



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



THIAGO FREIRE MELQUÍADES

**ANÁLISE DO POTENCIAL SOLAR TÉRMICO EM UM
SEGMENTO DO SETOR DE ALIMENTOS E BEBIDAS NA
PARAÍBA**

JOÃO PESSOA - PB
2016

PPGER / MESTRADO ACADÊMICO / Nº 07

THIAGO FREIRE MELQUÍADES

**ANÁLISE DO POTENCIAL SOLAR TÉRMICO EM UM SEGMENTO DO
SETOR DE ALIMENTOS E BEBIDAS NA PARAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Luiz Moreira Coelho Junior

**JOÃO PESSOA - PB
2016**

M528a Melquíades, Thiago Freire.

Análise do potencial solar térmico em um segmento do setor de alimentos e bebidas na Paraíba / Thiago Freire Melquíades.- João Pessoa, 2016.

127f. : il.

Orientador: Luiz Moreira Coelho Junior

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR

1. Energias renováveis. 2. Indústria alimentícia.
3. Potencialidades. 4. Energia solar térmica.

UFPB/BC

CDU: 620.91(043)

THIAGO FREIRE MELQUÍADES

**ANÁLISE DO POTENCIAL SOLAR TÉRMICO EM UM SEGMENTO DO SETOR
DE ALIMENTOS E BEBIDAS NA PARAÍBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de abril de 2016.

Prof. Dr. Monica Carvalho

UFPB

Prof. Dr. Ricardo Moreira da Silva

UFPB

Orientador (a)
Prof. Dr. Luiz Moreira Coelho Junior

**JOÃO PESSOA - PB
2016**

Um passo à frente e você não está mais
no mesmo lugar.

(Chico Science)

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho, em especial:

À minha família por todo carinho, apoio e liberdade concedida para quaisquer decisões na minha vida. E em particular ao meu pai (*In memorian*), pelo incentivo incondicional aos estudos.

À minha namorada, Priscilla Sebadelhe, pelo apoio em momentos incertos e de insegurança. Sem dúvida, todo amor e carinho mantiveram minha motivação.

Ao Professor Luiz Moreira Coelho Junior pelas “puxadas de orelha” e irrecusável repasse de conhecimento e experiências. Sem sua presteza esse trabalho não seria realizado.

Ao Professor José Maurício Alves de Matos Gurgel e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio a esta pesquisa.

Aos camaradas da “salinha”, Alysson, Anderson, Josemar e Vicente, pelos diversos debates que acarretaram na evolução da pesquisa científica. Aprendemos que o desenvolvimento científico consiste na multidisciplinariedade dos conhecimentos. Desejamos todo o sucesso do mundo.

RESUMO

A energia solar é a fonte energética mais abundante do nosso planeta, porém, ainda pouco explorada pela sociedade moderna se comparada com outras fontes. Essa dissertação analisou as potencialidades do uso de coletores solares térmicos em um segmento da indústria de alimentos e bebidas na Paraíba. E, de forma específica, primeiramente analisou por meio de indicadores regionais, a relevância dos segmentos potenciais de alimentos e bebidas paraibanos para o uso de Sistemas de Aquecimento Solar (SAS). Segundamente, analisou a viabilidade técnica e econômica do uso de coletores solares térmicos em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, localizada em João Pessoa. Terceiramente, verificou por meio da Avaliação de Ciclo de Vida os impactos ambientais associados ao processo de pasteurização em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa, comparando a substituição do queimador atmosférico de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) por um Sistema de Aquecimento Solar. Por fim, analisou a Série de Radiação Solar Global, no período de julho de 2007 a dezembro de 2013 do município de João Pessoa na Paraíba, por meio dos modelos da família ARIMA e testando os modelos estimados na previsão de 2014. As metodologias utilizadas foram: análise regional; por meio das medidas de localização e regionais, análise de ciclo de vida pelo método IPCC 2013 GWP 100a, o método Box-Jenkins de análise de séries temporais; e análise técnica e econômica pela NBR 15569 e indicadores financeiros. Os principais resultados foram: os subsetores do setor alimentício são distribuídos de forma semelhante entre as mesorregiões. O SAS proporcionou menores impactos ambientais, quando comparado ao queimador atmosférico. O modelo SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂ foi o que forneceu melhor ajuste da radiação solar global para 2014. Concluiu-se que o uso de coletores solares térmicos no segmento da indústria de alimentos e bebidas na Paraíba é viável dos pontos de vista técnico, econômico e ambiental.

