0| \quad (2)$$

N: horizonte de planejamento do projeto;

FC0: fluxo de caixa no período zero;

FCj: fluxo de caixa no período de recuperação dos investimentos no empreendimento.

#### **1.2.6.4 Custo da Energia**

Os custos de geração de energia são a soma de custo com: despesas financeiras relacionadas ao funcionamento dos sistemas de produção de energia e da conversão da matéria-prima em produto acabado (FILHO, 2019).

Para fazer comparativo de sistemas de geração diferentes é necessário considerar que, em caso de um GMG, é estabelecido quantos kWh podem ser gerados por litro de combustível consumido. Buscando saber o valor do óleo Diesel, se tem o custo da energia produzida.

Quando se trata de energia solar, não existe o custo do combustível. Nos sistemas fotovoltaicos, os custos de investimento fazem referência à contratação da mão de obra de instalação e à compra dos equipamentos. As despesas com manutenção e operação são reduzidas, sendo necessário apenas limpeza anual da face dos painéis e a provável troca de inversor e controlador de carga. É levado em consideração o período que é garantido o desempenho dos painéis, para determinar a vida útil do sistema.

#### **1.2.7 Iluminação**

No início dos anos 2000, por causa do grande período de estiagem, aumento significativo de acesso à eletricidade e aparelhos eletrodomésticos, esses fatores culminaram com a diminuição dos níveis dos reservatórios das usinas hidroelétricas que é a principal fonte de energia elétrica do país. Com isso, o governo federal brasileiro buscou influenciar a melhoria da eficiência energética promulgando a lei 10.295, que é mais conhecida como a lei de eficiência energética, visando influenciar fabricantes a produzirem equipamentos mais eficientes (PROCEL, 2006).

A lei 10.295 de 17 de outubro de 2001 no seu artigo 3º afirma que os fabricantes de máquinas devem adotar as devidas medidas para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética (BRASIL, 2001). Com isso, as fabricas do setor de iluminação buscaram cada vez mais melhorar os seus produtos, primeiramente com o fornecimento de lâmpadas fluorescentes para substituir as lâmpadas incandescentes.

As lâmpadas incandescentes possuem baixa eficiência na iluminação, por serem dotados apenas de um filamento de tungstênio que é alimentado por uma tensão elétrica que impulsiona os elétrons a passarem por este filamento, aquecendo este filamento até ele ficar incandescente, porém grande parte da energia elétrica é transformada em calor nestas lâmpadas.

RODRIGUES ET AL, 2019 fizeram um estudo para substituir as lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED em uma instituição de ensino superior em Uberlândia, buscando avaliar questões ambientais, energéticas e econômicas, utilizaram como amostra para o estudo 1000 lâmpadas de um bloco específico que representava similaridade com os outros blocos da instituição e por contemplar os critérios de adoção das NBR's (normas técnicas brasileiras) de instalações elétricas.

Utilizando o que é orientado pelas normas técnicas brasileiras de gerenciamento de resíduos sólidos e por dados técnicos das fabricantes de lâmpadas fluorescentes, conseguiu-se estimar a quantidade de água que seria poupada de contaminação por metais pesados com o descarte correto das lâmpadas, cerca de 2,169 bilhões de litros de água. Em relação ao estudo econômico da substituição das lâmpadas, foram avaliados o tempo de vida útil, valor de mão de obra para a substituição das lâmpadas, o custo para o descarte das lâmpadas fluorescentes, e eficiência energética, projetando economia entre 55,75 e 80,78% ao completar 13 anos o retorno do montante gasto ao final do primeiro ano (RODRIGUES et al, 2019).

Quando se fala de eficiência de iluminação comparando alguns parâmetros de iluminação com a energia que é gasta para realizar determinado nível de iluminação, com isso relaciona-se à iluminância (que é a relação entre o fluxo luminoso medido em lumens e a área iluminada) cuja unidade de medida é o lux, e a potência elétrica utilizada dada em Watts. Ao comparar a eficiência energética da lâmpada incandescente com as lâmpadas fluorescentes e LED, é possível identificar que a eficiência energética luminosa da lâmpada de LED é maior até 9 vezes em relação às lâmpadas fluorescente e 37 vezes em relação as lâmpadas incandescentes, conforme foi constatado por SANTOS et. Al, 2015.

Outro fator importante para decidir pelo uso de lâmpadas LED é o impacto ambiental inerente ao uso da tecnologia fluorescente, pela importância do mercúrio em seu funcionamento, porém a concentração máxima de mercúrio não deve ultrapassar 5mg (REY-RAAP & GALLARDO, 2012).

Por outro lado, as incandescentes e as LED's não possuem a mesma característica, apesar de a quantidade de mercúrio presente nas lâmpadas fluorescentes não apresentar riscos

de contaminação nesta concentração de forma isolada, existe a preocupação quando se trata de grandes quantidades de lâmpadas armazenadas, tanto as quebradas, quanto as que sofrem pequenas deformidades em seus conectores, pela característica cumulativa do mercúrio na cadeia trófica. Nestes casos a contaminação dos corpos hídricos e superficiais ou águas subterrâneas, o acúmulo nos biomas, entre várias outras consequências, se torna um problema (ENERGY STAR, 2010; USEPA, 2012).

O mercúrio quando presente no ambiente é um risco claro para a saúde humana, existem estudos que relatam casos de mortalidade infantil, Alzheimer e Parkinson com relação ao contato pela contaminação de mercúrio no ambiente. Todas os grupos de organismos e ecossistemas podem ser afetados pelo mercúrio, desde os microrganismos da água e solo, a fauna de maneira geral. (WANG *et al.*, 2012; BOSE-O'REILLY *et al.*, 2010).

### **1.2.8 Climatização**

Consiste em oferecer determinado grau de conforto térmico, tal conforto pode se dar pela retirada de calor do ambiente, que podem ser feitos, por exemplo, pelos sistema de ar condicionado (tipo janela, Split, piso teto, ....), muito utilizado em países tropicais devido aos altos níveis de temperatura ambiente, que por sua vez, tem relação direta com irradiação solar elevada nas regiões próximas a linha do equador. Ou ainda sistema de aquecimento para regiões do mundo que vivem intensos e logos invernos, geralmente países distantes da linha do equador.

Basicamente, os sistemas de condicionamento de ar realiza a retirada de calor do ambiente climatizado e o descarta para o ambiente externo, tudo isso feito através de ciclos de evaporação e compressão de fluído, denominados fluidos refrigerantes, que a característica de, quando sua pressão diminui rapidamente, o fluido absorve calor. Basicamente, todo sistema de condicionamento de ar possui: compressor de gás refrigerante, válvula de expansão, evaporadora e condensador.

Os Split inverter são instalados diretamente na parede, com a serpentina evaporadora voltada para o interior do ambiente e a condensadora para o exterior. Tem capacidades de resfriamento geralmente entre 0,5 e 3,0 TR (1,75 e 10,5 kW) é classificado como sistema de expansão direta e utiliza uma unidade condensadora para cada unidade evaporadora.

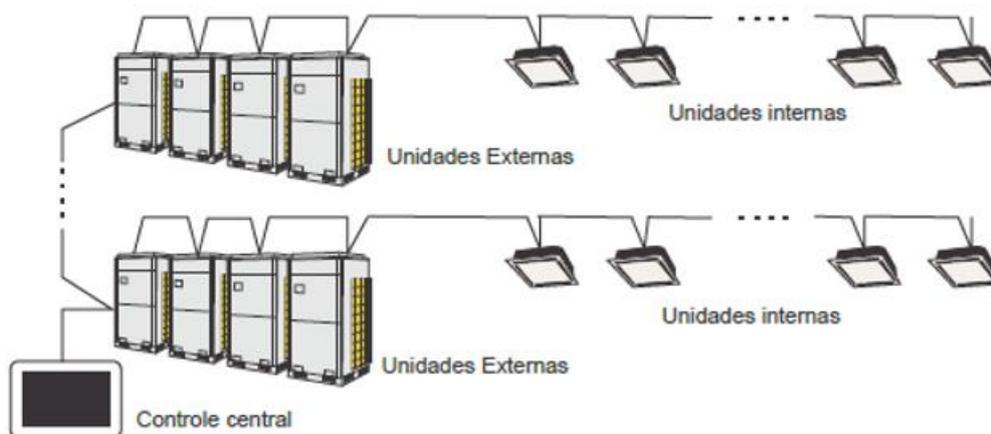
Unidades com tecnologia Split Inverter possuem um retificador de onda completa com capacitor para conexão do sistema de alimentação elétrica que é conectado ao inversor de frequência. Este inversor frequência torna possível a variação da velocidade de

funcionamento do compressor da unidade condensadora, dessa forma permite a refrigeração mais rápida mantendo-a constante, com pouca oscilação de temperatura e oferecendo economia no consumo de energia elétrica (COSTA, FLORIAN e MINOTTI, 2018).

De acordo com POZZA, os sistemas VRF atendem as necessidades de uma edificação com várias unidades internas necessitando apenas uma unidade externa, precisando de espaço físico menor para a instalação da unidade externa e menor custo de instalação. O equipamento VRF, basicamente, é um sistema que modula a vazão de refrigerante, por meio de um compressor com rotação variável e pela válvula de expansão eletrônica que é instalada nas unidades internas. Esses dois equipamentos operam simultaneamente de forma a acompanhar a variação da carga térmica refrigerante ou de aquecimento para cada zona, com o intuito de manter a temperatura o mais próximo possível da temperatura programada.

O VRF é um sistema de condicionamento de ar e sua sigla significa *Variable Refrigerant Flow* (Fluxo de Refrigerante Variável). O diferencial do sistema VRF, está na combinação entre os sistemas de controle microprocessados e a tecnologia eletrônica, além da interligação de diversas unidades internas em um só ciclo de refrigeração (Figura 9), possibilitando utilizar as evaporadoras do tipo Hi-Wall, piso teto, cassete e built in. Destacando-se por seu baixo nível de ruído, baixo consumo elétrico e coeficiente de operação (OLIVEIRA e MARTINS, 2014). A figura 9 demonstra esquematicamente um sistema VRF.

**Figura 9. Representação do sistema VRF.**



Fonte: GREE, 2020.

O sistema VRF embarca uma série de benefícios, entre eles, baixo custo de instalação, conforto, conservação de energia, fácil manutenção quando comparados a outros sistemas de condicionamento de ar convencionais. Tais sistemas têm sido utilizados em

pequenas e médias edificações com elevada diversidade, modulação precisa de refrigeração e aquecimento e alta confiabilidade (CHOI et. KIM, 2003).

LAWDER, 2012 fez um estudo de caso envolvendo uma agroindústria de laticínios no estado do Paraná, o foco do estudo era fazer o levantamento das ações possíveis a serem executadas visando o aumento da eficiência energética na planta da indústria. Com isso o autor utilizou os rendimentos nominais dos motores e a diferença de potência entre as propostas para simular a provável economia de energia, referente a refrigeração foi feita uma análise do COP (Coeficiente de Performance) através da potência do sistema fornecida pelo projeto e da medição da potência do compressor, chegando a um COP de 3,798 que comparado ao ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) estabelece como eficiente (COP igual a 3,8) para um sistema de mesma capacidade de refrigeração do laticínio, concluindo que o mesmo está em ordem.

Como resultado da análise da simulação ele obteve economia de energia de 11490,50 kWh o equivalente a economia de R\$ 2191,35, verificando a viabilidade financeira se obteve um payback 30 meses com uma taxa interna de retorno 3,93% a relação custo benefício 0,30 (LAWDER, 2012).

No mesmo escopo MA et Al, 2012 enfoca a questão específica do projeto de sistemas de controle avançado para eficiência energética em edifícios com sistema de armazenamento térmico, mais especificamente em sistemas HVAC através de modelagem, simulação e dados experimentais, utilizando o MCP (Modelo de Controle Preditivo). As simulações e resultados experimentais mostraram a eficácia do esquema de controle. Em particular, o desempenho do MCP exhibe vários aspectos das heurísticas sequências de controle HVAC de forma coordenada. A entrega das tecnologias de controle preditivo propostas e depende de ganhar a compreensão de vários desenhos e aspectos de implementação específicos para a indústria da construção.

Pensado pelo lado do controle de funcionamento dos condicionadores de ar, AGARWAL et. Al, 2010 apresentou o desenho e implementação de uma plataforma do sensor de presença que pode ser usada para detecção precisa de ocupação a nível de escritórios individuais com o intuito de controlar a utilização do HVAC para cada setor, desligando o mesmo quando não houvesse ocupação nas salas. Além disso, usando a estrutura de simulação das informações de construção e a ocupação das edificações que utilizaram o sistema, mostraram economia potencial de energia de 10% a 15% com o uso do sensor.

O melhor aproveitamento energético consiste tanto em aproveitar as fontes de energias existentes de forma sustentável, quando na economia da energia consumida. Esses

fatores dependem das regiões em que é feito cada estudo, principalmente o estudo para melhor aproveitamento das fontes de energia existentes.

Com isso, no capítulo seguinte são apresentados os objetivos deste trabalho com o intuito de melhorar este aproveitamento para duas indústrias de beneficiamento de sementes.

### 1.3 Referências Bibliográficas

AGARWAL Y. GUPTA B. B. R., LYLES J. WEI M., WENG T. *Occupancy-Driven Energy Management for Smart Building Automation* BuildSys 2010 November 2, 2010, Zurich, Switzerland.

Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL), *Banco de Informações de Geração: BIG*, 2017. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/>>

AYNUR, T. N.; HWANG, Y.; RADEMACHER, R. *Integration of Variable Refrigerant Flow and Heat Pump Desiccant Systems for Heating Season*, Energy and Buildings, v. 42 p. 468-476, 2010.

BOSE-O'REILLY, S.; McCARTY, K.M.; STECKLINH, N.; LETTMEIER, B. (2010) *Mercury exposure and children's health. Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, v. 40. p. 186-215.

BRASIL. (2001) Lei nº 10.295/01 - *Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia*. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm)> Acesso em: 24 dez. 2019.

BRASIL. (2011) Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os *procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)> Acesso em: 12 ago. 2017.

BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa nº414 de 9 de setembro de 2010. *Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada*. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/bren2010414.pdf>>. Acesso em: dez. 2018.

CANADIAN SOLAR, *Especificações técnicas*, 2017. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custum%2Fupload%2FFile-1515782035.pdf>> Acesso em: Março. 2020. <[capacidadebrasil.cfm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil.cfm)> Acesso em: 24.08.2019.

CHOY J. M., KIM, Y. C. *Capacity Modulation of na Inverter-Driven Multi-Air Conditioner Using Electronic Expansion Valves*, Energy, v. 28, p. 141-155, 2003.

CLIMA-DATA. Clima Rio Verde. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/rio-verde-4473/>>. Acesso em: 12/08/2019.

COELHO, S. T. et al. *A conversão da fonte renovável biogás em energia*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO (CBPE), 5, 2006, Brasília. Anais... Brasília: V CBPE, 2006.

COSTA, T. G. B.; FLORIAN, F.; MINOTTI, C. *Comparativo dos distúrbios causados na rede de alimentação pelo sistema de ar condicionado tipo split inverter em relação ao split convencional*. Universidade de Araraquara. Araraquara, p. 15, 03 dez 2018.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia; *Manual de Eficiência Energética na indústria* Edição: novembro 2005.

CREDER H., *Instalações Elétricas*, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1991.

CRESESB, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Grupo de Trabalho de energia Solar. *Potencial solar – Sundata V.3.0*. Rio de Janeiro: CRESESB, 1999. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>.

CRESESB, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de energia Solar. *Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CRESESB, 1999. Disponível em: <http://bit.ly/rggPRL>.

ENERGY STAR. (2010) *Information on Compact Fluorescent Light Bulbs (CFLs) and Mercury*. Energy Star Program: U.S. Department of Energy. Disponível em: <[http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change\\_light/downloads/Fact\\_Sheet\\_Mercury.pdf](http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change_light/downloads/Fact_Sheet_Mercury.pdf)> Acesso em: 25 dez. 2019.

EPE, *Anuário estatístico de energia elétrica 2018*. Disponível em :<[Http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-elétrica](http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-elétrica)> acesso: 20/03/2020

EPE - Empresa de pesquisa energética. *Balanco Energético Nacional 2018*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

ENERGY STAR. (2010) *Information on Compact Fluorescent Light Bulbs (CFLs) and Mercury*. Energy Star Program: U.S. Department of Energy. Disponível em: <[http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change\\_light/downloads/Fact\\_Sheet\\_Mercury.pdf](http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change_light/downloads/Fact_Sheet_Mercury.pdf)> Acesso em: 25 dez. 2019.

EPE, *Balanco Energético Nacional (BEN)*, 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 30.09.2019.

EPE, Resenha *energética Brasileira 2019*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energético/publicações/resenha-energética-brasileira>> Acesso em: 02/03/2020.

F. B. OLIVEIRA; M. VANDRESEN; M. PEREIRA, *Desenvolvimento de kit para conversão de motores diesel estacionários de geradores para operar com mistura diesel-gás natural*, 62-70.

FILHO, A. J. T. S. *Análise da Viabilidade de Sistema Híbrido Biogás-Solar na Geração de Energia e seus Impactos nas Emissões de Gases*. IF Goiano – Rio Verde Dissertação, mestrado, 2019, 123p.

FREEDOM. *Catálogo técnico bateria estacionária Freedom*. Disponível em: <[www.logik.com.br/download/ManualTecnicoBateriasFreedom.pdf](http://www.logik.com.br/download/ManualTecnicoBateriasFreedom.pdf)>. Acesso em: Março, 2020.

GREE, *Catálogo técnico*, Disponível em : <[www.gree.com.br/suporte/downloads/manuais](http://www.gree.com.br/suporte/downloads/manuais)> acesso em: 14/12/2019.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia Brasileiro, Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20 jan. de 2019.

J. L. N. P. E. GHISI, *Eficiência luminosa de produtos LED encontrados no mercado brasileiro*. Relatório Técnico, CB3E, UFSC 2014.

JUNIOR A. G. *Crise do Petróleo*. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/economia/crise-do-petroleo/>>. Acesso em: 14/08/2019.

KREUZ, C. L.; SOUZA, A.; CLEMENTE, A. *Custos de Produção, Expectativas de Retorno e de Riscos do Agronegócio Mel no Planalto Norte de Santa Catarina*. 2008, revista Custo e Agronegócio on line – v.4, n.1 – janeiro/abril – 2008.

LAWDER, J. H. *Análise energética e econômica em uma agroindústria de laticínios*. 79f. Dissertação (Mestrado) - UNIOESTE, Cascavel, 2012.

*Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995 - Planalto*. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19074cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19074cons.htm)>. Acesso em: 24.07.2019.

PINHO J. T., GALDINO M.A. **Sistemas fotovoltaicos**. Livro UFSC

MA Y. KELMAN A. DALY A. BORRELLI F *Predictive Control for Energy Efficient Buildings with Thermal Storage*, IEEE CONTROL SYSTEMS MAGAZINE, February, 2012, pp. 44-64.

OLIVEIRA, D. F.; MARTINS, J. C. *Metodologia para Análise e Escolha de Sistemas de Condicionamento de ar*. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 59. 2014.

PEREIRA, E. B. et al. *Atlas brasileiro de energia solar*. INPE, São José dos Campos, SP, BRA, 2006. v. 1. ISBN 85-17-00030-7. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)>.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. *Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica*. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. CEPTEL – CRESESB. Março de 2014.

POZZA, F. *Análise térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de fluxo de refrigerante variável – VRF*, Dissertação, (mestrado), Julho de 2011.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *O programa*, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD%7D>>. Acesso em: 11/08/2019.

RASOTO, A.; GNOATTO, A. A.; OLIVEIRA, A. G.; ROSA, C. F.; ISHKAWA, G.; CARVALHO, H. A.; LIMA, I. A.; LIMA, J. D.; TRENTIN, M. G.; RASOTO, V. I. *Gestão Financeira: enfoque em Inovação*. Curitiba- PR, Série UTFInova, 2012.

REY-RAAP, N. & GALLARDO, A. (2012) *Determination of mercury distribution inside spent compact fluorescent lamps by atomic absorption spectrometry*. *Waste Management*, v. 32, p. 944-948.

RODRIGUES S. F.; VASQUEZ G. H.; MORAIS J. S. *Substituição de lâmpadas fluorescentes por light emitting diode (LED) em uma instituição de ensino: Preocupação ambiental, energética e econômica*. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, V. 24 n.4 2019.

RUTHER, R. . *Edifícios solares fotovoltaicos 1ª ed.* – Editora UFSC / LABSOLAR. 2004.

SANDRINI, J. C. *Sistema de amortização de Empréstimos e a Capitalização de Juros: Análise dos Impactos Financeiros e Patrimoniais*. 2007, Dissertação (Mestrado em Contabilidade) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SANTOS T. S.; BATISTA M. C.; POZZA S. A.; ROSSI L. S. *Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais*. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. V. 20, n4, 20015.

SCHNEIDER, F. P. *Comparação de sistema de geração de energia utilizado gerador Diesel e painéis fotovoltaicos*. Dissertação (Mestrado), UNIOESTE Universidade estadual do Oeste do Paraná, Parana, 2019, 74 f.