Palavras-Chave: indústria alimentícia, potencialidades, energia solar térmica.

ABSTRACT

Solar energy is the most abundant energy source in the Earth, however, still little explored by modern society, compared to another sources. This dissertation analyzed the potential use of solar thermal collectors in the food and beverage' industry segment in Paraíba. And specifically analyzed through regional indicators, the relevance of potential segments of food and beverages from Paraíba for the use of Solar Heating Systems (SAS). It was also analyzed the technical and economic feasibility of using solar thermal collectors in a manufacturing company of ice cream and other ices, located in João Pessoa. It was found through the environmental impacts Life Cycle Assessment associated with the pasteurization process in an ice cream manufacturing company and other ices in Joao Pessoa, comparing the replacement of atmospheric burner LPG (Liquefied Petroleum Gas) to Solar Heating System. It was analyzed the Global Solar Radiation Series, from July 2007 to December 2013 in the city of Joao Pessoa Paraíba, using the ARIMA family models and testing the models estimated in 2014 forecast. The methodologies used were: regional analysis, through location and regional measures, life cycle assessment using the IPCC 2013 GWP 100a method, the Box and Jenkins method of time series analysis; and technical and economic analysis through NBR 15569 and financial indicators. The main results were: the sub-sectors of the food industry are distributed similarly between mesoregions. The SAS provided smaller environmental impact as compared to atmospheric burner. The SARIMA model (2,1,0) (2,1,3) 12 was the one that provided the best fit global solar radiation for 2014. It was concluded that the use of solar thermal collectors in the segment of the food and beverage industry in Paraíba is feasible according points of view technical, economic and environmental.

Keywords: food industry, potential, thermal solar energy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.2 Objetivo Específico	13
1.2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
1.2.1 Energia	14
1.2.2 Energia Solar.....	19
1.2.3 Impactos ambientais associados a energia solar	25
1.2.4 Economia Regional	30
1.2.5 Séries Temporais.....	31
2 ARTIGO 1 - ANÁLISE REGIONAL DOS PROCESSOS DE DEMANDA DE CALOR NA INDÚSTRIA PARAIBANA DE ALIMENTOS E BEBIDAS	36
2.1 INTRODUÇÃO.....	38
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	39
2.2.1 Objeto de Estudo	39
2.2.2 Delimitação do Objeto de Estudo	39
2.2.3 Indicadores Regionais	40
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
2.4 CONCLUSÃO.....	54
2.5 REFERÊNCIAS	55
3 ARTIGO 2 - ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE COLETORES SOLARES TÉRMICOS EM UMA EMPRESA DE SORVETES	57
3.1 INTRODUÇÃO.....	59
3.2 METODOLOGIA	60
3.2.1 Objeto de Estudo	60
3.2.2 Pesquisa de Mercado.....	61
3.2.3 Dimensionamento do SAS	63
3.2.4 Radiação Solar	63

	10
3.2.5 Cálculo do Volume de Consumo de Água Quente	65
3.2.6 Cálculo do Sistema Armazenamento de Água Quente	66
3.2.7 Cálculo da Demanda de Energia Útil.....	66
3.2.8 Cálculo da Área Coletora	67
3.2.9 Avaliação Econômica do Investimento.....	69
3.3 RESULTADOS	71
3.3.1 Dimensionamento do SAS	71
3.3.2 Avaliação de Investimento.....	74
3.3.3 Análise de Sensibilidade	75
3.4 CONCLUSÕES.....	79
3.5 REFERÊNCIAS	80
4 ARTIGO 3 - ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL EM UM PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO DE UMA EMPRESA DE SORVETES EM JOÃO PESSOA....	83
4.1 INTRODUÇÃO.....	85
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	87
4.2.1 Caracterização do Caso de Estudo	87
4.2.2 Avaliação de Ciclo de Vida.....	87
4.2.3 Definição do Âmbito de Análise.....	89
4.2.4 Inventário dos Processos Envolvidos.....	90
4.2.5 Avaliação dos Impactos	91
4.2.6 Análise de Sensibilidade	92
4.3 RESULTADOS	92
4.3.1 Análise de Sensibilidade de Cenários	95
4.4 CONCLUSÕES.....	96
4.5 REFERÊNCIAS	96
5 ARTIGO 4 - PREVISÃO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PARA O MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA	100
5.1 INTRODUÇÃO.....	102
5.2 METODOLOGIA	103
5.2.1 Objeto de Estudo	103
5.2.2 Metodologia Box-Jenkins	104
5.2.3 Análise da Classe Geral dos Modelos da Família ARIMA.....	104

5.2.4 Identificação por Meio da FAC e da FACP	105
5.2.5 Teste de Estacionariedade	107
5.2.6 Análise dos Resíduos e Escolha do Modelo	107
5.3 RESULTADOS	108
5.4 CONCLUSÕES	114
5.5 REFERÊNCIAS	115
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
7 REFERÊNCIAS.....	118

1 INTRODUÇÃO GERAL

A industrialização proporcionou uma maior demanda de energia. A partir de meados do século XX, com o ritmo acelerado de exploração dos combustíveis fósseis, o debate sobre o meio ambiente passa a ser foco e em busca de diretrizes para o desenvolvimento (DIAS, 2011).

Com a crescente demanda de energia, o grande desafio é encontrar fontes energéticas sustentáveis (SØRENSEN *et al.*, 2009). De acordo com a *International Energy Agency* – IEA (2014), a ação de novas políticas à demanda por energias renováveis tem expectativas de 14%, em 2012, para 19%, em 2040, da matriz energética mundial. No Brasil, com essas novas políticas, a capacidade de geração de energia elétrica por de fontes renováveis passaria de 456 TWh, em 2012, para 904 TWh, em 2040. Os investimentos acumulados nesse período atingiriam cerca 300 bilhões de dólares, distribuídos em fontes renováveis, como: hídrica, eólica, bioenergia e fotovoltaica.

Nas últimas décadas, a energia solar térmica vem sendo utilizada nos diversos setores industriais, tais como têxtil, químico, alimentício, etc. Na maioria dos casos, os processos estão atrelados a níveis de temperaturas médias, como o processo de pasteurização, secagem, destilação, lavagem (KALOGIROU, 2003). De 2004 a 2014, a capacidade instalada mundial de geração de energia solar térmica foi de 423%, passou de 98 GW para 406 GW (REN21, 2015).

No Brasil, a energia solar térmica passou a ser mais efetiva a partir do século XXI. Entre 2003 a 2013, a capacidade instalada para geração de energia solar térmica foi ampliada em 429%, passando de 1,56 MW para 6,7 MW (WEISS *et al.*, 2005; WEISS e FANINGER, 2014). Para o Departamento Nacional de Energia Solar – DASOL (2016), em 2013, apenas 3% das vendas de aquecedor solar foram destinadas a indústria. Mesmo com a baixa aplicação da energia solar térmica na indústria é necessário mostrar a potencialidade desse recurso, sob o ponto de vista econômico e ambiental.

Desta maneira, esta dissertação seguiu a seguinte estrutura: construção de um referencial teórico sobre a temática e artigos científicos, sendo distribuídos entre os capítulos. O referencial teórico abordou o uso das diversas formas de energia, análise da economia espacial, os impactos ambientais associados as fontes energéticas e as atividades do homem, a energia solar como principal fonte alternativa de energia e suas aplicações e séries temporais como ferramenta de construção de modelos para estimação de dados.

O primeiro capítulo analisou por meio de indicadores regionais, a relevância dos segmentos potenciais de alimentos e bebidas paraibanos para o uso de Sistemas de Aquecimento Solar.

O segundo capítulo analisou a viabilidade técnica e econômica do uso de coletores solares térmicos em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, localizada em João Pessoa.

O terceiro capítulo avaliou o ciclo de vida e quantificou os impactos ambientais associados ao processo de pasteurização em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa, comparando a substituição do queimador atmosférico de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) por um Sistema de Aquecimento Solar.

Por fim, o quarto capítulo analisou as séries temporais da Radiação Solar Global do município de João Pessoa, no período de julho de 2007 a dezembro de 2014.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as potencialidades do uso de coletores solares térmicos em um segmento da indústria de alimentos e bebidas na Paraíba.

1.1.2 Objetivo Específico

- Analisar por meio de indicadores regionais, a relevância dos segmentos potenciais de alimentos e bebidas paraibanos para o uso de Sistemas de Aquecimento Solar;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica do uso de coletores solares térmicos em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, localizada em João Pessoa.
- Quantificar os impactos ambientais associados à substituição do GLP pelo Sistema de Aquecimento Solar (SAS) no processo de pasteurização em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa;
- Analisar a série temporal de radiação solar global do município de João Pessoa, no período de julho de 2007 a dezembro de 2014.