SILVEIRA V. L.; NETO E. A. C. A.; TENFEN D.; FERNANDES R.C. *Gestão dos contratos de energia dos institutos federais de educação, ciência e tecnologia*, III Congresso internacional de Desempenho do Setor público. Setembro, 2019.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. *Matemática Financeira: Fundamentos, Conceitos e Aplicações*. São Paulo: Atlas, 2000.

TOLMASQUIM M. T.; GUERREIRO A.; GORINI R. *Matriz energética brasileira*. Novos estud. - CEBRAP no.79 São Paulo Nov. 2007

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. (2012) Compact Fluorescent Light Bulbs (CFLs). Disponível em: <<http://www.epa.gov/cfl/cfl-hg.html>> Acesso em: 25 dez. 2019.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações*. São Paulo: Erica, 2012.

WANG, J.; FENG, X.; ANDERSON, C.W.N.; XING, Y.; SHANG, L. (2012) *Remediation of mercury contaminated sites – A review*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 221-222, p. 1-8.

ZANICHELI, C.; PERUCHI, I.B.; MONTEIRO, L.A.; JOÃO, S.A.S.; CUNHA, V.F. (2004) *Reciclagem de lâmpadas: aspectos ambientais e tecnológicos*. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas. 22 p. Disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/reciclagem\\_de\\_lampadas\\_aspectos\\_ambientais\\_e\\_tecnologicos.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/reciclagem_de_lampadas_aspectos_ambientais_e_tecnologicos.pdf)>. Acesso em: 25 Dez. 2019.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral

- Avaliar as possibilidades de melhoria de eficiência energética nas duas indústrias de beneficiamento de grãos estudadas visando a maior economia energética e financeira.

### 2.2 Específicos

- Fazer o levantamento do consumo de energia médio no horário de ponta para ambas as sementeiras;
- Fazer o estudo de demanda contratada pelas empresas visando a adequação da demanda ótima para as mesmas;
- Dimensionar um grupo motor-gerador para horário de ponta de acordo com a média do consumo mensal de energia em três anos para este horário e avaliar a sua viabilidade econômica;
- Dimensionar um sistema de armazenamento de energia solar em banco de baterias para o uso no horário de ponta e avaliar sua a viabilidade econômica;
- Verificar a viabilidade técnica e financeira para substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED em dos ambientes administrativos da Sementes Goiás.
- Calcular a redução do consumo de energia e o tempo de retorno possível ao prever a substituição de sistemas de ar condicionado Splint inverter por sistemas VRF.

### 3. CAPÍTULO I:

## ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO ECONÔMICO DE GERAÇÃO AUTÔNOMA SOLAR VERSUS MOTOR GERADOR DIESEL NO HORÁRIO DE PONTA

(Normas de acordo com a Revista ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL)

Título Resumido para cabeçalho: VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO GERAÇÃO ENERGIA PARA O HORÁRIO DE PONTA

#### **Resumo**

Atualmente, com o avanço acelerado da tecnologia, a demanda por energia elétrica tem aumentado a cada ano. Contudo, as concessionárias de distribuição e empresas de geração de energia têm buscado políticas para a aumentar a capacidade de geração e transmissão de energia, tornando, para muitos consumidores, viável a autogeração de energia elétrica, seja por fontes renováveis ou por fontes não renováveis. Este trabalho teve como objetivo utilizar a ferramenta web MACDE para o cálculo da demanda ótima de duas indústrias de beneficiamento de grãos. Também avaliar e comparar a viabilidade de implantação de dois sistema de geração de energia elétrica (um renovável e o outro não) para suprir parcialmente o consumo de energia no horário de ponta de ambas as indústrias, avaliando o investimento em um sistema fotovoltaica off-grid e um motor-gerador a Diesel obtendo como parâmetro de viabilidade financeira o VPL, *payback* e custo de energia elétrica. Chegando à conclusão que não é viável o investimento no sistema fotovoltaico *off-grid*, que atingiu o custo da energia para o projeto da SMG de R\$ 8,22/ kWh com o investimento, e R\$ 9,04/kWh para a menor indústria. Para o sistema de motor gerador se tem um VPL ao fim da vida útil dos equipamentos, *payback* e custo da energia com o investimento para a indústria de maior porte de R\$ 3.725.005,58, 0,8 anos e R\$1,44/ kWh respectivamente, e para a indústria de menor porte de R\$ 254.450,85, 3,94 anos e R\$ 1,78/kWh, que comparado ao valor da tarifa no horário de ponta torna o investimento com o grupo motor gerador viável.

**Palavras-chave:** Sistema Fotovoltaico Off-grid; Grupo Motor Gerador; Investimento.

**Abstract:**

Currently, with the accelerated advance of technology, the demand for electricity has increased every year. However, distribution utilities and power generation companies have pursued policies to increase power generation and transmission capacity, making it feasible for many consumers to self-generate electricity, whether from renewable or nonrenewable sources. This work aimed to use the MACDE web tool to calculate the optimal demand of two grain processing industries. It also evaluated and compared the feasibility of implementing two power generation systems (one renewable and the other non-renewable) to partially supply the peak energy consumption of both industries, evaluating the investment in an off-grid photovoltaic system and a Diesel engine-generator, obtaining as financial viability parameter the NPV, payback and cost of electricity. Reaching the conclusion that the investment in the off-grid photovoltaic system is not viable, which reached an energy cost for the SMG project of R\$ 8.22/kWh with the investment, and R\$ 9.04/kWh for the smallest industry. For the generator motor system, there is a NPV at the end of the equipment's useful life, payback and energy cost with the investment for the larger industry of R\$ 3,725,005.58, 0.8 years and R\$ 1.44/kWh respectively, and for the smaller industry of R\$ 254,450.85, 3.94 years and R\$ 1.78/kWh, which compared to the tariff values at peak hours turning the investment with the generator motor group viable.

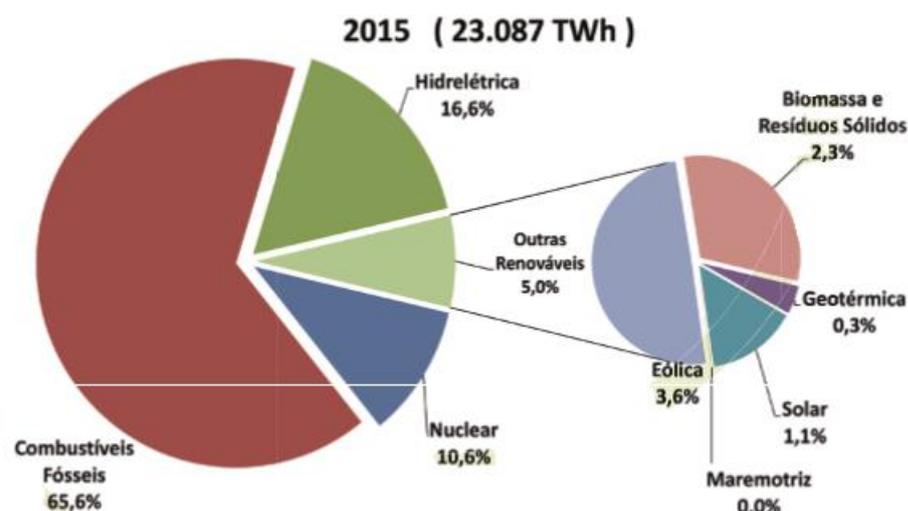
**Keywords:** Off-grid photovoltaic system; Generator Motor Group; Investment.

### 3.1 Introdução

Na atual conjuntura de desenvolvimento tecnológico da sociedade, a demanda por energia elétrica está crescendo a cada ano, e também a população mundial. Outro fator que pode ser relacionado com o aumento no consumo global de energia elétrica é dado pela corrida incessante das nações na busca por melhorar a sua economia interna, passando diretamente pela ampliação do setor de produção secundário (indústria).

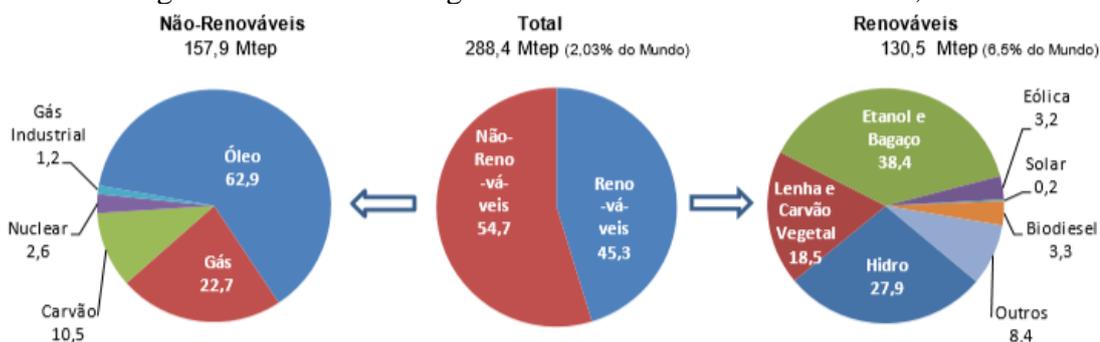
Em 2015, a geração de energia no mundo tinha como grande fonte os combustíveis fósseis, como pode ser observado na figura 10, 65,8% da energia produzida no mundo (incluindo os meios de transporte) tinham como fonte os combustíveis fósseis. As fontes renováveis representavam 21,8% da energia gerada no mundo, sendo que em sua grande maioria é advinda do aproveitamento do potencial hidrelétrico que compõem 16,8% da geração total de energia. As outras fontes de energia renováveis têm representatividade de apenas 5,0%, sendo que a energia solar corresponde a 1,1% da geração total no planeta (EPE, 2018).

Figura 10. Geração de energia no mundo em 2015. Fonte: EPE, 2018



A matriz energética brasileira é composta a cerca de 55% na utilização de fontes de energias não renováveis (óleo, gás, nuclear, gás industrial e carvão) e 45 % de fontes renováveis no ano de 2018, esses dados incluem a utilização de energia amplo, incluindo a energia elétrica, mas também a energia mecânica obtida pela queima de combustíveis provindos do petróleo nos veículos com motores a combustão interna (MME, 2019).

Figura 11 Oferta de energia no Brasil em 2018. Fonte: MME, 2019

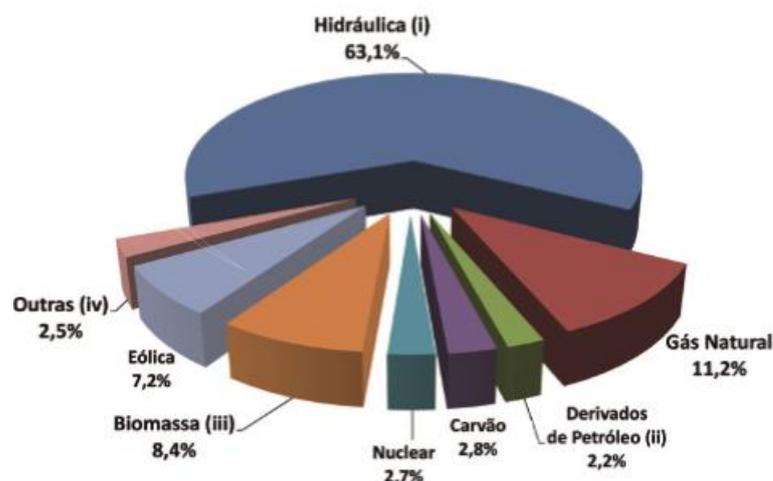


Um das fontes de energias renováveis que menos causam danos ao meio ambiente é a energia solar, apesar que no Brasil essa fonte de energia não tem grande significância na sua matriz energética. De acordo com o Ministério de Minas e Energias, a energia elétrica produzida através do aproveitamento solar equivale apenas a 0,2 % (figura 11) da matriz energética brasileira total, valor muito baixo se comparado com o principal recurso natural usado para a obtenção de energia elétrica, que é a hidráulica, que compõem 27,9% das fontes de energia renováveis no Brasil (MME, 2019).

Ao verificar a geração elétrica por fonte no Brasil (Figura 12), é possível identificar a preponderância da utilização da energia potencial hidráulica que se refere a 63,1% do total (370.906 GWh), para a geração de energia elétrica através da queima dos derivados do petróleo possui a representatividade de 2,2% do total (12,733 GWh). Para o aproveitamento da energia solar representava apenas 0,6 % da capacidade instalada (EPE,2018).

Dessa forma, existe incentivo, ainda que pequeno, por parte dos poderes públicos na promoção do investimento em geração de energia elétrica própria pelas empresas, o que, em alguns casos pode ser viável em horários específicos durante o dia. Como o horário de ponta adotado pela legislação brasileira, que compreende o horário de maior exigência por parte do consumidor, o fim do horário comercial, quando cada cidadão retorna para casa e utiliza mais energia elétrica, como os chuveiros elétricos. Tal horário é previsto das 18 às 21 horas para o estado de Goiás, que pode variar para outros estados brasileiros, e as tarifas com a energia elétrica podem chegar cinco vezes maior ao valor do horário convencional (SILVEIRA et Al, 2019).

Figura 12. Geração elétrica por fonte no Brasil. Fonte: EPE, 2018



Diante do exposto, estudos do uso de fontes alternativas de energia elétrica para o horário de ponta são de grande importância, pois ajuda tanto a concessionária que em muitos casos estão sobrecarregadas com os consumidores, cada vez mais exigentes neste posto horário, quanto os consumidores devido a melhoria na utilização da energia que pode ser produzida no local, sofrendo menos com tensões parasitas provenientes da rede, distorções harmônicas, queda de tensão e variações de tensão.

Com isso, este artigo tem o objetivo de dimensionar dois sistemas de geração de energia, um que se enquadra como fonte de energia renovável (solar) e o outro com a

utilização de combustível fóssil (Diesel) para atender parte do consumo de energia no horário de ponta, cujo custo é demasiadamente elevado quando comparado a outros horários do dia.

Esse dimensionamento será feito para duas indústrias de beneficiamento de sementes de soja da cidade de Rio Verde, sendo uma considerada de grande porte, a Sementes Goiás (SMG) e outra de pequeno porte, a Caraíba Sementes, visando alternativas de investimento em geração própria que sejam viáveis economicamente. O trabalho buscou avaliar o investimento realizado para ambas as opções de geração nas duas indústrias com o intuito de verificar, diante do tempo de vida útil de cada tecnologia, o custo da energia produzida comparando com o custo da energia fornecida pela concessionária.

### **3.2 Materiais e Métodos**

No primeiro momento foi feita uma reunião com a gerência de uma das empresas para levantar os principais pontos de estudo de melhoria da eficiência energética da planta industrial, com isso foram identificados os principais pontos de análise, sendo eles:

- O estudo da demanda ótima para as duas empresas;
- Análise técnica e econômica da utilização apenas de motor geradores Diesel para suprir o consumo de energia no horário de ponta, visando a economia de energia provinda da concessionária neste horário;
- Análise de viabilidade técnica e econômica do uso de banco de baterias carregadas durante o dia por painéis fotovoltaicos para utilizá-las no horário de ponta.

Após este contato, histórico das faturas de energia elétrica das empresas foi fornecido, juntamente com a planta baixa, dessa forma foi possível fazer a estimativa da média de energia elétrica consumida por mês, para fazer o dimensionamento do grupo gerador e do sistema de armazenamento de energia solar.

Devido a proporção das empresas estudadas, da indisponibilidade de informações quanto a potência instalada na fábrica juntamente com o tempo de uso de cada equipamento, foi adotado como referência a média de consumo de energia elétrica mensal dos últimos três anos, 2017, 2018 e 2019. para assim fazer o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, fazendo necessária a estimativa da energia consumida através do histórico das contas de energia.

O estudo da demanda de energia ótima foi feito através da ferramenta web MACDE (Modelo de avaliação dos contratos de demanda de energia), desenvolvida pela IFSC (Instituto Federal de Santa Catarina), (disponível no site <https://gese.florianopolis.ifsc.edu.br/macde/>) que necessita do histórico das demandas medidas dos dois últimos anos, crescimento percentual esperado, critério de cálculo, folga percentual, demanda contratada atual e tarifa de demanda/energia para fazer tal cálculo, devolvendo o valor da demanda necessária, juntamente com a avaliação econômica de acordo com a nova demanda e a estimativa do valor gasto anualmente com a demanda atual. Dessa forma, pode-se fazer a avaliação do valor economizado com o ajuste da demanda ótima.

O método para o dimensionamento do sistema solar de armazenamento para o horário de ponta foi do mês crítico, que utiliza como base de cálculo o mês do ano com menor média incidência de irradiação solar.

Para o dimensionamento do Grupo Motor Gerador, foi levada em consideração a potência média diária no horário de ponto, determinando o regime de operação do mesmo de acordo com a sua solicitação

### **3.2.1 Sistema Fotovoltaico Autônomo**

O dimensionamento de sistemas fotovoltaicos está completamente ligado aos fatores climatológicos do local em que o estudo foi realizado, neste caso em específico, em Goiás. Conhecer a radiação solar incidente do local ou região é a primeira etapa das fases do dimensionamento fotovoltaico. Para o dimensionamento, foi adotado dados de irradiação do CRESESB que para a região de Rio Verde demonstrada na tabela a seguir na tabela 4:

Tabela 4. Irradiação solar em Rio Verde. Fonte: CRECESB, 2020.

| <b>Potencial solar para Rio Verde</b> |                                                                           |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Meses</b>                          | <b>Irradiação diária média<br/>(kWh.(m<sup>2</sup>.dia)<sup>-1</sup>)</b> |
| <b>Janeiro</b>                        | 5,56                                                                      |
| <b>Fevereiro</b>                      | 5,56                                                                      |
| <b>Março</b>                          | 5,09                                                                      |
| <b>Abril</b>                          | 5,00                                                                      |
| <b>Mai</b>                            | 4,63                                                                      |
| <b>Junho</b>                          | 4,36                                                                      |
| <b>Julho</b>                          | 4,56                                                                      |
| <b>Agosto</b>                         | 5,50                                                                      |
| <b>Setembro</b>                       | 5,25                                                                      |
| <b>Outubro</b>                        | 5,37                                                                      |
| <b>Novembro</b>                       | 5,37                                                                      |
| <b>Dezembro</b>                       | 5,73                                                                      |

Ao saber os valores de radiação solar, deu-se início ao estudo de viabilidade técnica do sistema fotovoltaico para utilização no horário de ponta, pois o potencial de geração do painel fotovoltaico solar é diretamente relacionada a incidência da radiação, sendo que quanto maior a radiação solar, maior o potencial de geração do painel.

O sistema fotovoltaico foi dimensionado utilizando a média do consumo de energia mensal dentro de três anos no horário de ponta, o que faz necessária a utilização de sistemas de armazenamento de carga. No entanto, existem meses em que a demanda de energia é maior, como os meses de janeiro a abril quando ocorrem os períodos safra da soja, nestes meses o sistema proposto deverá trabalhar em paralelo à rede, devido a capacidade do sistema não conseguir cobrir tal demanda.

Porém existiram meses que o sistema trabalhará com pouca carga no horário de ponta, “sobrando” energia armazenada nos bancos de baterias, que poderão ser utilizados no horário reservado, contudo, é de conhecimento que ambas as empresas estão em constante expansão da sua planta, o que possivelmente irá aumentar a demanda de energia nos próximos anos, tornando o potencial do sistema dimensionado neste trabalho completamente utilizado no horário de ponta.

Os módulos fotovoltaicos possuem uma inclinação ideal de trabalho que pode ser determinada através da latitude do local de instalação. A configuração do sistema proposto é semelhante ao sistema *off-grid*, portanto o cálculo de inclinação foi feito de acordo com o que é utilizado para esses sistemas, conforme a equação (1).

$$\beta = \phi + \left(\frac{\phi}{4}\right) \quad \text{Equação (1)}$$

Fonte: *BLUE SOLAR*, 2016.

Em que:

$\beta$  - inclinação do painel em relação ao plano horizontal;

$\Phi$  - Latitude de Rio Verde (°).

A seguir são descritas as características que dever ser levadas em consideração quando se faz um dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo.

Características do sistema fotovoltaico:

- Demanda diária;
- Potência dos inversores autônomos.

Banco de baterias:

- Capacidade útil;
- Profundidade de descarga;
- Capacidade Real;
- Configuração dos elementos;

Painel Fotovoltaico:

- Disponibilidade solar;
- Potencial solar no plano fotovoltaico;
- Cálculo e configuração de elementos;
- Controladores de carga.

### 3.2.1.1 Método de cálculo

Foi adotado o método do mês crítico para o dimensionamento do SFA, que consiste em utilizar como parâmetro a menor irradiância solar média mensal dentro de um ano, obtendo nos demais meses do ano uma geração excedente que pode ser utilizado no próximo posto horário. Todo o equacionamento foi retirado do manual da *BLUE SOLAR*, 2016, para sistemas fotovoltaicos autônomos.