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 Energia

Energia é da capacidade de produzir trabalho que contribui com todas as etapas de transformações, difusões e interações no universo. Ela se manifesta na forma de calor, luz, trabalho mecânico, radiação, etc. (CREDER, 2007; GOLDEMBERG e LUCON, 2008). Para Hinrichs, Kleinbach e Reis (2014), energia é o meio necessário para o fornecimento de bens e serviços a partir dos recursos naturais. Isso permite suprir as necessidades das famílias e o desenvolvimento econômico.

As fontes de energia podem ser classificadas como primárias ou secundárias. As fontes primárias são aquelas disponíveis naturalmente no meio ambiente, como: o carvão mineral, o gás natural, o petróleo, o urânio, a lenha, a biomassa, a eólica, a solar etc. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008; NGÔ, 2011; REIS, 2011a; REIS, 2011b).

Para obter fontes de energia secundárias, é necessário transformar uma fonte de energia primária. Esse processo pode ser verificado usualmente com os combustíveis fósseis, como o carvão mineral, o gás natural e o petróleo. No entanto, esse processo pode ser aplicado para fontes de energias primárias renováveis e não renováveis. Do petróleo, por exemplo, pode ser extraída a gasolina, o Gás Liquefeito de Petróleo – GLP, o querosene etc. Do carvão mineral, pode ser retirado o coque. Com isso, as fontes secundárias podem promover a geração de energia não apenas na forma de calor, eletricidade, mas também para a geração de combustíveis e biocombustíveis (GOLDEMBERG e LUCON, 2008; REIS, 2011b).

Uma fonte de energia primária pode ser considerada renovável ou não renovável. As fontes renováveis apresentam recomposição mais rápida do que seu consumo, como, por exemplo, as marés, o sol, o vento e a água. Já as fontes não renováveis apresentam recomposição mais lenta do que seu consumo, como o carvão mineral, o petróleo, o gás natural e o urânio (GOLDEMBERG e LUCON, 2008; NGÔ, 2011; REIS, 2011b).

De acordo com o relatório *Key World Energy Statistics* (KWES) da *International Energy Agency* – IEA (2015), em 2013, a oferta de energia primária mundial era composta de 31,1% de petróleo, 28,9% de carvão mineral, 21,4% de gás natural, 10,2% de biocombustíveis e resíduos, 4,8% de energia nuclear, 2,4% de energia hidráulica e 1,2% de outras fontes (geotérmica, solar, eólica etc. vento e calor). O petróleo e o carvão mineral

representam 60% de toda a oferta mundial. No entanto, nos últimos 40 anos a oferta de petróleo apresentou uma redução de 15,1%, já o carvão mineral ampliou sua participação em 5,4%.

O petróleo foi o combustível de maior uso mundial em 2013, com 39,9% de participação, seguido pela eletricidade (18%), o gás natural (15,1%), os biocombustíveis e resíduos (12,2%), o carvão mineral (11,5%) e outras (3,3%) (IEA, 2015). Essas fontes geraram uma capacidade de 9.301 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. No século XIX, no início da revolução industrial, houve uma elevação na demanda de energia, o que estimulou a busca de combustíveis fósseis. No entanto, nos últimos 50 anos a demanda de energia triplicou, sendo mais evidente em países industrializados. Em 1973, antes da crise do petróleo, o consumo de energia *per capita* sofreu uma elevação substancial (HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2014; ROSA, 2015).

A sociedade moderna apresenta grande dependência dos combustíveis fósseis, impulsionada pela relativa abundância e custos inferiores, se comparados a outras fontes energéticas (NGÔ, 2011). Isso fica mais evidente nos países desenvolvidos (GOLDEMBERG e LUCON, 2008). De todo consumo energético do ano de 2013, os países da *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD) exibiram um uso de 47% de petróleo, 20,4% de gás natural e 3,3% de carvão mineral (IEA, 2015). No entanto, essa realidade não é diferente em países em desenvolvimento, como o Brasil.

A maior parte da produção brasileira de energia primária é composta de fontes não renováveis, representando cerca de 56,7%. A maior participação é do petróleo (42,8%), acompanhado do gás natural, com 11,6%, do carvão-vapor, com 1,1%, outras não renováveis, com 1% e o urânio, com 0,2%. A produção de energia proveniente de fontes primárias renováveis representa 43,5%. Desse valor, 18,1% é oriundo de produtos da cana-de-açúcar, seguido pela energia hidráulica (11,8%), pela lenha, com 9,1% e por outras fontes renováveis (EPE, 2015).

A maior parte da energia elétrica brasileira é proveniente de fontes hidráulicas em virtude da abundância de recursos hídricos. Isso foi orientado por políticas governamentais na construção de grandes hidroelétricas (REIS, 2011a). A Figura 1.1 apresenta a oferta de energia elétrica por fonte no ano de 2014, que chegou a 590,5 TWh. A fonte hidráulica oferta 65,1 % do total, seguida de 13% de gás natural, 7,3% de biomassa, 6,9% de derivados do petróleo, 3,2% de carvão e derivados, 2,5% de energia nuclear e 2% de energia eólica (EPE, 2015). Mesmo com a maior participação na geração da eletricidade no

Brasil, a fonte hídrica representou uma contribuição maior em 2013, com 70,6%, ou seja, uma redução de 5,5% na participação da oferta (EPE, 2014).

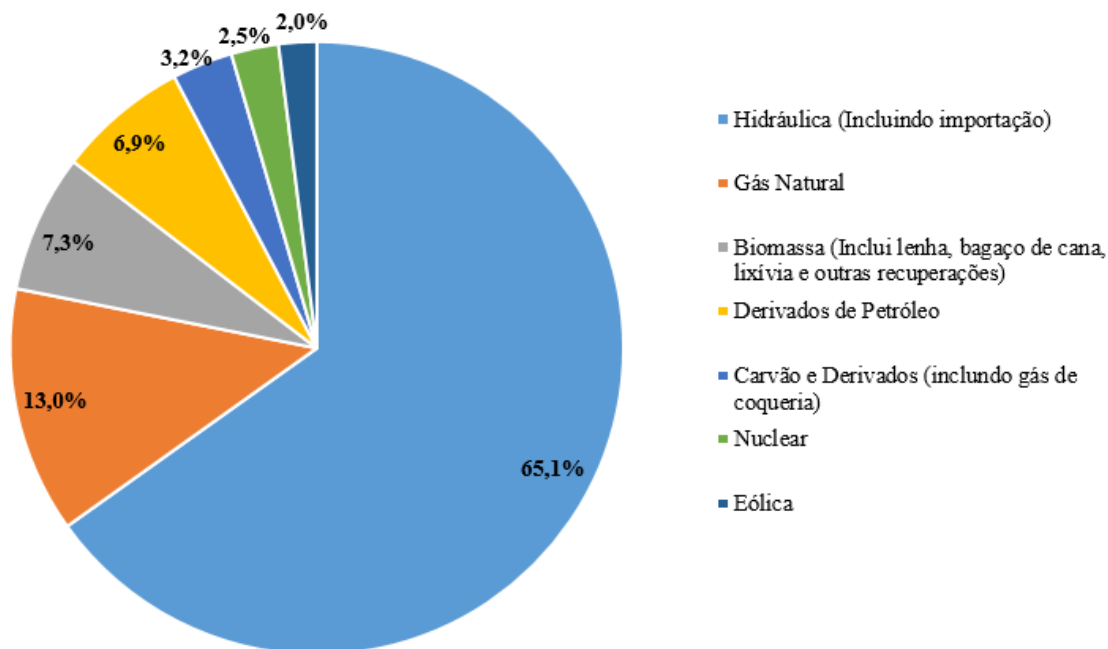


Figura 1.1. Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte do Brasil.

Fonte: EPE (2015, p. 16).

De 2013 a 2014, a oferta dos derivados do petróleo para a geração de energia elétrica foi elevada em 2,5%, seguida pelo gás natural com 1,7%, o carvão e derivados em 0,6% e pela energia nuclear, com aumento de 0,01% (EPE, 2014, EPE, 2015). O uso do petróleo e seus derivados, como a gasolina, o óleo diesel e o gás natural para a geração de eletricidade vem acontecendo desde o século XXI no Brasil (HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2014). A vantagem das termelétricas limita-se à demanda de menores áreas para sua operacionalização e sua flexibilidade de redução ou ampliação de sua capacidade (BORGES NETO e CARVALHO, 2012).