### 3.2.1.2 Energia real diária

Antes de dimensionar os componentes do sistema propriamente ditos, é necessário o cálculo da energia real a ser fornecida pelo sistema, que deve ser acrescida das perdas que são próprias do sistema fotovoltaico (geração, transmissão e conversão). ATOMRA, 2014 determina o rendimento global padrão de funcionamento de um sistema fotovoltaico em 83%, obtendo através da equação (2) a energia real que deverá ser gerada.

$$ER = \frac{E.D}{R} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

ER - Energia Real diária (considerando as perdas);

ED - Energia Diária a ser fornecidas às cargas;

R - Rendimento Global da Instalação em decimal.

### 3.2.1.3 Dimensionamento de banco de baterias

O número total de baterias consiste no número de baterias em série multiplicado pelo número de baterias em paralelo de acordo com a equação (3).

$$NB = BS.BP \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

NB - Número de Baterias;

BS - Baterias em série (para alcançar a tensão de projeto);

BP - Baterias em paralelo (para alcançar a capacidade de acumulação necessária).

Para o número de baterias em paralelo, se faz a razão entre a capacidade real (equação (5)) do banco de baterias pela capacidade nominal da bateria individualmente, como descreve a equação (4).

$$BP = \frac{CR}{CN} \quad \text{Equação (4)}$$

Em que:

BP - Baterias em paralelo (para alcançar a capacidade de acumulação necessária);

CR - Capacidade Real do Banco de Baterias (Ah);

CN - Capacidade Nominal da Bateria/elemento (em Ah).

A capacidade real do banco de baterias é calculada através da capacidade útil do sistema (equação (5)), que é inversamente proporcional à profundidade máxima de descarga do sistema determinada de acordo com a perspectiva de vida útil do banco de baterias desejado, sendo que quanto maior a profundidade de carga menor será o número de ciclos de carga e descargas que poderão ser feitas pelas baterias consequentemente menor será a sua vida útil.

$$CR = \frac{CU}{Pd} \quad \text{Equação (5)}$$

Em que:

CR - Capacidade Real. do Banco de Baterias (Ah);

CU - Capacidade útil do Banco de Baterias (Ah);

Pd - Profundidade de descarga das baterias/elementos no fim da autonomia (%).

Para encontrar a capacidade útil de banco de baterias utiliza-se a equação a seguir:

$$\text{CapU} = \frac{ER.N}{Vi} \quad \text{Equação (6)}$$

Em que:

CapU - Capacidade útil do Banco de Baterias (Ah);

ER - Energia Real diária (kWh considerando as perdas);

Vi - Tensão do sistema (V);

N - Autonomia máxima estimada das baterias (dias).

A quantidade de baterias (equação (7)) em série é determinada pela razão entre a tensão estipulada para o sistema e a tensão das baterias individuais.

$$BS = \frac{Vi}{VB} \quad \text{Equação (7)}$$

Em que:

BS - Baterias em série (para alcançar a tensão de projeto);

Vi - Tensão de operação do sistema (V);

VB - Tensão nominal da bateria/elemento (V).

$$HSP = \frac{RA}{MRS} \quad \text{Equação (8)}$$

Em que:

HSP - Horas de Sol Pleno (h/dia);

RA - média de radiação solar (kWh.(m<sup>2</sup> dia)<sup>-1</sup>);

MRS - Manutenção de radiação solar por metro quadrado (kW.m<sup>-2</sup>).

Através da equação (8) é calculado o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW.m<sup>-2</sup> (MRS), de forma que a energia resultante seja condizente com a energia disponibilizada pelo sol no local da edificação acumulada ao longo de um dia.

### 3.2.1.4 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

A quantidade de módulos é calculada pelas fórmulas a seguir, que, necessitam das informações do módulo fotovoltaico que será utilizado, pois tanto a equação (11), quanto a equação (12) necessitam dos valores de tensão elétrica e corrente máxima potência do módulo. Posteriormente sendo utilizadas na equação (10) para encontrar a quantidade total de módulos do sistema.

$$Nm = ms \cdot mp \quad \text{Equação (10)}$$

Em que:

Nm - Número total de módulos fotovoltaicos;

ms - Módulos em série (para alcançar a tensão de projeto);

mp - Módulos em paralelo (para alcançar a corrente de projeto).

$$mp = \frac{\left(\frac{Ep}{Vi}\right)}{09 \cdot Imp \cdot HSP}$$

Equação (11)

Em que:

mp - Módulos em paralelo (para alcançar a corrente de projeto);

Ep - Energia que o Pannel deverá gerar diariamente (Wh/dia);

Vi - Tensão no banco de baterias (V);

Imp - Corrente de Máxima Potência do Módulo escolhido (A);

HSP = Horas de Sol Pleno (h/dia).

$$ms = \frac{Vi}{Vm}$$

Equação (12)

Em que:

$m_s$  - Módulos em série (para alcançar a tensão de projeto);

$V_i$  - Tensão nominal de operação da instalação (V);

$V_m$  - Tensão nominal do módulo fotovoltaico escolhido (V).

### **3.2.2 Grupo motor-gerador**

Para o dimensionamento do gerador a diesel para o horário de ponta foi utilizado, dentro dos históricos de três anos, a média de consumo de energia elétrica no horário em questão, para ter como base o consumo de energia elétrica média diária e a potência média durante as três horas do horário de ponta deste mês em específico.

Com isso, foi estipulada a potência do gerador necessária para cobrir essa potência, iniciando posteriormente um contato com um dentre os vários fornecedores de grupo geradores para orçar os valores de aquisição do GMG, visando fazer dessa forma o estudo econômico da viabilidade para ambos os casos, verificando qual é mais viável, fazendo ainda a verificação dos custos com manutenção, consumo de combustível (pela tabela da Agência Nacional de Petróleo) e operação do sistema.

Para o cálculo da quantidade de litros de combustível consumidos durante o mês é feito através do consumo máximo para cada faixa de potência dos geradores permitido pela Aneel através da REN 427 de 2010. Foi feito um levantamento do valor do óleo diesel para cada mês do ano de 2019 por um histórico fornecido pela ANP para todas as cidades do Brasil, sendo utilizado o valor do mês de janeiro na cidade de Rio Verde, que foi o último mês registrado até o presente momento comercializado.

Com o estudo do dimensionamento da usina fotovoltaica e do grupo motor gerador e da viabilidade para ambos, foi avaliado qual dos dois sistemas é mais viável economicamente.

## **3.3 Discussão de resultados**

Neste tópico foi demonstrado e discutido os resultados sobre o estudo da demanda ótima, o dimensionamento do sistema fotovoltaico off grid juntamente com os seus custos de equipamento, operação e manutenção, o mesmo foi feito para o conjunto motor gerador.

### **3.3.1 Demanda ótima**

O cálculo da demanda ótima de energia por meio da ferramenta MACDE, foram utilizados os dados da Caraíba Sementes referentes ao histórico das demandas lidas nas faturas dos últimos dois anos juntamente com as informações da tabela 5.

Tabela 5. Dados da fatura de energia elétrica CSM. Fonte: Autor, 2020.

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| <b>Tarifa no horário fora de ponta</b>  | R\$ 0,517  |
| <b>Tarifa no horário de ponta</b>       | R\$ 2,490  |
| <b>Tarifa de Demanda</b>                | R\$ 27,824 |
| <b>Taxa de crescimento do algoritmo</b> | 5%         |
| <b>Demanda contratada atualmente</b>    | 230 kW     |

Conforme pode ser observado no relatório emitido pela ferramenta MACDE (figura 13), a ferramenta sugeriu a redução da demanda contratada para 209 kW, o custo anual com a utilização dessa demanda foi estimado em R\$ 76.588,46, com a demanda de 230 kW o custo anual era de R\$ 79.954,68, dessa forma, a economia anual que pode ser gerada apenas com a alteração da demanda contratada é de R\$ 3.366,22. Mostrando que a demanda contratada atualmente está bem próxima da demanda ótima calculada pela ferramenta.

Figura 13. Relatório MACDE CSM. Fonte: MACDE, 2020.



Os dados referentes à alimentação da ferramenta MACDE para a Sementes Goiás foram os históricos das demandas lidas dos últimos dois anos juntamente com os dados apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Dados da fatura de energia da SMG. Fonte: Autor,2020.

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| <b>Tarifa no horário fora de ponta</b>  | R\$ 0,523  |
| <b>Tarifa no horário de ponta</b>       | R\$ 2,489  |
| <b>Tarifa de Demanda</b>                | R\$ 27,824 |
| <b>Taxa de crescimento do algoritmo</b> | 5%         |
| <b>Demanda contratada atualmente</b>    | 990 kW     |

Depois foi dado o início à simulação retornando o relatório (Figura 14) demonstrando um custo anual de R\$ 568.185,00 utilizando a demanda contratada atual, sugeri a alteração da demanda contrata para 1290,00 kW, estimando um custo anual com R\$ 470.519,00. Podendo gerar uma economia anual de R\$97.666,00.

Figura 14. Relatório MACDE SMG. Fonte: MACDE, 2020



### 3.3.2 Sistema Fotovoltaico Autônomo

Através da equação 1, obtém-se a inclinação dos painéis solares em relação ao solo para o norte geográfico utilizando a latitude do local de instalação, no caso para Rio Verde que está localizada a 17° 44' 21" sul, com isso, a inclinação dos painéis deve ser de 22,2 ° Norte.

Analisando o perfil de carga das sementeiras utilizando a média dos meses dos anos de 2017 a 2019 para a Sementes Goiás pode ser observada na tabela abaixo.

Tabela 7. Histórico de consumo e demanda de energia elétrica no horário de ponta Sementes Goiás. Fonte: Autor, 2020.

|                  | Ano 2017     |               | Ano 2018     |               | Ano 2019     |               |                      |                        |
|------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|------------------------|
|                  | Demanda (kW) | Energia (kWh) | Demanda (kW) | Energia (kWh) | Demanda (kW) | Energia (kWh) |                      |                        |
| Horário de ponta |              |               |              |               |              |               | Média de demanda(kW) | Média de consumo (kWh) |
| Janeiro          | 160          | 4417          | 347          | 14828         | 934          | 30424         | 480,33               | 16556,33               |
| Fevereiro        | 704          | 15922         | 529          | 15993         | 1238         | 40299         | 823,67               | 24071,33               |
| Março            | 889          | 28395         | 1120         | 36364         | 1003         | 37931         | 1004                 | 34230                  |
| Abril            | 873          | 24715         | 1120         | 30213         | 679          | 25647         | 890,67               | 26858,33               |
| Mai              | 508          | 14309         | 857          | 27339         | 313          | 9800          | 559,33               | 17149,33               |
| Junho            | 454          | 13049         | 563          | 10005         | 187          | 7535          | 401,33               | 10196,33               |
| Julho            | 648          | 19303         | 902          | 19653         | 547          | 21228         | 699,00               | 20061,33               |
| Agosto           | 697          | 30854         | 1085         | 42137         | 567          | 15360         | 783,00               | 29450,33               |
| Setembro         | 657          | 26788         | 1013         | 41837         | 344          | 11588         | 671,33               | 26737,67               |
| Outubro          | 567          | 22723         | 931          | 35248         | 371          | 15940         | 623,00               | 24637                  |
| Novembro         | 637          | 22951         | 1015         | 41814         | 396          | 13833         | 682,67               | 26199,33               |
| Dezembro         | 601          | 20162         | 1003         | 36639         | 383          | 16371         | 662,33               | 24390,67               |
| Média            | 616,25       | 20299         | 873,75       | 29339,2       | 580,17       | 20496         | 690,06               | 23378,17               |

A média de consumo de energia elétrica para o horário de ponta para a planta industrial da Sementes Goiás situada na cidade de Rio Verde nos últimos três anos foi de 23378,17 kWh/mês e a média de demanda foi de 690,06 kW (Tabela 7). O consumo médio diário foi de 1062,65 kWh/dia.

Tabela 8. Histórico de consumo e demanda de energia elétrica no horário de ponta Caraíba Sementes. Fonte: Autor, 2020.

|                  | Ano 2017      |               | Ano 2018      |               | Ano 2019      |               | Média de demanda (kW) | Média de consumo (kWh) |
|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|------------------------|
|                  | Demand a (kW) | Energia (kWh) | Dema nda (kW) | Energia (kWh) | Demand a (kW) | Energia (kWh) |                       |                        |
| Horário de ponta |               |               |               |               |               |               |                       |                        |
| Janeiro          | 34            | 628           | 103           | 1937          | 154           | 5285          | 97,00                 | 2616,67                |
| Fevereiro        | 149           | 2673          | 36            | 822           | 210           | 5841          | 131,67                | 3112,00                |
| Março            | 146           | 3663          | 137           | 2136          | 171           | 5188          | 151,33                | 3662,33                |
| Abril            | 123           | 2139          | 115           | 2679          | 98            | 3961          | 112,00                | 2926,33                |
| Maio             | 55            | 1473          | 90            | 2267          | 77            | 3000          | 74,00                 | 2246,67                |
| Junho            | 67            | 1550          | 82            | 1823          | 60            | 1568          | 69,67                 | 1647,00                |
| Julho            | 52            | 1407          | 97            | 2269          | 106           | 2288          | 85,00                 | 1988,00                |
| Agosto           | 36            | 1153          | 84            | 2189          | 114           | 3372          | 78,00                 | 2238,00                |
| Setembro         | 81            | 1267          | 87            | 1833          | 69            | 2208          | 79,00                 | 1769,33                |
| Outubro          | 99            | 2425          | 128           | 3236          | 72            | 2338          | 99,67                 | 2666,33                |
| Novembro         | 94            | 2197          | 112           | 3425          | 82            | 2060          | 96,00                 | 2560,67                |
| Dezembro         | 109           | 3473          | 96            | 2592          | 70            | 1149          | 91,67                 | 2404,67                |
| Média            | 87,08         | 2004,00       | 97,25         | 2267,33       | 106,92        | 3188,17       | 97,08                 | 2486,50                |

A média de consumo de energia elétrica para o horário de ponta para a planta industrial da Caraíba Sementes situada na cidade de Rio Verde no histórico de três anos foi de 2486,50 kWh/mês e a média de demanda foi de 97,08 kW (Tabela 8). O consumo médio diário foi de 113,02 kWh/dia com 37,67 kW de potência média.

Depois foi estipulado a folga no dimensionamento do inversor, que determina a folga no funcionamento do inversor em relação a potência de trabalho do SFA, para tanto, utiliza-se uma referência entre 30% e 50% para o trabalho do inversor, neste caso a tabela 4 mostra os valores de referência para a escolha do inversores.

Tabela 9. Análise de curva de carga. Fonte: Autor, 2020

| Dimensionamento do inversor |                            |                   |                   |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
|                             | Potência média diária (kW) | Folga de 30% (kW) | Folga de 50% (kW) |
| <b>Sementes Goiás</b>       | 355                        | 506,02            | 708,43            |
| <b>Caraíba Sementes</b>     | 37,67                      | 53,82             | 75,35             |

Portanto, de acordo com a tabela 7, o inversor para o dimensionamento do SFA da Sementes Goiás deve ter uma potência entre 506,02 kW a 708,43 kW, e o da Sementes Caraíba pode ficar entre 53,82 kW e 75,35 kW.

Para o dimensionamento do inversor de frequência foi adotado o inversor solar off grid Victron (35730-8) (figura 4) de 15 KVA, FP 0,92, 13,8 kW de onda senoidal pura mais carregador. Dessa forma, foi adotado a utilização um conjunto de 4 inversores, totalizando a potência de 60 kW para a sementes Caraíba e um conjunto de inversores para atingir a potência de 510 kW para a Sementes Goiás, sendo necessário a utilização de um conjunto de 35 inversores para atingir tal potência.

Figura 15. Inversor solar off grid Victron (35730-8) 15000 VA. Fonte: ALDO SOLAR, 2019.



De acordo com ATOMRA, 2014 o rendimento global padrão de funcionamento de um sistema fotovoltaico de 83% (perdas na geração e transmissão de potência). Dessa forma pode-se calcular a energia real que precisa ser gerada pelo sistema SFA utilizando a energia diária produzida pelo sistema acrescida com a eficiência do inversor que é de 98% de acordo com os manuais técnicos. Segue na tabela 10 os valores de energia real para cada planta industrial obtida pela equação 2.

Tabela 10. Energia total por unidade consumidora. Fonte: Autor, 2020.

|                  | <b>Consumo médio diário (kWh)</b> | <b>Acréscimo do inversor (kWh)</b> | <b>Energia real diária (kWh)</b> |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Sementes Goiás   | 1062,64                           | 1084,33                            | 1306,4                           |
| Caraíba Sementes | 113,02                            | 118,97                             | 143,3                            |

### 3.3.2.1 Banco de baterias

Para o dimensionamento do banco foi possível utilizar as equações 3, do número total de baterias, que trata da multiplicação do número de baterias em paralelo (equação 4) e o número de baterias em série (equação 7). Para o dimensionamento do banco de baterias é utilizada a bateria estacionária DF4001 da fabricante Freedom de 12 V e capacidade  $C = 240$  Ah (Figura 16).

Figura 16. Bateria estacionária Heliar Freedom. Fonte: FREEDOM, 2008.



Utilizando a equação 3, tendo a tensão do sistema estipulado em 48 Volts ( $V_i$ ), por permitir o uso de condutores elétricos com secções transversais menores, no caso da utilização de 12 ou 24 Volts. Já a tensão elétrica de cada bateria é estipulada pelo fabricante, no caso da bateria proposta a tensão individual ( $V_b$ ) é de 12 V. Portanto, foram utilizadas quatro baterias em série (BS) através da equação (7) que é a razão entre a tensão do sistema  $V_i$  e a tensão de cada bateria  $V_b$ .

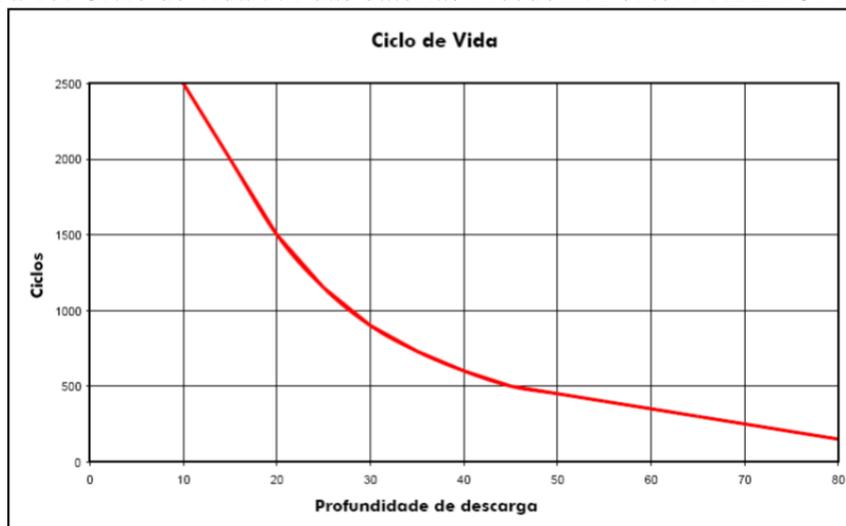
Para a quantidade de baterias em paralelo é necessário o cálculo da capacidade útil (CU) do banco de baterias (equação 6), e a capacidade real (CR) do banco de baterias (equação 5).

Para o cálculo da CU, foi estipulado a autonomia de dois dias para as baterias, tendo em vista que na região de ambas as plantas industriais a indisponibilidade solar não costuma se estender por mais de um dia. A energia real diária foi calculada (Tabela 10) tendo em vista as perdas no inversor de frequência, perdas por geração e transmissão, dessa forma a energia real diária para a Sementes Goiás é de 1306,4 kWh e para a Sementes Caraíba de 143,3 kWh, a tensão do sistema para ambos os casos é de 48 V. Com isso, a CU calculada para a planta

da sementes Goiás é de 54434,3 Ah e para a sementes Caraíba a capacidade útil é de 5972,2 Ah.

Calculando a capacidade real do banco de baterias, foi determinado através do manual da bateria FREEDOM, 2008, a Figura 17 mostra a curva entre profundidade de carga e os ciclos de carga e descarga da bateria.

Figura 17. Ciclo de vida útil das baterias Freedom. Fonte: FREEDOM, 2008.



O mesmo manual determina que para a profundidade de carga de 20% o ciclo diário de carga e descarga da bateria é de 1500, a vida útil da bateria é de aproximadamente 4 anos, para tanto, caso a profundidade de carga seja estipulada em 40% com o número de ciclos de carga e descarga de aproximadamente 750, a vida útil da bateria é de 2 anos. Para este dimensionamento foi adotado a profundidade de carga de 20%.

Ao estipular a profundidade de descarga do banco de baterias, foi possível calcular a capacidade real do banco de baterias, sendo que para a Sementes Goiás  $CR = 272171,4$  Ah e para Sementes Caraíba  $CR = 29862,3$  Ah.

Seguindo com o cálculo de baterias em paralelo, utilizando a equação 3, levando em consideração a capacidade individual de cada bateria (240 Ah) a quantidade de baterias em paralelo dimensionada para a Sementes Goiás foi de 1134, e para Caraíba Sementes 124,4, arredondando para 125 baterias de 240 Ah.