Com a crise do setor elétrico e maior demanda energética em curto prazo, entre 2014 e 2015 as termelétricas foram requisitadas com maior intensidade. Isso levou a um aumento substancial da tarifa de energia elétrica no Brasil, que foi ampliada em 47,5%, como mostra a Figura 1.2.

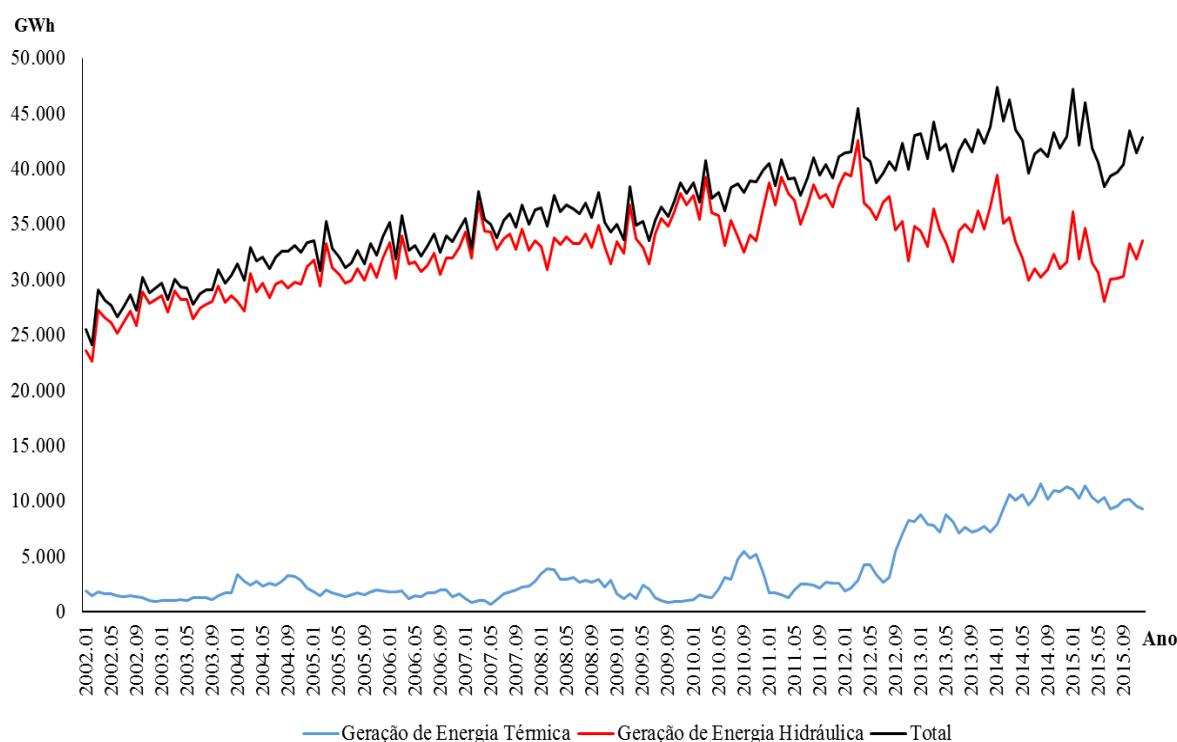


Figura 1.2. Geração de Energia Elétrica Térmica e Hidráulicas e Tarifa no Brasil.

Fonte: Adaptado de IPEADATA (2016).

Nos períodos onde a geração de energia elétrica proveniente de fontes hidráulicas foi menor, essa defasagem foi suprida pela geração de energia térmica, como de abril de 2010 a janeiro de 2011. A Figura 1.2 indica maior requisição das termoeletricas no período que compreende de julho de 2012 até junho de 2015. Nesse período, houve uma elevação de 174% na geração de energia térmica, enquanto a geração de energia hidráulica foi reduzida em 19,96%, e sua tarifa acrescida em 35%.

As relações entre energia e desenvolvimento na sociedade se estendem também pelos aspectos econômicos, sociais e ambientais. O consumo energético pode ser associado ao desenvolvimento dos países. Essa relação normalmente integra o crescimento econômico à ampliação do consumo das fontes energéticas, muitas das vezes (PALZ, 2002).

A Figura 1.3 apresenta a relação entre o Produto Interno Bruto - PIB (trilhões de dólares) dos países do G-7 (Estados Unidos, Reino Unido, Japão, Itália, Alemanha, França e Canadá) e dos BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), com a capacidade de geração de eletricidade desses países, para dados de 2014.