Dessa forma é possível calcular a quantidade total de baterias utilizadas no sistema por meio da equação 3, que multiplica a quantidade de baterias em série por bloco para atingir a tensão de 48 V que foi a tensão estipulado para cada planta, sendo quatro baterias por bloco, pela quantidade de blocos em paralelo para atingir as capacidades reais calculadas para cada caso. Portanto, foi determinado 1134 para a maior planta, e 125 para a menor planta. Levando

em consideração as dimensões e o peso das baterias e que as mesmas fiquem acondicionadas em estruturas de cinco níveis de altura. O espaço mínimo ocupado pelas baterias, sem levar em consideração o distanciamento entre os as prateleiras de acondicionamento, é de 118,28 m<sup>2</sup> com um peso total das baterias de 272.160 Kg para a SMG e espaço de 13,03 m<sup>2</sup> e fundação de suporte para 30.000 Kg.

Não foi levantado o custo com o local para o acondicionamento destas baterias, sendo o foco deste dimensionamento preliminar apenas nos custos com o sistema fotovoltaico e de armazenamento em baterias.

### 3.3.2.2 Módulos fotovoltaicos

Para dimensionar o sistema fotovoltaico, foi adotado o modulo da Canadian de 72 células de silício policristalino modelo 41536-4, a figura 18 mostra esse módulo, seus dados técnicos estão descritos na tabela 11.

Figura 18. Módulo fotovoltaico 335 Wp Canadian solar modelo 41536-4. Fonte: CANADIAN SOLAR, 2017.



Tabela 11. Dados técnicos do modulo fotovoltaico 41536-4. Fonte: Autor,2020.

| <b>Especificações Módulo</b>               |        |
|--------------------------------------------|--------|
| <b>Potência pico</b>                       | 335 Wp |
| <b>Tensão em Máxima Potência (Vmpp):</b>   | 37,4V  |
| <b>Corrente em Máxima Potência (Impp):</b> | 8,96 A |
| <b>Tensão em Circuito Aberto (Voc):</b>    | 45,8 V |
| <b>Corrente de Curto Circuito (Isc):</b>   | 9,54 A |

A disponibilidade solar no local foi identificada pela base de dados do CRESEB que possui uma ferramenta denominada Sundata, essa ferramenta fornece o potencial solar de qualquer local que possua uma cidade de referência no Brasil.

Rio Verde está localizado na latitude de 17,74° Sul e 50,95° oeste, possui irradiância média anual de  $5,19 \text{ kW} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{dia})^{-1}$ , com o registro de maior irradiância no mês de maio, chegando a  $5,66 \text{ kW} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{dia})^{-1}$  e o menor nível de irradiância no mês de junho atingindo  $4,36 \text{ kW} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{dia})^{-1}$  que é o pico do inverno na região, para fins de cálculo, foi selecionado o mês com o menor irradiância solar, levando em conta que o mesmo sistema fotovoltaico que produz a quantidade de energia necessária no mês com menos incidência solar, produzirá a mesma ou maior quantidade de energia em outros meses.

Seguindo a equação 12, o dimensionamento dos módulos em série é determinado pela razão entre a tensão nominal do sistema (48 V) pela tensão nominal do painel fotovoltaico (24 V), chegando ao número de 2 painéis em série.

Para o número de painéis em paralelo segue-se o que está prescrito na equação 11, que utiliza a corrente de máxima potencial do módulo ( $I_{mp}$ ) neste caso 8,96 A, as Horas médias de sol pleno (HPS) para a cidade de Rio Verde foi adotado o mês com menor incidência solar (Junho) tendo como base o alinhamento dos painéis no plano horizontal e pela equação 8 obteve-se o valor de 4,36 horas/dia. A energia que o sistema deverá gerar diariamente ( $E_p$ ), que neste caso se trata da média de consumo de energia nos últimos três anos, sendo que para a Sementes Goiás o valor é de 1306,4 kWh e para a Caraíba Sementes é de 143,3 kWh e a tensão do banco de baterias ( $V_i$ ) que é de 24 V. Resultando para a Sementes Goiás e Sementes Caraíba respectivamente 771 e 85 conjuntos de painéis em paralelo.

O número total de painéis solares para cada planta industrial é a multiplicação entre o número de painéis em série para cada sistema e o número de painéis em paralelo para cada sistema. Portanto o número total de módulos é de 1548 unidades para a sementes Goiás com potencial de 518,66 kWp e 170 unidades para a Caraíba Sementes com potencial de 56,91 kWp. O espaço mínimo disponível necessário para a instalação dos módulos de acordo com as dimensões dos mesmos deve ser de 2970 m<sup>2</sup> (0,33 hectare) e 326,4 m<sup>2</sup> respectivamente.

### 3.3.2.3 Controlador de carga

Para determinar o controlador de carga a ser utilizado para ambos os sistemas, é necessário utilizar como base a corrente máxima que todos os módulos fotovoltaicos podem atingir, essa corrente é denominada corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ). Para isso deve-se utilizar o somatório da  $I_{sc}$  de todos os conjuntos que estão em paralelo e utilizar um coeficiente de segurança para este sistema. Dessa forma, para a maior sementeira foi encontrado o valor de 7.351 A, que ao aplicar o coeficiente de segurança de 30% resultou em corrente do

controlador de 9557 A, adotando como base um controlador de carga de 9600 A. Ao utilizar o controlador de carga bateria solar Victron (53286-3) de 100 A (Figura 19), obtém-se a quantidade total de 96 controladores de carga divididos pelo quantitativo de baterias.

Para a sementeira menor, foi encontrado 810 A pela relação entre número de conjuntos e corrente de curto circuito, e ao utilizar o coeficiente de segurança de 30% foi encontrado 1053 A, adotando comercialmente um controlador de carga de 1055 A. Ao utilizar o controlador de carga bateria solar Victron (53286-3) de 100 A, obtém-se a quantidade total de 11 controladores de carga divididos pelo quantitativo de baterias.

Figura 19. Controlador de carga bateria solar Victron (53286-3) de 100 A. Fonte: Aldo solar, 2020.



### 3.3.3 Dimensionamento do Grupo motor gerador

A demanda de potência foi calculada de acordo com a média do consumo de energia em três anos conforme a tabela 2 e 3, chegando-se a:

- Uma potência de 354,21 kW admitindo fator de potência de 0,8, a potência aparente do gerador é de 442,76 kVA para a SMG;
- 37,67 kW a 0,8 de fator de potência utilizando a potência aparente de 47,09 kVA para SMC.

#### 3.3.3.1 Custo de aquisição e instalação do gerador

Com a potência estipulada para o estudo da SMG, foi selecionado um gerador a diesel Himoinsa modelo HSW-505 T6B (figura 20), trifásico 380 V, regime de trabalho prime, cujo fator de utilização é de 1,10, a potência aparente de 456 kVA e 0,8 de fator de potência, com potência ativa de 364,8 kW no valor de R\$ 200.871,15.

Figura 20. Motor-gerador Himoinsa HSW-505 T6B. Fonte: HIMOINSA, 2020.



Para a SMC foi estipulado um gerador trifásico Cummins C65D6 (Figura 21), 380 V que em regime trabalho prime, fator de utilização 1,10, de acordo com o manual, oferece potência de 60kVA, 0,8 de fator de potência e potência ativa de 48 kW com o valor de R\$ 71,365,00, valor este retirado de ata de registro de preço do Banco do Brasil, 2015.

Figura 21. Motor-gerador Cummins C65D6. Fonte: DCCO, 2020.



### 3.3.3.2 Custo com combustível

Considerando a tabela 3, o consumo de combustível para motor geradore de 251 a 500 kW é de 0,329 L/kWh para a SMG. O fornecimento de energia elétrica pelo gerado por

ser estimado multiplicando a potência do gerado pelo número de horas diárias que será utilizado, no caso três horas por dia, multiplicado pelo número de dias previstos de funcionamento, que é de 22 dias por mês. Por isso, o valor de energia produzida para este gerador é de 24.076,8 kWh/mês.

Levando em consideração o consumo máximo de combustível estipulado pela ANEEL para cada nível de potência dos geradores, tendo o consumo de 7.921,27 L/mês de óleo diesel para a Sementes Goiás. Considerando que o preço médio do óleo diesel em janeiro de 2020 na cidade de Rio Verde era de R\$3,918 de acordo com dados da Agência Nacional de Petróleo ANP, tendo o custo com combustível mensal de R\$ 31.035,52.

No segundo caso, o gerado se enquadra no nível de geração de 1 a 100 kVA, que pela tabela 3 determina o consumo máximo de combustível de 0,404 L/kWh. O gerador neste caso pode fornecer 3168 kWh/mês, consumindo 1.279,87 L/mês de óleo diesel. Custando dessa maneira R\$ 5.014,53 ao mês.

### **3.3.3.3 Custo com manutenção**

Para calcular o custo com a manutenção anual, foi verificado com um fornecedor dos grupos motor-gerador da Himoinisa na região de Rio Verde, que por sua vez estabelece o custo de 6 % do total do investimento inicial, o mesmo valor pode ser verificado pelo estudo do PRONI, 1987 para motores Diesel.

Dessa forma, os custos com manutenção dos GMG's deste estudo são de R\$ 12.052,27 para a SMG e R\$ 4.281,90 para a SMC.

### **3.3.3.4 Vida útil.**

A vida útil do grupo moto gerador a diesel foi considerada 20.000h (LAMBERT, 2004). A vida útil varia muito em razão da forma como é utilizado o grupo moto gerador, sua manutenção e horas trabalhadas.

Dessa forma, sabendo que o trabalho destes geradores será direcionado para o horário de ponta, 3 horas diárias, considerando apenas os dias da semana (segunda à sexta) que são próprios para o horário de ponta (264 dias), tem-se:

$$Vida\ útil\ (anos) = \frac{20.000}{264 \times 3}$$

Obtendo a vida útil de aproximadamente 25 anos, que de acordo com o fabricante, está dentro do tempo de vida útil do equipamento, considerando que todo o plano de manutenção seja levado realizado conforme estipulam os fabricantes dos geradores.

### 3.3.4 Análise de Custos

Para a análise de custos foi levantado o custo do investimento inicial, os valores com manutenção do sistema (substituição de componentes, limpeza, ajustes mecânicos, ...) os custos com insumos, e o tempo de vida útil dos principais componentes de cada sistema.

#### 3.3.4.1 Custo estimado do sistema fotovoltaico autônomo

Na tabela 13 é possível identificar os itens que foram dimensionados para o SFA da SMG que foi dimensionado para fornecer 1062,64 kWh/dia (23378,17 kWh/mês) juntamente com a quantidade de itens, seu custo unitário e o custo total retirado como referência dos sites dos fabricantes.

Tabela 12. Custos com o SFA SMG. Fonte: Autor, 2020

| <b>Itens do sistema</b>                                           |                     |            |                |                          |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|----------------|--------------------------|
|                                                                   | Vida útil<br>(anos) | Quantidade | Custo unitário | Custo total              |
| <b>Baterias Freedom de chumbo 12 V 240 Ah</b>                     | 4                   | 4536       | R\$ 1.499,00   | R\$ 6.350.400,00         |
| <b>Módulos Fotovoltaicos 335 Wp 72 Células</b>                    | 25                  | 1548       | R\$ 899,00     | R\$ 1.385.503,04         |
| <b>Controlador de carga (100A)</b>                                | 10                  | 96         | R\$ 7.799,00   | R\$ 748.704,00           |
| <b>Inversor (15 kVA)</b>                                          | 10                  | 35         | R\$ 53.849,00  | R\$ 1.884.715,00         |
| <b>Custo com cabos elétricos, instalação, suportes (estimado)</b> | N                   | 1          |                | R\$ 662.926,43           |
| <b>Total</b>                                                      |                     |            |                | <b>R\$ 11.032.248,47</b> |

Levando em consideração a tabela 13, é possível verificar que o item de maior peso no investimento para o sistema proposto é o banco de baterias, compondo 57,6% do valor total do investimento, e levando em consideração que a sua vida útil é de apenas 4 anos, a tabela abaixo ajuda a verificar a estimativa do custo com o investimento e com a operação e manutenção do sistema dentro do tempo de vida útil de 25 anos do principal componente de obtenção de energia (módulo fotovoltaico).

Tabela 13. Investimentos e custos operacionais do SFA para SMG. Fonte: Autor, 2020

| Ano | Custo             | Ano | Custo            | Ano | Custo             |
|-----|-------------------|-----|------------------|-----|-------------------|
| 0   | R\$ 11.032.248,47 | 9   |                  | 18  |                   |
| 1   |                   | 10  | R\$ 2.547.641,43 | 19  |                   |
| 2   |                   | 11  |                  | 20  | R\$ 8.898.041,43  |
| 3   |                   | 12  | R\$ 6.350.400,00 | 21  |                   |
| 4   | R\$ 6.350.400,00  | 13  |                  | 22  |                   |
| 5   |                   | 14  |                  | 23  |                   |
| 6   |                   | 15  |                  | 24  | R\$ 8.898.041,43  |
| 7   |                   | 16  | R\$6.350.400,00  | 25  |                   |
| 8   | R\$ 6.350.400,00  | 17  |                  |     |                   |
|     | <b>Somatório</b>  |     |                  |     | R\$ 54.401.486,47 |

Para o caso do SFA da CSM, foi considerado a garantia de desempenho dos módulos fotovoltaicos por sua representatividade no custo da estimativa de investimento para a solução proposta, com isso, o somatório do investimento juntamente com os custos operacionais (que envolvem a substituição de elementos que possuem deve ser substituídos dentro desse período) foi de R\$ 54.401.486,47 (tabela 14). A estimativa da geração de energia elétrica e armazenamento para o consumo no horário de ponta foi levado em consideração a utilização desse potencial (518,66 kWp) nas três horas diárias do horário, 22 dias por mês dentro dos 12 meses do ano, durante 25 anos de 7,01 TWh (7013451 kWh).

Com isso, calcula-se o valor do kWh com este investimento dividindo o valor total do investimento e custos de operação estimados pela estimativa da quantidade de energia gerada dentro dos 25 anos, resultando em R\$ 8,22 /kWh, utilizando uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 6%.

A tabela 15 são elencados os custos com o SFA para a CSM, que foi dimensionada para atender o consumo diário de 113 kWh e mensal de 2486,5 kWh.

Tabela 14. Custos com o SFA CSM. Fonte: Autor, 2020

| <b>Itens do sistema</b>                                           |                     |            |                |                         |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|----------------|-------------------------|
|                                                                   | Vida útil<br>(anos) | Quantidade | Custo unitário | Custo total             |
| <b>Baterias Freedom de chumbo 12 V 240 Ah</b>                     | 4                   | 500        | R\$ 1.499,00   | R\$ 749.500,00          |
| <b>Módulos Fotovoltaicos 335 Wp 72 Células</b>                    | 25                  | 170        | R\$ 899,00     | R\$ 152.712,83          |
| <b>Controlador de carga (100 A)</b>                               | 10                  | 11         | R\$ 7.799,00   | R\$ 85.789,00           |
| <b>Inversor (15kVA)</b>                                           | 10                  | 4          | R\$ 53.849,00  | R\$ 215.396,00          |
| <b>Custo com cabos elétricos, instalação, suportes (estimado)</b> | N/A                 |            |                | R\$ 58.049,36           |
| <b>Total</b>                                                      |                     |            |                | <b>R\$ 1.261.447,19</b> |

Tabela 15. Investimentos e estimativa de custos operacionais do SFA para CSM. Fonte: Autor, 2020

| <b>Ano</b> | <b>Custo</b>     | <b>Ano</b> | <b>Custo</b>   | <b>Ano</b> | <b>Custo</b>            |
|------------|------------------|------------|----------------|------------|-------------------------|
| <b>0</b>   | R\$ 1.261.447,19 | <b>9</b>   |                | <b>18</b>  |                         |
| <b>1</b>   |                  | <b>10</b>  | R\$ 301.185,00 | <b>19</b>  |                         |
| <b>2</b>   |                  | <b>11</b>  |                | <b>20</b>  | R\$ 1.050.685,00        |
| <b>3</b>   |                  | <b>12</b>  | R\$ 749.500,00 | <b>21</b>  |                         |
| <b>4</b>   | R\$ 749.500,00   | <b>13</b>  |                | <b>22</b>  |                         |
| <b>5</b>   |                  | <b>14</b>  |                | <b>23</b>  |                         |
| <b>6</b>   |                  | <b>15</b>  |                | <b>24</b>  | R\$ 749.500,00          |
| <b>7</b>   |                  | <b>16</b>  | R\$ 749.500,00 | <b>25</b>  |                         |
| <b>8</b>   | R\$ 749.500,00   | <b>17</b>  |                |            |                         |
|            | <b>Somatório</b> |            |                |            | <b>R\$ 6.360.817,19</b> |

Para o caso da SMC, com o potencial de geração máximo de 56,91 kWp, o valor do investimento e dos custos operacionais foi estimado através da somatória dos valores gastos de acordo com a tabela 16, resultando em R\$ 6.969.139,19, para a utilização de 745,95 MWh (745.950 kWh), resultando em custo de energia de R\$ 9,04 /kWh ao utilizar uma TMA de 6%.

### 3.3.4.2 Custo com o grupo motor gerador

O fornecedor dos GMG's da Himoina na região de Rio Verde utiliza, para fins de estudo de implementação dos mesmos, um custo de instalação na ordem de 30% do custo de aquisição do GMG, tal ordem também foi estimado no estudo de SCHNEIDER, 2019.

Dessa forma, tal valor foi considerado para este estudo, entretanto, como neste estudo está sendo feito apenas um projeto preliminar de implementação do sistema, este valor pode ser alterado conforme variar as condições de instalação do GMG.

Tabela 16. Investimentos e estimativa de custos operacionais do SFA para CSM. Fonte: Autor, 2020.

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| <b>Custo com o investimento</b>    | R\$ 200.871,15 |
| <b>Instalação</b>                  | R\$ 60.261,35  |
| <b>Custo de manutenção por ano</b> | R\$ 12.052,27  |
| <b>Custo operacional por ano</b>   | R\$ 372.426,29 |
| <b>Vida útil</b>                   | 25 anos        |

A partir da tabela 17, torna-se possível a relevância do investimento com o Grupo motor gerador e com o seu custo operacional, manutenção e custo com combustível anual mente (levando em conta o funcionamento do GMG no horário de ponta, que são três horas diárias, durante 22 dias por mês e os 12 meses do ano) para o levantamento do custo total do investimento ao final da vida útil estimada do GMG, resultando na tabela 18.

Tabela 17. Investimentos e estimativa de custos operacionais do SFA para SMC. Fonte: Autor, 2020

| <b>Ano</b> | <b>Custo</b>      | <b>Ano</b> | <b>Custo</b>   | <b>Ano</b> | <b>Custo</b>            |
|------------|-------------------|------------|----------------|------------|-------------------------|
| <b>0</b>   | R\$ 261.132,49    | <b>9</b>   | R\$ 384.478,56 | <b>18</b>  | R\$ 384.478,56          |
| <b>1</b>   | R\$ 384.478,56    | <b>10</b>  | R\$ 384.478,56 | <b>19</b>  | R\$ 384.478,56          |
| <b>2</b>   | R\$ 384.478,56    | <b>11</b>  | R\$ 384.478,56 | <b>20</b>  | R\$ 384.478,56          |
| <b>3</b>   | R\$ 384.478,56    | <b>12</b>  | R\$ 384.478,56 | <b>21</b>  | R\$ 384.478,56          |
| <b>4</b>   | R\$ 384.478,56    | <b>13</b>  | R\$ 384.478,56 | <b>22</b>  | R\$ 384.478,56          |
| <b>5</b>   | R\$ 384.478,56    | <b>14</b>  | R\$ 384.478,56 | <b>23</b>  | R\$ 384.478,56          |
| <b>6</b>   | R\$ 384.478,56    | <b>15</b>  | R\$ 384.478,56 | <b>24</b>  | R\$ 384.478,56          |
| <b>7</b>   | R\$ 384.478,56    | <b>16</b>  | R\$ 384.478,56 | <b>25</b>  | R\$ 384.478,56          |
| <b>8</b>   | R\$ 384.478,56    | <b>17</b>  | R\$ 384.478,56 |            |                         |
|            | <b>Somatório:</b> |            |                |            | <b>R\$ 9.873.096,49</b> |

A tabela 18 informa o valor do somatório total de investimentos e custos com operação e manutenção (R\$ 9.873.096,49) para os 25 anos de vida útil previsto para o GMG em questão, gerando neste período 7.22 GWh (7.223.040 kWh). Resultando em R\$ 1,45 / kWh, levando em consideração a TMA de 6%.

Tabela 18. Custos com o SFA CSM. Fonte: Autor, 2020

|                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| <b>Custo com o investimento</b>    | R\$ 71.365,00 |
| <b>Instalação</b>                  | R\$ 21.409,50 |
| <b>Custo de manutenção por ano</b> | R\$ 4.281,90  |
| <b>Custo operacional por ano</b>   | R\$ 60.174,36 |
| <b>Vida útil</b>                   | 25 anos       |

A tabela 19 demonstra o investimento necessário para a instalação do motor gerador dimensionado para atender a demanda média de energia no horário de ponta.

Tabela 19. Investimentos e estimativa de custos operacionais do SFA para CSM. .Fonte: Autor, 2020.

| <b>Ano</b> | <b>Custo</b>      | <b>Ano</b> | <b>Custo</b>  | <b>Ano</b> | <b>Custo</b>           |
|------------|-------------------|------------|---------------|------------|------------------------|
| <b>0</b>   | R\$ 92.774,50     | <b>9</b>   | R\$ 64.456,26 | <b>18</b>  | R\$ 64.456,26          |
| <b>1</b>   | R\$ 64.456,26     | <b>10</b>  | R\$ 64.456,26 | <b>19</b>  | R\$ 64.456,26          |
| <b>2</b>   | R\$ 64.456,26     | <b>11</b>  | R\$ 64.456,26 | <b>20</b>  | R\$ 64.456,26          |
| <b>3</b>   | R\$ 64.456,26     | <b>12</b>  | R\$ 64.456,26 | <b>21</b>  | R\$ 64.456,26          |
| <b>4</b>   | R\$ 64.456,26     | <b>13</b>  | R\$ 64.456,26 | <b>22</b>  | R\$ 64.456,26          |
| <b>5</b>   | R\$ 64.456,26     | <b>14</b>  | R\$ 64.456,26 | <b>23</b>  | R\$ 64.456,26          |
| <b>6</b>   | R\$ 64.456,26     | <b>15</b>  | R\$ 64.456,26 | <b>24</b>  | R\$ 64.456,26          |
| <b>7</b>   | R\$ 64.456,26     | <b>16</b>  | R\$ 64.456,26 | <b>25</b>  | R\$ 64.456,26          |
| <b>8</b>   | R\$ 64.456,26     | <b>17</b>  | R\$ 64.456,26 |            |                        |
|            | <b>Somatório:</b> |            |               |            | <b>R\$1.740.181,00</b> |

Com isso, a tabela 20 demonstra o somatório do investimento e dos custos de manutenção e operação para este motor gerador foi de R\$ 1.740.181,00 gerando durante este período 0,95 GWh (950.400kWh), o custo de R\$ 1,90.kWh.<sup>-1</sup> à TMA de 6%.

### 3.3.4.3 Comparação de viabilidade de investimentos

Para a análise de viabilidade foi utilizado o VPL, payback e a comparação do custo da energia pela razão entre o investimento e a consumo de energia evitado durante os tempos de vida útil dos equipamentos, gerando a tabela 21.

Tabela 20. Comparativo de viabilidade dos investimentos. Fonte: próprio autor, 2020.

|                             |                               | VPL                | Payback  |       |      | Custo<br>R\$.kWh <sup>-1</sup> |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|----------|-------|------|--------------------------------|
|                             |                               |                    | Anos     | Meses | Dias |                                |
| <b>Sementes<br/>Goiás</b>   | Grupo motor gerador           | R\$ 3.725.005,58   | 0        | 9     | 18   | R\$ 1,45                       |
|                             | Sistema Fotovoltaico off grid | R\$ -19.188.591,48 | Inviável |       |      | R\$ 8,22                       |
|                             | Concessionária                | N/A                | N/A      |       |      | R\$ 2,431                      |
| <b>Caraíba<br/>Sementes</b> | Grupo motor gerador           | R\$ 254.450,85     | 3        | 11    | 8    | R\$ 1,90                       |
|                             | Sistema Fotovoltaico off grid | R\$ - 4.113.225,69 | Inviável |       |      | R\$ 9,04                       |
|                             | Concessionária                | N/A                | N/A      |       |      | R\$ 2,489                      |

#### 3.3.4.4 Viabilidade do GMG para a Sementes Goiás

Através da tabela 16, é possível verificar que as possibilidades de investimentos para os GMG's se mostram mais atrativos financeiramente para ambas as indústrias, demonstrando a possibilidade de retorno para a SMG em menos de um ano, o que possivelmente está associado ao consumo específico de combustível máximo para motores à combustão interna determinada pela ANEEL, 2010 na tabela 8, que é de 0,329 L.<sup>-1</sup>kWh e associado ao custo relativamente baixo do investimento para este tipo de solução.

Outro fator importante que mostra que tal investimento é viável está relacionado ao VPL para a SMG, que, considerando uma TMA de 6%, demonstra retorno de R\$ 3.725.005,58 dentro do período de vida útil estimado para o GMG, que por sua vez se mostra altamente viável financeiramente.

Ao comparar o custo do kWh através do investimento (R\$ 1,45), ao custo do mesmo cobrado pela concessionária de energia (R\$ 2,431), sem levar em consideração a inflação, mais uma vez o investimento no GMG se mostra viável. Comparando com SCHNEIDER, 2019 obteve o custo de energia de R\$ 2,10.kWh<sup>-1</sup> para a instalação de pequeno porte. Mostrando redução no custo quando o grupo motor gerador é de maior porte.

#### 3.3.4.5 Viabilidade GMG para a Caraíba Sementes

Analisado a tabela 16 que faz referência à CSM, o valor do tempo de retorno do investimento calculado foi de 3,94 anos, tal tempo se deve pelo custo de operação do grupo

motor gerador, está relacionado ao custo com o combustível, que é dependente do consumo específico de combustível para a faixa de potência do gerador, que é de  $0,404 \text{ L.kWh}^{-1}$ .

No entanto, com o passar a vida útil estimada do grupo motor gerador, o VPL de R\$ 254.450,85, que representa o valor da economia financeira durante os 25 anos de uso do GMG, sendo altamente atrativo.

Quando comparado ao valor da tarifa cobrada pelo concessionário (R\$ 1,78), também mostra alta atratividade. SCHNEIDER, 2019 obteve custo de energia de R\$ 2,10/kWh para pequena instalação, evidenciando que, o custo da energia através do investimento com geradores pode variar de acordo com o porte do GMG. KOLHE et. Al, 2002 evidência em seu estudo realizado na Índia, que o grupo motor gerador possui maior viabilidade econômica que o sistema fotovoltaico autônomo. REZZOUK H., MELLIT A, 2015 em seu estudo encontrou custo de energia de  $0,142 \text{ US\$/ kWh}^{-1}$  com o dólar em alta (R\$ 5,25) nos últimos dias, este custo equivale a  $\text{R\$ } 0,745.\text{kWh}^{-1}$  evidenciando dessa forma, o menor custo da energia obtida através do motor Diesel no exterior em comparação com este estudo.

Atualmente a planta industrial da SCM já possui um GMG instalado, que não é utilizado no horário de ponto, no Apêndice C deste trabalho é mostrado um estudo sobre a utilização deste GMG no horário de ponta, que possui grande economia financeira para isso.

#### **3.3.4.6 Viabilidade Sistema off-grid para ambas as indústrias**

Não foi possível calcular o tempo de retorno do investimento pela inviabilidade constatada pelo VPL, que foi de R\$ -19.188.591,48 e R\$ - 4.113.225,51, para a Sementes Goiás e para a Sementes Caraíba respectivamente, demonstrando a inviabilidade do projeto, o custo da energia foi de  $\text{R\$ } 8,22.\text{kWh}^{-1}$  e  $\text{R\$ } 9,04.\text{kWh}^{-1}$ , respectivamente, e quando comparado com a tarifa da concessionaria, evidencia ainda mais a inviabilidade do investimento.

O que explica a inviabilidade do projeto está diretamente relacionado ao custo com as baterias, que representa 57% do custo total do investimento e, de acordo com a profundidade de carga desejada para o projeto, que foi de 0,2 %, conferindo as baterias a vida útil estimada de 4 anos, isso demonstra que a cada 4 anos as baterias devem ser substituídas, e o mesmo valor deve ser pago.

O custo com a geração fotovoltaica tem diminuído ao logo dos anos, SHAYANI, 2006, constatou o custo do kWh para sistema fotovoltaico de R\$ 30,50, no ano de 2017, tal custo chegou a  $\text{R\$ } 1,16.\text{kWh}^{-1}$  (NIGERIAN ECONOMIC, 2019), FILHO, 2019 obteve custo de energia de  $\text{US\$ } 0,0725.\text{kWh}^{-1}$  para o sistema conectado à rede.

Para sistemas fora de rede, SCHNEIDER, 2019 obteve o custo de energia com sistema fotovoltaico autônomo de R\$ 9,8.kWh<sup>-1</sup>, KALDELLIS et Al.,2010 obteve para o sistema autônomo o custo de 0,24 €.kWh<sup>-1</sup>.

Com isso, pode observar que para o sistema construído no Brasil, os custos com o sistema fotovoltaico são elevados em comparação aos estudos realizados em outros países. E quando se compara com estudos realizados nacionalmente o custo de energia são aproximados.

Pode-se verificar que o custo com os sistema fotovoltaicos autônomo em relação ao sistema fotovoltaico ligado à rede possuem grande diferença no custo da energia, esses sistemas se diferem principalmente nos componentes necessários para o funcionamento, sendo que sistema fotovoltaico autônomo são necessários, além dos mesmo componentes do sistema conectado à rede, as baterias e os controladores de carga das mesmas.

No apêndice A deste trabalho foi feito um dimensionamento simplificado de sistema fotovoltaico, para o levantamento de viabilidade econômica para o horário fora de ponta e, utilizando forma de compensação, para o horário fora de ponta.

#### **3.3.4.7 Comparação entre SFA e GMG**

Ao comparar a viabilidade financeira de ambos as soluções, é evidente que a utilização de GMG possui maior viabilidade do que quando comparado ao sistema fotovoltaico autônomo. Porém, o sistema fotovoltaico autônomo é ambientalmente mais viável em relação ao grupo motor gerador, pelo fato do mesmo utilizar combustível mineral que produzem gases ambientalmente nocivos (REOLON et. Al., 2012).

Mas, atualmente, existem estudos promissores para a substituição deste combustível fóssil em combustível renovável, que é conhecido popularmente como Diesel da cana-de-açúcar, ou farneseno. Este combustível tem sido testado com proporções variadas em frotas de transporte público na cidade de São Paulo, para avaliar a viabilidade técnica da sua utilização, mostrando-se um recurso mais eficiente se comparado ao biodiesel (ANDRADE, 2015). Contudo, futuramente, podem ser realizados estudo da utilização deste combustível em grupos motor gerador, que, caso comprovada a sua viabilidade técnica, possivelmente será uma fonte de geração de energia elétrica limpa.

### 3.4 Conclusão

Neste trabalho, foram adotadas estratégias visando a simulação de redução dos gastos com energia elétrica para duas indústrias de beneficiamento de sementes do sudoeste goiano.

Com isso a primeira estratégia foi utilizar a ferramenta Web MACDE para calcular a demanda ótima para ambas as empresas e verificar a economia financeira com esta ferramenta, propondo, dessa forma a redução da demanda contratada pela Sementes Caraíba de 230 kW para 209 kW, obtendo economia dentro de um ano de R\$ 3.366,22. Para a Sementes Goiás, foi sugerido aumento na demanda contratada de 990 kW para 1300 kW, gerando economia anual de R\$ 92.345,40.

A segunda estratégia foi dimensionado um sistema fotovoltaico autônomo e um grupo motor gerador para suprir parcialmente o consumo de energia no horário de ponta de ambas as indústrias, buscando verificar a viabilidade financeira com a simulação do custo de energia para ambas as situações, concluindo que a solução da usina fotovoltaica autônomo não se mostrou viável para o problema, obtendo o custo de energia de R\$ 8,22.kWh<sup>-1</sup> para a Sementes Goiás e R\$ 9,04. kWh<sup>-1</sup> para a sementes Caraíba, tal fato se deve ao custo do investimento e manutenção das baterias e controladores de carga, que equivalem a 70,8 % do custo total do investimento, sendo a as baterias responsáveis por 57% do custo total da usina. Neste caso, esta solução se mostraria viável, caso os valores médios das baterias sofressem queda nos próximos anos. No entanto a solução não se mostra viável financeiramente.

No caso dos grupo motor gerador, as proposta se mostraram com maior atratividade, sendo que no final da vida útil dos GMG's da Caraíba Sementes e da Sementes Goiás, obteve um VPL de R\$ 254.450,85 (R\$10.178,03 ano) e R\$ 3.725.005,58 (R\$ 149.000.22 ano) respectivamente, demonstrando neste caso alta viabilidade financeira. Resultando no custo de energia de R\$ 1,45. kWh<sup>-1</sup> e R\$ 1,78. kWh<sup>-1</sup>, que quando comparado com o custo da tarifa mensal de energia elétrica da concessionária, ambos os valores são inferiores. Chegando à conclusão de que o investimento em motor gerador possui grande viabilidade econômica.

### 3.5 Referências

ALDO S. *Controlador de carga energia solar Victron*. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/loja/marca/energia-solar/victron/controlador-de-carga/controlador-de-carga-bateria-solar>> Acesso: 15 mar 2020.

ALDO S. *Inversor Solar Off Grid Victron Aldo Solar (35730-8)*. Disponível em: <<https://www.aldo.com.br/loja/produto/35730-8/inversor-solar-off-grid-victron-quaa483150000-quattro-15000va-48v230v-senoidal-puracarregador>> Acesso: 15mar. 2020

ANDRADE, A. A. *Diesel de cana-de-açúcar: Uma nova proposta*. Dissertação (Mestrado Acadêmico), UFT, Palmas, 2015, 104 f.

ANEEL, *Resolução Normativa nº 427 (2010)*. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>. Acesso em: 10 MAR. de 2020.

ANP, Agência Nacional de petróleo, *Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/precos-de-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos/serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>> Acesso: 12/03/2020.

ATOMRA. *Cálculo do dimensionamento projeto solar fotovoltaico*. AtomRA Energia Renovável, São Paulo, 2014.

BLUESOL, ENERGIA SOLAR. *Livro digital de introdução aos sistemas solares*. 2016. Disponível em: <[www.blue-sol.com.br](http://www.blue-sol.com.br)>. Acesso em: 02/03/2020.

BRASIL B., *Ata de registro de preço de aquisição de geradores*. Pregão eletrônico Nº 2015/00109, 2015.

CANADIAN SOLAR, *Especificações técnicas*, 2017. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custom%2Fupload%2FFile-1515782035.pdf>> Acesso em: Março. 2020.

CRESESB, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Grupo de Trabalho de energia Solar. *Potencial solar – Sundata V.3.0*. Rio de Janeiro: CRESESB, 1999. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>.

CRESESB, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de energia Solar. *Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CRESESB, 1999. Disponível em: <http://bit.ly/rggPRL>.

DCCO. *Características do C65D6* <[www.dcco.com.br](http://www.dcco.com.br)>, acesso em 20/03/2020.

FREEDOM. Catálogo técnico bateria estacionária Freedom. Disponível em: <[www.logik.com.br/download/ManualTecnicoBateriasFreedom.pdf](http://www.logik.com.br/download/ManualTecnicoBateriasFreedom.pdf)>. Acesso em: Março. 2020.

GREENPRO. *Energia Fotovoltaica- Manual de tecnologias, projeto e instalação*, Disponível em: <<http://greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso 29/02/2020.

HEIMER. *Catálogo grupo gerador*. Disponível em: <[http://heimer.com.br/v4/br/assets/catalogo\\_2015\\_v.1.0.pdf](http://heimer.com.br/v4/br/assets/catalogo_2015_v.1.0.pdf)>. Acesso em: Out. 2018.

HIMOINSA. *Características do HSW-505 T6B* <[www.himoinsa.com.br/eng/electric-generators/9852/generator-set-505kva-soundproof.html](http://www.himoinsa.com.br/eng/electric-generators/9852/generator-set-505kva-soundproof.html)>, acesso em 16/03/2020.

KALDELLIS J. K., ZAFIRAKIS D., E. KONDILI E., "Optimum sizing of photovoltaic-energy storage systems fo autonomous small islands," *Electrical Power and Energy Systems*, v. 32, n. 24-35, 2010.

KOLHE M., KOLHE S., JOSHI J.C.," Economic vialbility if stand-alone solar photovoltaic system im comparision with diesel-poered system for India" *Energy economics* 24, v. 32, n. 155-165, 2002.

PINHO T. J., GALDINO M. A. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos Livro UFSC sobre sistemas fotovoltaicos*.

NIGERIA ECONOMIC GROUP. Report of the nd 22 Nigerian Economic Summit. Disponível< <https://nesgroup.org/events/>>. Acesso em: 17 fev. 2020

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. *Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica*. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. CEPTEL – CRESESB. Março de 2014.

PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO – PRONI – *Tempo de irrigar: manual do irrigante*. São Paulo: Mater, Fundação Vitor Civita. 1987. 160p.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA M. A. G.; CAMARGO I. M. T. *Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais*. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio, Brasília, 2006.

SCHNEIDER, F. P. *Comparação de sistema de geração de energia utilizado gerador Diesel e painéis fotovoltaicos*. Dissertação (Mestrado), UNIOESTE Universidade estadual do Oeste do Paraná, Parana, 2019, 74 f.

SILVEIRA V. L.; NETO E. A. C. A.; TENFEN D.; FERNANDES R.C. *Gestão dos contratos de energia dos institutos federais de educação, ciência e tecnologia*, III Congresso internacional de Desempenho do Setor público. Setembro, 2019.

REOLON C. B., WAZILEWSKI W. T., VELOSO G ROSA H. A., CHAVES L.I., SECCO D. Avaliação das emissões de Monóxido de carbono (CO) em um motor-gerador ciclo diesel utilizando diesel e biodiesel , ACTA Iguazuv.1, p.8-14,2012.

REZZOUK H., MELLIT A., "*Feasibility study and sensitivity analysis of a stand-alone photovoltaic-diesel-battery hybrid energy system in the north of Algéria*" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24, vol. 43 (2015), pages 1134-1150.

## 4 Capítulo II: ESTUDO COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA EM EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES ADMINISTRATIVOS DE UMA SEMENTEIRA

(Normas de acordo com a Revista ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL)

Título Resumido para cabeçalho: COMPARATIVO DE EFICIÊNCIA DE EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO E ILUMINAÇÃO.

**Resumo:** O crescimento econômico dos países está diretamente relacionado com o nível de desenvolvimento tecnológico em que se encontra, sabendo que nos dias atuais basicamente toda tecnologia depende de forma direta ou indireta da utilização de energia elétrica. Dentre as várias estratégias utilizadas para se diminuir a demanda de energia, destaca-se o uso de tecnologias que possuam eficiência energética maior. Este trabalho objetivou fazer um estudo teórico do consumo de energia elétrica de componentes de iluminação (fluorescentes) e climatização (Split inverter) que estão sendo utilizadas atualmente em ambientes administrativos de uma indústria de beneficiamento de grãos da cidade de Rio Verde, comparando com tecnologias de maior eficiência energética atualmente, sendo a Light Emitting Diode (LED) para a iluminação e o Fluxo De Gás Refrigerante Variável (VRF). Ao final do estudo, comparando-se os parâmetros de eficiência para cada sistema e os valores estimados de economia de energia e financeira possíveis utilizando as tecnologias. Obtendo com a tecnologia fluorescente a eficiência luminosa média de 88,17  $\text{Lm.W}^{-1}$  em comparação ao LED se obteve 104,98  $\text{Lm.W}^{-1}$ , caso optasse pela substituição das lâmpadas, a possível

economia de energia elétrica anual de 1753,92 kWh e equivalendo a R\$ 946,08. Para o sistema de condicionamento, alcançando no caso de substituição dos equipamentos Split inverter por VRF, estimou-se a economia energética de 16801,08 kWh/ano que equivale a R\$ 9072,58/ano no entanto o investimento na tecnologia não se mostra viável.

**Palavras-chave:** Diodo emissor de luz (LED); Economia de energia; Eficiência Luminosa.

**Abstract:**

The economic growth of the countries is directly related to the level of technological development, thus, it is known that nowadays basically all technology depends directly or indirectly of the electric energy use. Therefore, among the various strategies to reduce energy demand is to use technologies that have greater energy efficiency. This work aimed to make a theoretical study of the electrical energy consumption of lighting components (fluorescent) and air conditioning (Split inversion) that are currently being used in administrative environments of a grain processing industry in the city of Rio Verde, comparing the technologies with greater energy efficiency today, being the Light Emitting Diode (LED) for lighting and Variable Refrigerant Gas Flow (VRF), comparing at the end of the study, the efficiency parameters for each system and the estimated values of energy savings and financial possible using the technologies. It was observed with the fluorescent technology an average luminous efficiency of 88.17 Lm.W-1 in comparison to the LED, 104.98 Lm.W-1 and, if the lamps were replaced, the possible annual electric energy saving of 1753.92 kWh and equivalent to R\$ 946.08. For the conditioning system, reaching in the case of substitution of Split equipment inversion by VRF, it was observed an energy saving of 16801.08 kWh per year, which is equivalent to R\$ 9072.58/year. With the LED technology showing greater attractiveness for the exchange than the VRF system.

**Keywords:** Light Emitting Diode (LED); Energy saving; Luminous Efficiency.

#### 4.1 Introdução

Nas duas últimas décadas a preocupação com o consumo de energia elétrica aumentou no Brasil por causa dos “apagões” que aconteceram no início do século, por três fatores. O primeiro foi o aumento do acesso à energia elétrica no país, o segundo se atribuído ao período de estiagem que afetou os reservatórios das usinas hidrelétricas diminuindo os níveis e a falta de capacidade de transmissão do sistema elétrico brasileiro.

Atualmente a sociedade tem se desenvolvido exponencialmente quando se trata de acesso à tecnologia, e tem facilitado o desenvolvimento humano, a comunicação, o conforto, entre várias outras situações. E com o passar dos anos cada vez mais o processo de globalização tem tornado esse processo mais fácil. Devido a essa grande demanda, o produto tem saído cada vez mais em largas escalas, diminuindo o preço de tais tecnologias.

Dessa forma, o governo brasileiro começou a adotar políticas de incentivo ao uso consciente de energia elétrica e na utilização de eletrodomésticos, lâmpadas e equipamentos

mais eficientes. O presente artigo fez levantamento de lâmpadas com as tecnologias fluorescente e LED, buscando dados sobre a energia elétrica consumida, fluxo luminoso, intensidade luminosa e custo do investimento, e também com o sistema de condicionadores de ar, comparando o sistema inverte com o sistema VRF, visando a melhora no ERR (Índice de Eficiência de Energia).

A substituição das lâmpadas fluorescente por lâmpadas LED possui grandes vantagens como a economia de energia consumida pela edificação, e também quando se trata de resíduos sólidos o descarte das lâmpadas fluorescentes possuem preocupação maior, pois as mesmas são constituídas de vapores metálicos (mercúrio, sódio, entre outros) altamente tóxicos e que podem causar sérios danos ambientais caso não sejam descartados da maneira correta conforme rege a norma NBR 10004/2004, ocorrendo na maioria dos casos. Essas lâmpadas são descartadas como lixo comum, em lotes baldios, vales, lixões, aterros sanitários (RODRIGUES et al, 2019).

No caso dos equipamentos de climatização, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) a posse de condicionadores de ar aumentou em 9% entre os anos de 2005 e 2017, aumentando também a demanda de energia elétrica para o mesmo período, atingindo em 2017 18,7 TWh. Estima-se que até 2035 o consumo de energia elétrica por condicionadores de ar chegue a 48,5 TWh, com crescimento anual de 5,4% (EPE,2018).

Dessa forma, surgem as preocupações com a grande demanda de energia, e, algumas medidas para melhorar a eficiência destes equipamentos foram tomadas, é o caso do estabelecimento dos índices mínimos de eficiência para a sua comercialização, que começou a ser estabelecido em 2007 passando por alterações em 2011 e 2018, sendo que a última edição que deve entrar em vigor a partir de 2020 estabelece que apenas os climatizadores com eficiência A e B, estipulados pela Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) poderão ser comercializados no Brasil (EPE,2018).

Com a efetivação de índices mínimos de eficiência mais rígidos, estima-se que a cerca de 14,5 TWh de energia sejam conservados até 2035, passando a estimativa do consumo de 48,5 TWh para 36,8TWh, o equivalente a uma usina de 3,475 MW (EPE,2018).

No entanto, existem outras tecnologias que vêm ganhando espaço no mercado mundial de climatizadores. Uma nova e eficiente tecnologia que está sendo usada atualmente é o VRF (Volume de refrigerante variável), existindo a mais de 30 anos no mercado asiático, em países como China, Japão e Coreia do Sul (AYNUR, 2010).

O estudo em questão tem o principal objetivo verificar a viabilidade técnica e financeira da substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED levando em

consideração a manutenção das características luminotécnicas das instalações já existentes, e também fazer o estudo da redução no consumo de energia ao substituir os equipamentos de condicionamento de ar inverter por VRF no prédio administrativo, prédio do controle de qualidade de sementes e portaria anexa ao prédio administrativo.

## **4.2 Metodologia**

O estudo em questão foi realizado em dois prédios administrativos visando o aumento da eficiência na iluminação e climatização em ambos os prédios.

A indústria estudada é a Sementes Goiás que faz parte do grupo TEC Agro atuando nas cidades de Rio Verde, Montividiu, Paraúna, Jataí, Santa Helena, Goiatuba, Catalão e Goiânia. Uma indústria de beneficiamento de sementes no sudoeste goiano, que beneficia sementes de soja e sorgo, no ano de 2019 produziu o total de 786.849 sacas de sementes de soja apenas no parque industrial de Rio Verde, possui vasto portfólio de sementes de soja, podendo escolher entre 14 opções de cultivar, esta empresa está no mercado desde 1996 e se destaca entre as empresas mais inovadoras em seu seguimento.

### **4.2.1 Iluminação**

A empresa em questão tem buscado aumentar a sua eficiência energética, partido das ações mais simples como a conscientização dos colaboradores, estando aberta até mesmo a mudança em seus processos produtivos para melhorar a sua produtividade.

Dessa forma, este trabalho foi constituído das seguintes etapas

- O levantamento das lâmpadas utilizadas nos ambientes estudados;
- O levantamento dos dados técnicos e normas para a análise;
- Utilização do método lumens para utilizar o fluxo luminoso total correto para as lâmpadas LED substitutas para cada ambiente;
- Comparação das eficiências luminosas das lâmpadas estudadas;
- Verificação da viabilidade econômica da substituição das lâmpadas utilizando o método Lumens;
- Verificação da viabilidade econômica da substituição dos sistemas de ar condicionado.

Foi feito um levantamento das lâmpadas fluorescentes instaladas nos ambientes administrativos, laboratórios e portarias da Sementes Goiás, uma agroindústria de

beneficiamento de soja no sudoeste goiano. Como referência para os níveis de iluminância, índice de ofuscamento ( $UGR_L$ ), índice de reprodução de cor (IRC) mínimo adequados para cada ambiente de trabalho foram utilizadas as normas NBR 5413 e a NBR/ISO 8995.

Neste trabalho buscou-se a utilização do mesmo fluxo luminoso para cada ambiente, visando não alterar as características de projeto pré-instalados, sendo que a iluminância é medida em  $lm/m^2$ , neste caso, foi considerado que as luminárias serão as mesmas e sem mudança no ambiente (cor de parede, teto e piso) que teoricamente não influencia no índice de ofuscamento em caso de substituição, em se tratando de IRC, foi adotado um padrão de acima de 80% para as lâmpadas LED.

Sabe-se que a busca pela eficiência em todos os ambientes consumidores de energia elétrica devem ser constantes, no entanto, por questões de segurança, existem normas que regulamentam valores mínimos de iluminação para cada ambiente. Pensando nisso foram consultadas as normas que regulamentam os parâmetros de iluminância adequado para cada ambiente. De acordo com a NBR 5413 a iluminância indicada para escritórios é de 1000 lux.

O método luminotécnico mais utilizado para iluminação em edifícios é o método Lumens, também conhecido como método do Fluxo luminoso, que nada mais é do que determinar a quantidade de fluxo luminoso (lumens) necessário para cada local de acordo com o tipo de atividade realizada, cores das paredes e teto e tipo de lâmpada-luminária escolhidos. Para utilizar esse método usa-se a fórmula abaixo (CREDER, 1991):

$$\Phi = \frac{E \cdot S}{\mu \cdot D} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

$\Phi$ : fluxo luminoso em lumens;

E: iluminância ou nível de iluminamento em lux;

S: área do recinto em  $m^2$ ;

$\mu$ : coeficiente de utilização;

d: fator ou coeficiente de depreciação.

Após calcular o fluxo luminoso total através desta fórmula, faz-se o cálculo da quantidade de luminárias que serão instaladas no local por meio da fórmula a seguir:

$$n = \frac{\Phi}{\phi} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

n: Número de lâmpadas;

$\Phi$ : Fluxo luminoso total em Lúmens (Lm);

$\phi$ : Fluxo luminoso de cada lâmpada em Lúmens (Lm).

Neste estudo foi utilizado a quantidade de lâmpadas instaladas, cada uma com seu modelo e potência elétrica, para calcular o fluxo total instalado nos ambientes estudados, através dos catálogos dos fabricantes, com o intuito de manter os níveis de iluminância de acordo com as lâmpadas fluorescentes instaladas.

De acordo com (GHISI, 2014), nos últimos anos a tecnologia LED foi difundida em todo o mundo como sendo uma tecnologia inovadora em termos de eficiência energética e que produz impacto ambiental menor quando comparada as lâmpadas convencionais.

No entanto, ainda não oferecem níveis de eficiência luminosa muito superiores às lâmpadas fluorescentes e pode levar os consumidores ao engano quando se trata da realização do *retrofit* do sistema de iluminação residenciais, comerciais e industriais, alguns fabricantes de lâmpadas LED recomendam a substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED com a metade da potência elétrica. Contudo, quando o catálogo das lâmpadas é verificado, é possível identificar que o fluxo luminoso das lâmpadas indicadas pelo fabricante LED não atinge o fluxo luminoso das lâmpadas fluorescentes instaladas, podendo, em caso de substituição, diminuir a iluminância do local, conseqüentemente diminuindo o rendimento visual. Esta evidência está detalhada no tópico 4.2.1 deste trabalho na análise de resultados das tabelas 3 e 4.

Dessa forma, foi feito a contagem de 186 das lâmpadas fluorescentes tubulares dos ambientes estudados que variaram de 28 a 36W, foi estimada para o cálculo do payback simples a utilização das lâmpadas em oito horas por dia, sete dias por semana em todas as 52 semanas do ano. De acordo com a NBR 5413 essas lâmpadas devem atender níveis de iluminância estipulados para cada ambiente. Será verificado para as possíveis lâmpadas LED que serão instaladas, o fluxo luminoso para a utilização do método lumens.

A vida útil das lâmpadas LED pode variar de acordo com a marca das mesmas e o seu modelo. A lâmpada LED adotada para a substituição das lâmpadas fluorescente nos ambientes estudados foi a LEDSTAR T5 24W que possui vida útil de 30.000 horas (LEDSTAR, 2019).

Levando em consideração a vida útil informada pelo fabricante e o período de utilização das lâmpadas considerado, tem-se uma vida útil para estas lâmpadas de 10 anos e 3 meses.

#### **4.2.2 Climatização**

Em relação aos equipamentos de climatização, foi trabalhado em dois ambientes diferentes dessa indústria, um dos ambientes é o administrativo e o outro o laboratório de qualidade, sendo os dois locais que mais utilização a climatização de pequeno porte (não industrial) da planta de Rio Verde.

Os seguintes passos foram seguidos:

- Levantamento dos aparelhos de ar condicionados utilizados nos ambientes administrativo e laboratório de qualidade;
- Utilizando o método comparativo de capacidade de refrigeração para determinar a potência dos equipamentos VRF;
- Análise comparativa dos equipamentos VRF equivalentes;
- Demonstração da economia de energia e financeira pela utilização do sistema VRF.
- Verificação do retorno de investimento.

O levantamento dos dados foi feito no local em que os aparelhos de ar condicionado Split inverter foram instalados, sendo identificado o modelo do equipamento e posteriormente a sua potência de refrigeração. Posteriormente foi feita a compilação destes dados em planilha, relacionando a quantidade de equipamentos e suas potências de climatização por local.

Com estes dados, foi feita a comparação com os equipamentos VRF de acordo com cada situação. Relacionando principalmente a potência de refrigeração instalada com os Split inverter com a potência de refrigeração dos equipamentos VRF. Verificando assim através do catálogo do fabricante, a energia necessária, a quantidade de módulos centrais condensadores.

#### **4.3 Resultados e discussão**

A seguir, são apresentados os resultados estimados do consumo de energia elétrica utilizando a tecnologia fluorescente para os ambientes estudados e realizando estimativa do consumo com a mesma quantidade de lâmpadas com a tecnologia LED. E ainda, a estimativa de consumo de energia elétrica com os equipamentos de condicionamento de ar inverter instalados nos ambientes estudados para comparação com a estimativa do consumo de

energia ao utilizar equipamentos VRF equivalentes aos utilizados nestes mesmos ambientes, verificando a possível economia financeira ao utilizar tais tecnologias.

#### 4.3.1 Iluminação

Como demonstra a tabela 22, o prédio administrativo é a área maior potência instalada dentre os ambientes estudados, que conseqüentemente é o ambiente que mais consome energia elétrica com iluminação.

Tabela 21. Descrição quantitativa de lâmpadas e potência por ambiente. Fonte: Próprio autor.

| Ambiente                     | Quantidade | Potência (kW) |
|------------------------------|------------|---------------|
| <b>Prédio Administrativo</b> | 130        | 3640          |
| <b>Laboratório</b>           | 36         | 1008          |
| <b>Portaria 1</b>            | 20         | 592           |
| <b>Total</b>                 | <b>186</b> | <b>5240</b>   |

Na tabela 23 é demonstrado o levantamento da quantidade das lâmpadas dos ambientes administrativos, laboratório e uma das portarias da sementeira, a potência total das lâmpadas utilizadas, o fluxo luminoso extraído do catálogo do fabricante e através da equação 2 foi obtido o fluxo luminoso total por local, para projetar a potência elétrica das lâmpadas LED por meio dos lumens especificados por catálogo.

Tabela 22. Levantamento simplificado por prédio. Fonte: Próprio autor.

| Ambiente           | Qd         | Potência média (W) | Potência total (W) | Lumens média (Lm) | Lumens por local (Lm) |
|--------------------|------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| <b>Prédio adm.</b> | 130        | 28                 | 3.640              | 2.900             | 377.000               |
| <b>Portaria 1</b>  | 20         | 29,6               | 592                | 2.700             | 28.200                |
| <b>Laboratório</b> | 36         | 28                 | 1.008              | 2.900             | 104.400               |
| <b>Total</b>       | <b>186</b> |                    | 5.240              |                   | 537.800               |

Com isso, tem-se uma potência elétrica instalada com a tecnologia fluorescente de 5,24 kW. Considerando que são ambientes administrativos, e levando em conta a jornada de trabalho de oito horas dia, cinco dias por semana, 22 dias ao mês, e 12 meses por ano. Estabelecendo o consumo de energia elétrica mensal de 922,25 kWh/mês.

As lâmpadas fluorescentes possuem ótimos níveis de fluxo luminoso por unidade de potência, variando de 75 a 95 lm/W, enquanto para as lâmpadas LED essa variação é muito maior de 30 lm/W a 113,7 lm/W (GHISI, 2014). O mesmo autor prevê que para o ano de 2025 as lâmpadas LED alcancem a eficiência luminosa de 200 lm/W.

Ao consultar o catálogo de um dos fabricantes, figura 22, verifica-se a existência da indicação de equivalência equivocada para o estudo em questão, e o mesmo indica lâmpada de 18W modelo T5 comprimento de 115 cm base G5 com fluxo luminoso de 2000 lm para a substituição de lâmpadas fluorescentes de 28W, como mostra a Figura 22.

## TUBULAR T5 55CM E 115CM

LINHA SMART

| LUMENS | POTÊNCIA | EQUIVALE | TAMANHO |
|--------|----------|----------|---------|
| 1000lm | 9W       | 14W      | 55 CM   |
| 2000lm | 18W      | 28W      | 115 CM  |

NÃO PERMITE DIMERIZAÇÃO

| REFERÊNCIA  | COR    | ÂNGULO | CÓD. DE BARRAS |
|-------------|--------|--------|----------------|
| 9W - 60CM   |        |        |                |
| 300583      | 3.000K | 200°   | 7908124300583  |
| 300590      | 6.500K | 200°   | 7908124300590  |
| 18W - 120CM |        |        |                |
| 300606      | 3.000K | 200°   | 7908124300606  |
| 300620      | 6.500K | 200°   | 7908124300620  |

|                |                                                                  |
|----------------|------------------------------------------------------------------|
| TENSÃO         | 100-240 V                                                        |
| IRC            | > 80                                                             |
| VIDA ÚTIL      | 25.000 H                                                         |
| FREQUÊNCIA     | 50/60 HZ                                                         |
| CORRENTE *     | 0,077 A / 0,044 A <sup>1</sup><br>0,154 A / 0,089 A <sup>2</sup> |
| FATOR DE POT.  | ≥ 0.92                                                           |
| TEMP. OPERAÇÃO | -20°C A 40°C                                                     |
| PROTEÇÃO       | IP 20                                                            |
| GARANTIA       | 2 ANOS                                                           |

DIMENSÕES DA LÂMPADA

|          |            |
|----------|------------|
| 16mm (D) | 550mm (A)  |
| 16mm (D) | 1150mm (A) |

Figura 22. Lâmpadas LED com indicação equivocada de equivalência.. Fonte: Catálogo fabricante 1, 2019.

Ao analisar as características técnicas da lâmpada instalada nos ambientes estudados, exceto no banheiro da portaria 1, com potência de 28W modelo T5 verifica-se que o fluxo luminoso da mesma é de 2900 lm conforme figura 2, demonstrando a diferença de 900 lm entre as duas lâmpadas.

| Modelo       | Potência (W) | Base | Fluxo Luminoso (lm) | Equivalente a Incandescente (w) | Temperatura de Cor (K) | Vida Média (h) | IRC | Dimensões (mm) |    |
|--------------|--------------|------|---------------------|---------------------------------|------------------------|----------------|-----|----------------|----|
|              |              |      |                     |                                 |                        |                |     | A              | B  |
| FLUOR-T5-8W  | 8            | G5   | 470                 | 40                              | 4100/6500              | 16.000         | 85  | 302            | 16 |
| FLUOR-T5-14W | 14           | G5   | 1350                | 100                             | 3000/4100/6500         | 16.000         | 85  | 565            | 16 |
| FLUOR-T5-21W | 21           | G5   | 2100                | 160                             | 3000/4100/6500         | 16.000         | 85  | 865            | 16 |
| FLUOR-T5-28W | 28           | G5   | 2900                | 220                             | 3000/4100/6500         | 16.000         | 85  | 1165           | 16 |
| FLUOR-T5-54W | 54           | G5   | 5100                | 400                             | 4100/6500              | 16.000         | 85  | 1165           | 16 |

Figura 23. Característica da Lâmpada fluorescente instalada nos ambientes estudado. Fonte: Catálogo fabricante 2, 2009.

O banheiro da portaria 1, que é anexo ao prédio administrativo possui modelo diferente de lâmpada utilizada nos demais ambientes estudados, tal lâmpada é de 36 W modelo T8 da marca Phillips que possui fluxo luminoso de 2500 lm. Quando analisada a indicação do fabricante 1 para o mesmo modelo, verifica-se que o mesmo indica equivocadamente como equivalente a lâmpada LED de 18W com 1850 lm para substituir lâmpadas fluorescente de 40W.

Com isso, foi utilizado para fins de comparação de potência elétrica necessária, lâmpadas LED que possuem o fluxo luminoso próximo aos da tecnologia fluorescentes instaladas. Como é o caso das lâmpadas LED de 24W T5, denominado fabricante 3, de 24W 115 cm de comprimento e fluxo luminoso de 3240 lm (FABRICANTE 3, 2019). Conforme representado na tabela 4, a média de potência por lâmpadas, o total de potência instalada, número de lâmpadas (que não mudou), a média de fluxo luminoso por prédio, e o total de luminoso para os prédios estudados.

Tabela 23. Cálculo do fluxo luminoso nos locais estudados. Fonte: Próprio autor

| Ambiente           | Qd  | Potência<br>média<br>(W) | Potência<br>total<br>(W) | Lumens<br>média<br>(Lm) | Lumens<br>por local<br>(Lm) |
|--------------------|-----|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| <b>Prédio adm.</b> | 130 | 24                       | 3120                     | 3240                    | 421200                      |
| <b>Portaria 1</b>  | 20  | 22,8                     | 456                      | 2770                    | 61040                       |
| <b>Laboratório</b> | 36  | 24                       | 864                      | 3240                    | 116640                      |
| <b>Total</b>       | 186 |                          | 4440                     |                         | 598.880                     |

O comparativo de redução de potência instalada por sala do prédio administrativo e portaria 1 pode ser verificado através da tabela 24, é possível identificar que a potência elétrica das lâmpadas fluorescente é maior quando comparada à lâmpada LED com o fluxo luminoso similar e à lâmpada LED equivocadamente sugerida como equivalente para todas as salas e ambientes.

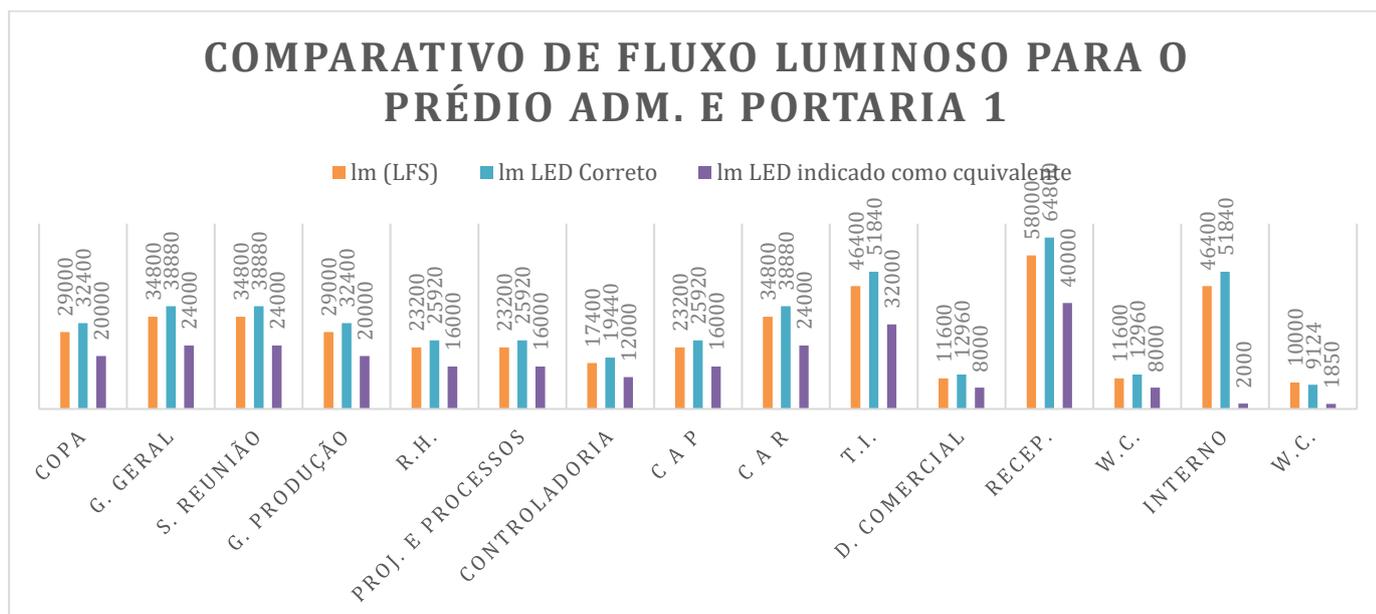
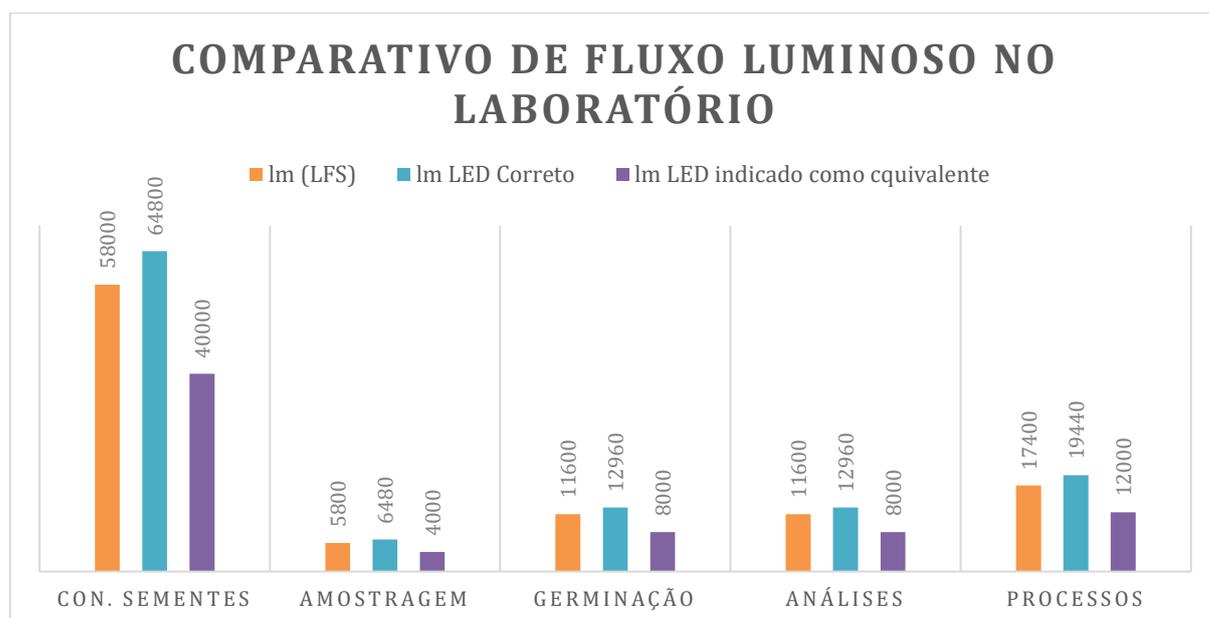


Figura 24. Diferença de fluxo luminoso por ambiente no prédio administrativo e portaria 1. Fonte: Autor, 2020.

Pode-se verificar na figura 24 a diferença de fluxo luminoso calculado para as lâmpadas fluorescentes (fabricante 2) instaladas nos ambientes do prédio administrativo, em relação as lâmpadas LED do Fabricante 1, que aconselham a substituição por lâmpadas LED equivalentes às lâmpadas de 18W. No entanto, ao verificar o fluxo luminoso total calculado para cada ambiente utilizando tal lâmpada há queda de 31% neste parâmetro.

Já para as lâmpadas LED com o fluxo luminoso similar Fabricante 3, houve pequeno acréscimo por ambiente 11,7 % no fluxo luminoso.



. Figura 25. Diferença de fluxo luminoso por local no laboratório de qualidade. Fonte: Autor, 2020.

O mesmo pode ser verificado no laboratório de análise de sementes através da figura 25, para os ambiente que utilizam as lâmpadas fluorescente 24W modelo T5, verifica-se a mesma queda de fluxo luminoso calculado por ambiente quando se compara a utilização do Fabricante 2 com o Fabricante 1, e o mesmo aumento quando se compara o Fabricante 2 com o Fabricante 3 para esses ambientes.

Tabela 24. Comparativo de potência e fluxo luminoso entre LFS, LED similar e LED indicado como equivalente. Fonte: Autor, 2020.

| Local                                       | Potência por área LFS (W) | Fluxo luminoso por área LFS (lm) | Potência LED Similar (W) | Fluxo luminoso LED similar (lm) | Potência LED indicada como equivalente (W) | Fluxo luminoso Potência LED indicada como equivalente (lm) |
|---------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Prédio Administrativo</b>                |                           |                                  |                          |                                 |                                            |                                                            |
| <b>Copa</b>                                 | 280                       | 29000                            | 240                      | 32400                           | 180                                        | 20000                                                      |
| <b>G. Geral</b>                             | 336                       | 34800                            | 288                      | 38880                           | 216                                        | 24000                                                      |
| <b>S. Reunião</b>                           | 336                       | 34800                            | 288                      | 38880                           | 216                                        | 24000                                                      |
| <b>G. produção</b>                          | 280                       | 29000                            | 240                      | 32400                           | 180                                        | 20000                                                      |
| <b>R.H.</b>                                 | 224                       | 23200                            | 192                      | 25920                           | 144                                        | 16000                                                      |
| <b>Proj. e processos</b>                    | 224                       | 23200                            | 192                      | 25920                           | 144                                        | 16000                                                      |
| <b>Controladoria</b>                        | 168                       | 17400                            | 144                      | 19440                           | 108                                        | 12000                                                      |
| <b>C a P</b>                                | 224                       | 23200                            | 192                      | 25920                           | 144                                        | 16000                                                      |
| <b>C a R</b>                                | 336                       | 34800                            | 288                      | 38880                           | 216                                        | 24000                                                      |
| <b>T.I.</b>                                 | 448                       | 46400                            | 384                      | 51840                           | 288                                        | 32000                                                      |
| <b>D. Comercial</b>                         | 112                       | 11600                            | 96                       | 12960                           | 72                                         | 8000                                                       |
| <b>Recep.</b>                               | 560                       | 58000                            | 480                      | 64800                           | 360                                        | 40000                                                      |
| <b>W.C.</b>                                 | 112                       | 11600                            | 96                       | 12960                           | 72                                         | 8000                                                       |
| <b>Portaria 1</b>                           |                           |                                  |                          |                                 |                                            |                                                            |
| <b>Interno</b>                              | 448                       | 46400                            | 384                      | 51840                           | 288                                        | 2000                                                       |
| <b>W.C.</b>                                 | 144                       | 10000                            | 72                       | 9124                            | 72                                         | 1850                                                       |
| <b>Laboratório de controle de qualidade</b> |                           |                                  |                          |                                 |                                            |                                                            |
| <b>Con. sementes</b>                        | 560                       | 58000                            | 480                      | 58000                           | 360                                        | 40000                                                      |
| <b>Amostragem</b>                           | 56                        | 5800                             | 48                       | 5800                            | 36                                         | 4000                                                       |
| <b>Germinação</b>                           | 112                       | 11600                            | 96                       | 11600                           | 72                                         | 8000                                                       |
| <b>Análises</b>                             | 112                       | 11600                            | 96                       | 11600                           | 72                                         | 8000                                                       |
| <b>Processos</b>                            | 168                       | 17400                            | 144                      | 17400                           | 108                                        | 12000                                                      |

Acima, na tabela 25, foi detalhado os dados de potência instalada e fluxo luminoso total com as lâmpadas fluorescentes, LED indicadas como equivalentes,

É possível observar através das tabelas 23 e 24 que houve a redução na potência total instalada ao realizar redimensionamento da iluminação, que é de 5240 W (5,24 kW) considerando a utilização de oito horas diárias, 22 dias por mês estimando o consumo mensal de 922,24 kWh ao mês, para 4440 W (4,44 kW) considerando a mesma utilização se estima o consumo mensal de 781,44 kWh, diminuindo 800 W, (0,8 kW), a redução de 16 %, revelando a possível economia mensal de energia de 140,8 kWh. A tarifa atual da empresa em horário fora de ponta é de R\$ 0,54, significa a redução de R\$76,03 apenas na fatura mensal de energia elétrica, que anualmente se traduz em R\$ 912,38.

#### **4.4.2.1 Payback simples para a iluminação**

Como pode ser observado, as lâmpadas que possuem fluxo luminoso similar para os ambientes administrativos, laboratório e uma parte da portaria foram as lâmpadas LED de 24 W modelo T5 soquete G5 (de acordo com a utilização do método Lumes), sendo 130 unidades para o prédio administrativo, 36 unidade para o laboratório e 16 para a portaria, dessa forma, 182 lâmpadas do montante de 186 são tubular LED 24 W. No caso da portaria, foi encontrado para o banheiro, 4 lâmpadas LED tubular de 18 W modelo T8 soquete G13.

Foi feita pesquisa com fornecedor de lâmpadas LED, sendo o custo encontrado para a lâmpada tubular de 24W T5, juntamente com o DRIVE necessário para o melhor funcionamento da lâmpada LED, foi de R\$ 44,90 e para lâmpada tubular de 18 W T8 soquete G13 foi de R\$ 25,00.

Dessa forma, o custo total para a substituição das lâmpadas, levando em consideração apenas os produtos é de R\$ 8.271,80. No estudo realizado por RODRIGUES; VASQUEZ; MORAIS 2019, que relativizou o custo da mão-de-obra por unidade substituída, sendo R\$ 12,75.un<sup>-1</sup> o valor da mão-de-obra, apenas para fins de cálculo do payback simples, este valor foi adotado para este estudo.

Com isso o custo da mão-de-obra é de R\$ 2.364,86, que somados ao custo das lâmpadas se obtém o custo total de R\$ 10.635,86. Como foi evidenciado anteriormente, a economia financeira anual, utilizando o método lumens para a substituição das lâmpadas, foi de R\$ 946,08 dessa forma obtém-se um payback de 12 anos, mostrando inviável a sua substituição em termos de economia financeira.

#### 4.4.2 Climatização

A tecnologia VRF fornece um Índice de Eficiência de Energia (EER) maior que os aparelhos Split inverter, devido a sua modulação de carga nos compressores de fluido refrigerante realizado através de inversores de frequência, que por sua vez consegue atender a diferentes solicitações (quantidade de pessoas no ambiente, equipamentos elétricos em funcionamento e ventilação do ambiente) e variações ambientais (temperatura, incidência de luz solar e umidade do ar) que naturalmente acontecem nas edificações, tais variáveis são verificadas através do sistema de sensoriamento instalados nestes equipamentos e do seu controle podendo ser realizado remotamente por smartphones, tablets, e tecnologias móveis.

De acordo com o levantamento feito do prédio administrativo, laboratório de sementes e do departamento de logística (que está no mesmo prédio do laboratório) da empresa estudada, pode-se observar que as duas edificações em conjunto, possuem o total de 435000 BTU/h (127,48 kW/h) de capacidade de refrigeração, 36,25 toneladas de refrigeração, com um EER médio de 3,2.

Sendo que, para o prédio administrativo está instalado 189.000 BTU/h (55,39 kW) com um EER médio de 3,19 e uma potência elétrica de 17,31 kW e para o prédio do laboratório e logística a potência de refrigeração instalada é de 246.000 BTU/h (72,09 kW) ERR médio de 3,22 e potência 22,42 kW como pode ser observado nas Tabelas 6 e 7 .

Para fazer a análise de viabilidade técnica, foram retiradas dos dados de catálogo de um fornecedor da tecnologia VRF, para isso foi avaliado a capacidade de refrigeração total instalada em cada prédio, dessa forma, consegue-se através dos dados de capacidade de refrigeração de cada módulo VRF, mensurar a quantidade de módulos necessários. Como o sistema VRF possui um EER maior que o dos sistemas individuais, ao estimar a instalação destes equipamentos, pode-se estimar a economia de energia que pode ser alcançada. Foi utilizado o catálogo técnico GREE, 2019 para a obtenção dos dados técnicos de capacidade de refrigeração e potência elétrica dos equipamentos VRF.

Levando em consideração que estes ambientes são utilizados apenas em períodos comerciais que em geral são oito horas diárias, neste estudo foi feito a estimativa do consumo de energia elétrica com todos os equipamentos em funcionamento durante todo o período comercial.

A figura 24 demonstra a potência dos aparelhos Split inverter distribuídos pela instalação do prédio administrativo e o aparelho responsável pela climatização da portaria 1 em comparação com a potência estimada do sistema VRF para cada local, sendo possível verificar a redução da potência instalada com a utilização da mesma tecnologia.

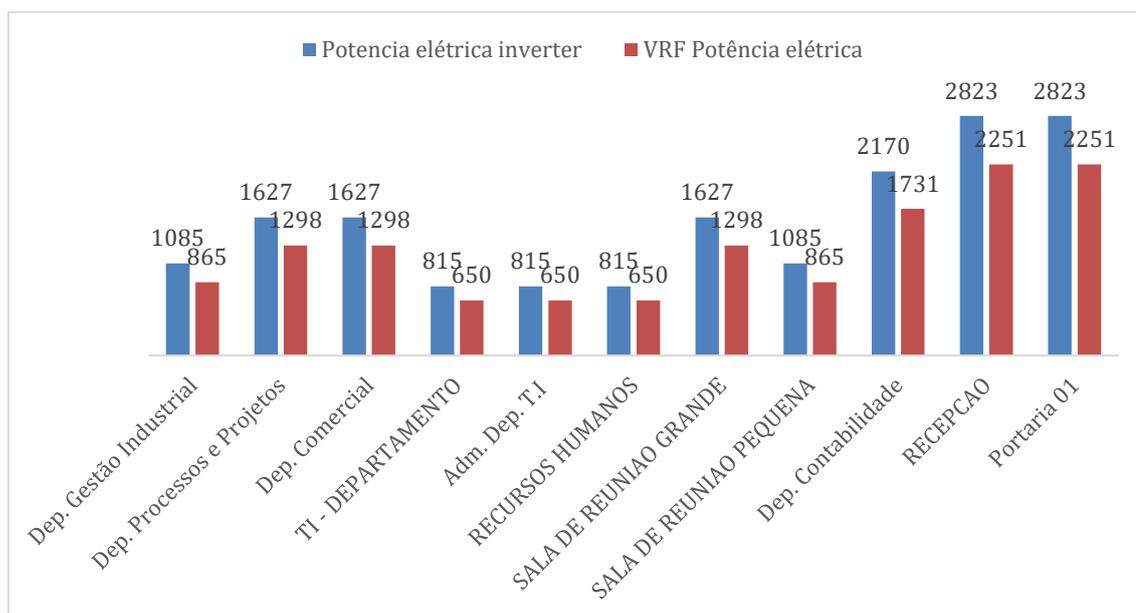


Figura 26. Redução de potência por local no laboratório. Fonte: Autor, 2020.

A tabela 24 coloca as características de refrigeração e consumo de energia elétrica do sistema instalado, atualmente no prédio administrativo versus as características do sistema VRF dimensionada utilizando a capacidade de refrigeração dos equipamentos instalados. Podendo ser observado a redução no consumo de energia mensal de 556,4 kWh, equivalendo a 19,13 %, considerando o custo do kWh de R\$ 0,54 obtém-se a economia de R\$ 300,46 ao mês, e quando multiplicado pelos 12 meses do ano é igual a R\$ 3.605,47.

Em termos de toneladas de refrigeração para o prédio administrativo e portaria 1, com os condicionadores de ar Split inverter, a potência de refrigeração instalada é de 189.000 BTU/h, equivalente a 15,75 toneladas de refrigeração. Ao dimensionar um sistema VRF equivalente, esta capacidade de refrigeração deve ser mantida, ou ainda, ligeiramente maior.

Sendo assim, pela disponibilidade da combinação de módulos VRF utilizados, foi possível obter 191.081,42 BTU/h, equivalendo a 15,92 toneladas de refrigeração.

Tabela 25. Comparativo inverter versus VRF do prédio administrativo. Fonte: Próprio Autor, 2020.

| <b>Prédio administrativo</b>                             |                               |                                  |                    |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Consumo de energia                                       | <b>Equipamentos inverter</b>  | <b>VRF</b>                       | <b>Diferença</b>   |
| Capacidade de Refrigeração                               | 189.000 BTU/h<br>(55,39 kW/h) | 191.081,42<br>BTU/h<br>(56 kW/h) | + 2081,42<br>BTU/h |
| Potência elétrica                                        | 17.311,92 W                   | 14.000 W                         | 2401,92w           |
| Consumo de energia elétrica diária (Para 8 horas de uso) | 138,5 kWh                     | 112 kWh                          | 26,5 kWh           |
| Consumo mensal                                           | 2.908,4 kWh                   | 2.352 kWh                        | 556,4 kWh          |
| Custo mensal com energia                                 | R\$ 1.570,54                  | R\$ 1.270,08                     | R\$ 300,46         |

No caso do prédio do laboratório de qualidade, é possível verificar através da Figura 25 que demonstra a redução de potência instalada por local, verificando tal redução com a possível utilização dos equipamentos VRF em relação aos Split inverter.

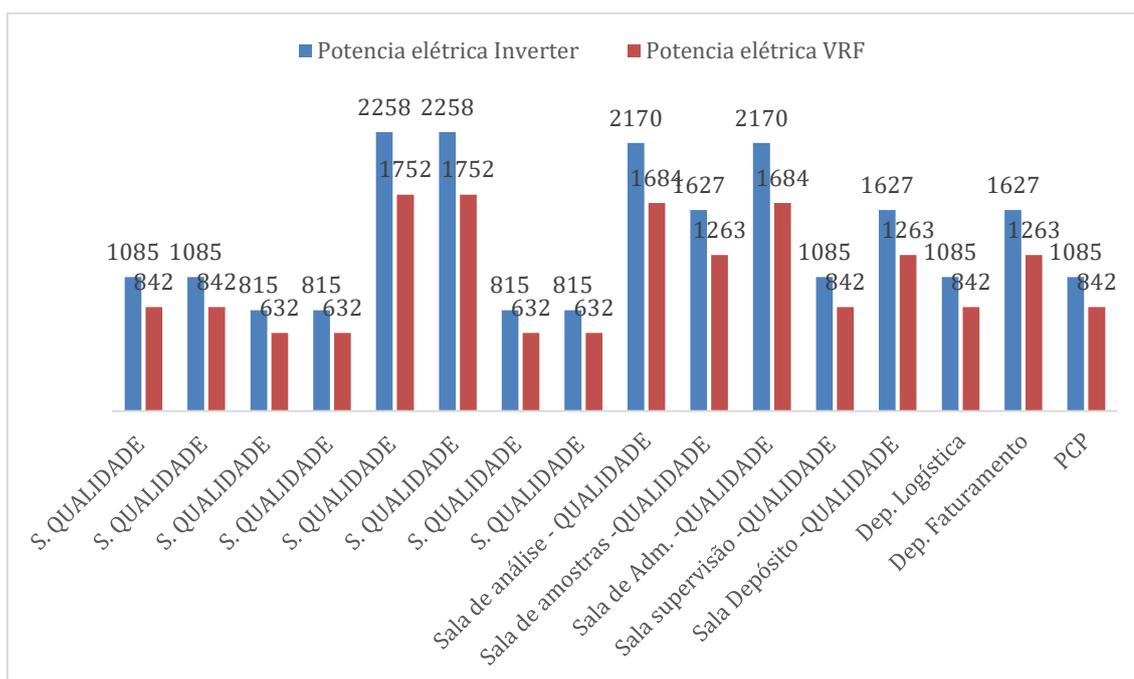


Figura 27. Redução de potência por local no laboratório. Fonte: Próprio autor, 2020.

A tabela 25 faz o comparativo para o prédio do setor de controle de qualidade e logística, obtendo diminuição na potência instalada de 5022 W, reduzindo com isso, o consumo diário em 40,17 kWh que considerando a utilização do sistema de ar condicionado, semanalmente de segunda a sexta, totalizando 21 dias ao mês, reduz o consumo mensal em 843,69 kWh, obtendo economia estimada de R\$ 455,59 ao mês e R\$ 5.467,00 ao ano.

Ambos os ambientes pertencem a mesma planta industrial, dessa forma os valores de economia total estimada com a possível substituição dos equipamentos são de 1400,09 kWh/mês e 16801,08 kWh/ano representando economia de 22,3 % que financeiramente representa a economia possível de R\$ 756,05 ao mês consequentemente R\$ 9.072,58/ano.

Em se tratando de capacidade de refrigeração instalada com os ar condicionados split inverter, para o laboratório de qualidade de sementes, a potência instalada equivale a 246.000 BTU/h, ou ainda, 20,5 toneladas de refrigeração.

Com o sistema VRF proposto para a substituição da tecnologia, a capacidade de refrigeração é de 248.405,8 BTU/h, traduzindo em 20,7 toneladas de refrigeração.

Tabela 26. Comparativo inverter versus VRF setor de qualidade. Fonte: Próprio Autor, 2020.

| <b>Prédio Setor de controle de qualidade</b>             |                              |                                 |                  |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| <b>Consumo de energia</b>                                | <b>Equipamentos inverter</b> | <b>VRF</b>                      | <b>Diferença</b> |
| Capacidade de Refrigeração                               | 246.000 BTU/h<br>(72,09 kW)  | 248.405,8<br>BTU/h<br>(72,8 kW) | + 2405,8 BTU/h   |
| Potência elétrica                                        | 22422 W                      | 17400 W                         | 5022 W           |
| Consumo de energia elétrica diária (Para 8 horas de uso) | 179,37 kWh                   | 139,2 kWh                       | 40,17 kWh        |
| Consumo mensal                                           | 3766,89 kWh                  | 2923,2 kWh                      | 843,69 kWh       |
| Custo mensal com energia                                 | R\$ 2034,12                  | R\$ 1578,53                     | R\$ 455,59       |

#### 4.4.2.2 Payback simples para a climatização

Obtidos a economia possível utilizando o VRF no lugar do Split inverter, foi feito um contato com representante de uma das marcas que comercializam os equipamentos VRF no Brasil a fim de verificar os custos para obtenção dos equipamentos dimensionados acima.

O representante dos equipamentos VRF da marca GREE montou uma proposta financeira envolvendo para a substituição do sistema Split inverter pelo sistema equivalente VRF. Sendo o custo total da proposta de R\$ 429.599,00, incluindo equipamentos e instalação.

Dessa forma, por divisão simples, se obtém o tempo de retorno do investimento de 47,35 anos, mostrando a completa falta de viabilidade do projeto, pelo fato de a tecnologia não ser produzida no Brasil e ser pouco utilizada no país.

#### 4.5 Conclusão

O presente trabalho objetivou, através do levantamento dos equipamentos utilizados atualmente na iluminação e climatização do prédio administrativo e do prédio do laboratório da Sementes Goiás, estudar a possível economia proporcionada pela utilização da tecnologia LED e VRF para ambos os ambientes, podendo afirmar que:

Utilizando o método Lumens, a redução de potência nos prédios estudados, buscando manter o mesmo nível de fluxo luminoso, foi de 16%. Chegando a um payback básico de 12 anos. Com isso, ao realizar a substituição das lâmpadas fluorescente por lâmpadas LED, deve-se tomar cuidado com as recomendações dos fabricantes e catálogos técnicos, os mesmos recomendam a redução na potência instalada de 50%;

O que faz pertinente a troca de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED é o alto grau de contaminação do mercúrio contido no interior das lâmpadas fluorescente, que segundo ZANICHEL I et. Al., torna tal ação importante do ponto de vista ambiental, pois o LED não oferece nenhum impacto ambiental pelo seu descarte incorreto, a não ser o acúmulo de lixo.

É necessário melhorar a fiscalização no âmbito das indicações por parte dos fornecedores e fabricantes para a substituição de lâmpadas Fluorescentes por LED, sendo de grande importância a propagação dos laboratórios de certificação de lâmpadas;

A tecnologia VRF traz a economia de 22,3 % para o prédio do laboratório de sementes e de 19,13 % para o prédio administrativo, mostrando uma excelente opção para a melhoria da eficiência em ambientes comerciais e prediais.

A tecnologia VRF, apesar de mais eficiente pela sua tecnologia de controle de fluxo de gás refrigerante, não se mostra viável financeiramente pelo seu alto custo de aquisição, que para fins deste projeto, obteve o retorno de investimento em 47,35 anos, mostrando que para a substituição da tecnologia Split inverter pelo VRF não é viável para termos de *retrofit* para os ambientes estudados.

#### 4.6 Referências Bibliográfica

AGARWAL Y. GUPTA B. B. R., LYLES J. WEI M., WENG T. *Occupancy-Driven Energy Management for Smart Building Automation* BuildSys 2010 November 2, 2010, Zurich, Switzerland.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2004) NBR 10004: *Resíduos Sólidos–Classificação*. Rio de Janeiro. ANBT. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2013) NBR ISO/CIE 8995-1: *Iluminação de ambientes de trabalho*. Rio de Janeiro. ANBT. 46p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1992) NBR 5413: *Iluminância de interiores*. Rio de Janeiro. ANBT. 13p.

AVANT, *Catalogo técnico de iluminação AVANT* , Disponível em : <<http://avantlux.com.br/produto/catalogos-de-produtos-avant/>> acesso em: 14/12/2019.

AYNUR, T. N.; HWANG, Y.; RADEMACHER, R. *Integration of Variable Refrigerant Flow and Heat Pump Desiccant Systems for Heating Season*, Energy and Buildings, v. 42 p. 468-476, 2010..

BOSE-O'REILLY, S.; McCARTY, K.M.; STECKLINH, N.; LETTMEIER, B. (2010) *Mercury exposure and children's health. Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, v. 40. p. 186-215.

BRASIL. (2010) Lei nº 12.305/10 - *Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)> Acesso em: 25 dez. 2019.

BRASIL. (2001) Lei nº 10.295/01 - *Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia*. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm)> Acesso em: 24 dez. 2019.

BRILIA, *Catalogo técnico de iluminação*, Disponível em : <[www.brilia.com/wp-content/uploads/brilia-catalogo](http://www.brilia.com/wp-content/uploads/brilia-catalogo)> acesso em: 14/12/2019.

CHOY J. M., KIM, Y. C. *Capacity Modulation of na Inverter-Driven Multi-Air Conditioner Using Electronic Expansion Valves*, Energy, v. 28, p. 141-155, 2003.

COSTA, T. G. B.; FLORIAN, F.; MINOTTI, C. *Comparativo dos distúrbios causados na rede de alimentação pelo sistema de ar condicionado tipo split inverter em relação ao split convencional*. Universidade de Araraquara. Araraquara, p. 15.

CREDER H., *Instalações Elétricas, Livros Técnicos e Científicos* Editora, 1991.

ENERGY STAR. (2010) *Information on Compact Fluorescent Light Bulbs (CFLs) and Mercury*. Energy Star Program: U.S. Department of Energy. Disponível em: <[http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change\\_light/downloads/Fact\\_Sheet\\_Mercury.pdf](http://www.energystar.gov/ia/partners/promotions/change_light/downloads/Fact_Sheet_Mercury.pdf)> Acesso em: 25 dez. 2019.

EPE. - Empresa de Pesquisa Energética *Balanco Energético Nacional 2018*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em: 11 mar. 2020.

GHISI J. L. N. P. E., *Eficiência luminosa de produtos LED encontrados no mercado brasileiro*. Relatório Técnico, CB3E, UFSC 2014.

GREE, *Catalogo técnico de climatização VRF*, Disponível em : <[www.gree.com.br/suporte/downloads/manuais](http://www.gree.com.br/suporte/downloads/manuais) > acesso em: 14/12/2019.

PHILIPS, *Catalogo técnico de iluminação*. Disponível em: <[www.philips.com.br](http://www.philips.com.br)>, acesso em: 2008.

POZZA, F. *Análise térmica e energética de uma edificação residencial climatizada com sistema de fluxo de refrigerante variável – VRF*, Dissertação de mestrado, Julho de 2011.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *O programa*, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD%7D>>. Acesso em: 11/08/2019.

REY-RAAP, N. & GALLARDO, A. (2012) *Determination of mercury distribution inside spent compact fluorescent lamps by atomic absorption spectrometry*. *Waste Management*, v. 32, n. 944-948.

RODRIGUES S. F.; VASQUEZ G. H.; MORAIS J. S. *Substituição de lâmpadas fluorescentes por light emitting diode (LED) em uma instituição de ensino: Preocupação ambiental, energética e econômica*. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, V. 24 n.4 2019.

SANTOS T. S.; BATISTA M. C.; POZZA S. A.; ROSSI L. S. *Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais*. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. V. 20, n4, 20015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. (2012) *Compact Fluorescent Light Bulbs (CFLs)*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/cfl/cfl-hg.html>> Acesso em: 25 dez. 2019.

WANG, J.; FENG, X.; ANDERSON, C.W.N.; XING, Y.; SHANG, L. (2012) *Remediation of mercury contaminated sites – A review*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 221-222, p. 1-8.

ZANICHELI, C.; PERUCHI, I.B.; MONTEIRO, L.A.; JOÃO, S.A.S.; CUNHA, V.F. (2004) *Reciclagem de lâmpadas: aspectos ambientais e tecnológicos*. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas. 22 p. Disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/reciclagem\\_de\\_lampadas\\_aspectos\\_ambientais\\_e\\_tecnologicos.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/reciclagem_de_lampadas_aspectos_ambientais_e_tecnologicos.pdf)>. Acesso em: 25 Dez. 2019.

## 5 CONCLUSÃO GERAL

Neste trabalho procurou-se avaliar algumas soluções de melhorias de eficiência energética nas indústrias Sementes Goiás e Caraíba Sementes.

A média de consumo de energia elétrica para o horário de ponta para a SMG dentro três anos (2017, 2018 e 2019) foi de 23378,17 kWh/mês e a média de demanda foi de 690,06 kW. O consumo médio diário foi de 1062,65 kWh/dia. Já a SMC possui média de consumo de energia elétrica para o horário de ponta dentro dos últimos três anos de 2486,50 kWh/mês e a média de demanda foi de 97,08 kW. O consumo médio diário foi de 113,02 kWh/dia com 37,67 kW de potência média.

Considerando a avaliação das faturas de energia elétrica, buscando dimensionar uma demanda ótima, foi identificado através da ferramenta MACDE, que para a SMG há necessidade de mudança da demanda contratada de 990 kW para 1309 kW, prevendo a economia anual de R\$ 92.345,40, e para a SMC redução de 230 kW para 209 kW, prevendo a economia de R\$ 3.366,22 ao ano.

No que tange à geração de energia própria para o atendimento no horário de ponta, foi considerado duas opções de geração um renovável e o outro não renovável. Sendo o renovável um sistema fotovoltaico autônomo e o não renovável um grupo motor gerador Diesel. Foi dimensionado um GMG de 364,8 kW para a SMG e 48 kW para a SMC, ambos dimensionados para operar em regime prime. Apesar da emissão de gases poluentes causada pela queima de combustíveis fosseis demonstrando que o investimento em grupo motor gerador é totalmente viável, mostrando retorno em curtíssimo tempo

Foi dimensionado um SFA para a SMG uma usina de 516,28 kWp e para a SMC 56,91 kWp. Aos analisar os custos de investimento para ambos os casos foi identificando que o sistema fotovoltaico não se mostra viável atualmente.

Ao levar em consideração a melhoria de eficiência nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, foi avaliado a redução no consumo de energia anual para dois prédios administrativos da SMG adotando a premissa da substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED e da substituição dos sistemas de ar condicionado Split inverter por VRF.

Dessa forma, constatou-se que a redução do consumo de energia para ambos os prédios utilizando LED é de 16%, levando em consideração o método Lumens visando manter o rendimento de iluminação adequado para os ambientes estudados, contraponto as indicações dos fabricantes de substituição por lâmpadas LED pela metade da potência das lâmpadas fluorescentes, evidenciando necessidade técnica de fiscalização das indicações de

troca de lâmpadas fluorescente por lâmpadas LED. Dessa forma, ao calcular o retorno do investimento, foi verificado que, ao utilizar o método lumens para prever a iluminância necessária para os ambientes de acordo com as normas regulamentadoras, a substituição por lâmpadas LED não é viável economicamente, por causa do grau de eficiência luminosa das atuais lâmpadas.

Para o sistema de ar condicionado, foi identificada redução possível do consumo de energia de na ordem de 22,3% para o prédio do laboratório de sementes, e de 19,13 % para o prédio administrativo ao utilizar o VRF, no entanto, não é recomendado a sua substituição atualmente por causa do custo elevado. No entanto, os custos para a concepção do projeto se mostram muito elevados atualmente, não sendo viável financeiramente.

## **5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Estudo de viabilidade de investimento no mercado de crédito de carbono para as soluções de produção de energia elétrica;
- Estudo do grau de iluminância dos modelos de lâmpadas fluorescentes instaladas em ambientes estudados comparada com lâmpadas LED com indicação dos fabricantes de equivalência, comparando ainda com as lâmpadas de fluxo luminoso similar as lâmpadas instaladas;
- Estudo do grau de potencial de contaminação por mercúrio por lâmpadas fluorescentes não descartadas corretamente;
- Estudo de redução de perdas no sistema de refrigeração dos armazéns.

## 6 APÊNDICE A

### Capítulo de Dimensionamento básico simplificado de painéis fotovoltaicos

Para fins de utilização de energia renováveis, foi feito dimensionamento de uma usina fotovoltaica conectada à rede para ambas as indústrias de beneficiamento de soja, que mostraram um retorno de investimento bastante atrativos, e, as principais vantagens com esse sistema são:

- Autonomia de produção de energia elétrica;
- Melhor qualidade da energia elétrica;
- Baixo custo do investimento quando comparado com o custo de energia do sistema.

Com isso, foi utilizado o método do mês crítico para dimensionar a usina, e os seguintes parâmetros foram adotados.

- Irradiação solar:  $5,16 \text{ kWh} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{dia})^{-1}$  (mês de junho);
- Média de consumo mensal de energia:  $411582,5 \text{ kWh} \cdot \text{mês}^{-1}$  para a SMG e  $49528 \text{ kWh} \cdot \text{mês}^{-1}$  para a CSM;
- Média do consumo de energia elétrica no horário de ponta é de  $23.378,17 \text{ kWh} \cdot \text{dia}^{-1}$  para a SMG e  $2.486,5 \text{ kWh} \cdot \text{mês}^{-1}$ , utilizando a compensação para a produção de energia no horário de ponta esse consumo vai para  $106591,44 \text{ kWh} \cdot \text{mês}^{-1}$  para SMG e  $11973,97 \text{ kWh} \cdot \text{mês}^{-1}$  para a CSM;
- Potência de pico do módulo:  $335 \text{ Wp}$
- Eficiência considerado do sistema  $83\%$

Utilizando a equação 1 (FILHO, 2019), foi possível encontrar a quantidade de módulos chegar ao consumo de energia médio de ambas as sementeiras

$$N_p = \frac{E_{\text{sistema}} * 1000}{E_s * P_{\text{máx}} * 30 * \eta}$$

Equação(1)

Chegando para usina de  $4033 \text{ kWp}$  ( $12039$  módulos) a SMG e  $405 \text{ kWp}$  ( $1208$  módulos) a SMC. Considerando a garantia de desempenho fornecida pelos fabricantes de

módulos fotovoltaicos de 25 anos, o consumo de energia evitado para este período é de 130.488.201 kWh para a SMG e 15.604.350 kWh para a SMC.

|                                       | SMG                                     | SMC                                    |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Potência de pico</b>               | 4033 kWp                                | 405 kWp                                |
| <b>Quantidade de módulos (335 Wp)</b> | 12039                                   | 1208                                   |
| <b>Energia evitada em 25 anos</b>     | 130.488.201 kWh                         | 15.604.350 kWh                         |
| <b>Área ocupada</b>                   | 23.100,42 m <sup>2</sup> (2,31 hectare) | 2.317,91 m <sup>2</sup> (0,23 hectare) |

Tabela 1A – Características das usinas. Fator: Autor.

Levando em consideração a ata de registro de preço do programa IF solar ARP-65-2019 MEC/SETEC para a usina de 18,76 kWp, com custo dos inversores, mão de obra e da estrutura de fixação, instalação elétrica é de R\$ 73.578,40.

Por regra de três simples, foi possível calcular a quantidade de kits de 18,76 kWp para a SMG e SMC, sendo 214 e 21 respectivamente. Gerando o custo total de R\$ 20.119.127,67 e R\$ 2.019.402,09 respectivamente.

Considerando a manutenção do sistema a troca dos inversores de frequência a cada 10 anos, e anualizando o custo do sistema para o período de 25 anos, foi possível obter um *payback* e o custo de energia de 5,66 anos e R\$ 0,16 .kW<sup>-1</sup> para a SMG e 5,16 anos e R\$ 0,14.kW<sup>-1</sup> para a SMC.

Cabe evidenciar que os custos de investimentos adotados para este projeto foram retirados da ata de registro de preço N° 65/2019 da RDC N° 03/2018 IF Sul de minas., que incluem os custos com mão-de-obra, instalação e aquisição de materiais (módulos fotovoltaicos, inversores de frequência e estrutura para instalação dos equipamentos).

## APÊNDICE B

### Projeto de M&V

Um fator que chamou a atenção durante a visita realizada no primeiro contato com os gestores da Sementes Goiás, foi a forma centralizada da medição de energia elétrica consumida dentro da empresa, não possuindo a medição do consumo de forma setorizada, o que inviabiliza a comparação de gastos entre os setores e dificulta a constatação de economia de energia elétrica com as ações de eficiência energética empregadas.

Isso impede a atuação de forma incisiva e isolada em setores que possuem grande relevância de utilização de energia elétrica como as Unidades Básicas de Beneficiamento (UBS), armazéns e Unidade de Tratamento de Sementes (UTS), não sendo possível identificar a efetividade das ações em cada setor.

Com isso, faz-se necessária a implementação de um sistema de medição e verificação (M&V) em tempo real, criando uma base de dados para a análise de oportunidades de economia de energia elétrica, visando mensurar a proporção dos gastos, os principais “ladrões” do consumo de energia elétrica e a efetividades das ações visando a diminuição do consumo.

A técnica da M&V surgiu para avaliar os resultados de projetos de eficiência energética que, como se sabe, são a energia que não se consome e, portanto, não pode ser medida diretamente. A M&V estabelece os meios para se estimar a energia que se teria consumido, após a instalação de uma ação de eficiência energética – AEE, se esta AEE não tivesse sido implantada. A subtração da energia realmente consumida desta estimativa representa a energia economizada.

Basicamente a técnica M&V consiste em fazer um modelo de regressão linear que irá criar o perfil de consumo de energia elétrica do sistema consumidor de energia antes da ação de eficiência energética, relacionando o seu funcionamento com uma variável independente que fará estimativa do consumo (denominado fantasma) do aparelho substituído para comparação posterior com o aparelho substituto e será aferido dentro do período de planejamento do projeto, procurando mostrar o consumo evitado com a AEE.

Dessa forma é proposto as sementeiras um projeto de M&V que será dividido nas seguintes fases:

Fase 1 – Buscar a separação de pontos que necessitem de medição setorial;

Fase 2 – Ações de eficiência energética que demandam baixo ou nenhum investimento;

E por fim um projeto de eficiência global aplicado, visando mudança pontual de climatização, iluminação, melhoria de falha de vedação térmica dos armazéns e pelas portas de acesso dos ambientes climatizados, absorção pelo solo e sensoriamento.

## APÊNDICE C

A Caraíba sementes já possuía um grupo motor-gerador instalado em sua planta industrial, sendo um Grupo Motor-Gerador Cummins de 225 kVA Prime, que não entrava em funcionamento no horário de ponta, na tabela abaixo foi feito o estudo nos moldes do estudo feito no capítulo 3 para a utilização deste GMG para o horário de ponta .

| <b>Grupo motor gerador Cummins Sementes Caraíba (250 kVA Stand by/ 225kVA Prime).</b> |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>Despesa com manutenção anual (6%)</b>                                              | R\$ 7.653,09   |
| <b>Despesa com combustível</b>                                                        | R\$ 54.883,60  |
| <b>Custo de energia elétrica com a concessionária</b>                                 | R\$ 101.164,91 |
| <b>Despesas total usando gerador</b>                                                  | R\$ 62.536,69  |
| <b>Economia</b>                                                                       | R\$ 38.628,22  |

Tabela 1C – Custos e economia utilizando o GMG instalado na CSM. Fonte:

Autor.2020.

Somando o estudo de demanda ótima para a utilização do grupo motor gerador é previsto uma economia financeira anual de R\$ 41.994,44 que ao é mês se trata de R\$ 3.499,54.