Os EUA, China e Japão são os países com maior PIB, chegando a 14, 7 trilhões, 5,2 trilhões e 4,7 trilhões, respectivamente. Porém, entre esses países, o Japão é o que

apresenta menor geração de eletricidade, com 1.061 TWh, seguido pelo EUA, com 4.297 TWh e China com 5.649 TWh. Apesar da China ser o país com o segundo maior PIB entre o G-7 e BRICS, ficando pouco à frente do Japão, sua capacidade de geração de eletricidade é 24% maior do que a dos EUA e 81% em relação ao Japão. O Brasil aparece como o 10º de PIB, com 1,2 trilhões e o 4º em capacidade de geração de eletricidade, com cerca de 1.064 TWh.

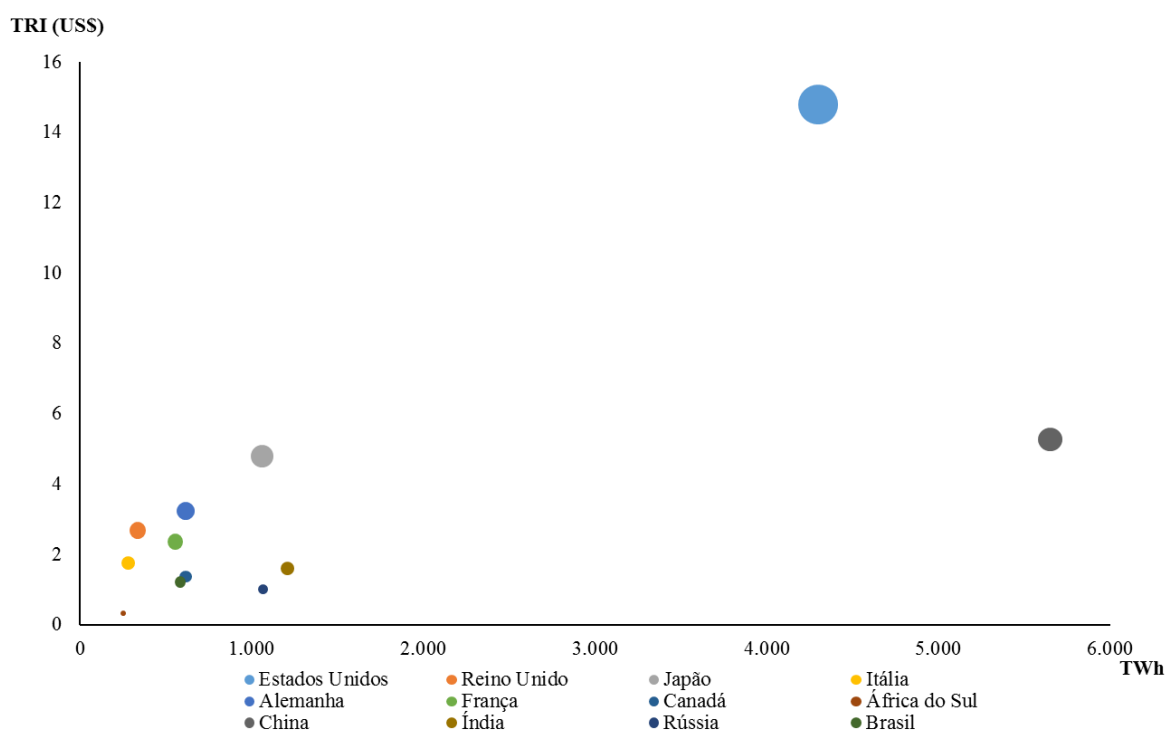


Figura 1.3. Relação entre PIB *Per Capita* e Geração de Eletricidade dos Países do G-7 e BRICS.

Fonte: Adaptado de BP (2016) e Banco Mundial (2016a).

A Figura 1.3 também demonstra que os países do G-7 apresentam na maioria das vezes, capacidade de geração de eletricidade menor ou igual a dos países do BRICS, no entanto, o somatório do PIB dos países desenvolvidos é 70% maior do que o dos países em desenvolvimento. Segundo Palz (2002) o crescimento de uma economia pode ocorrer mesmo com taxas menores de consumo da energia.

A Figura 1.4 apresenta a relação entre renda *per capita* e consumo de eletricidade *per capita* dos países do G-7 e BRICS, entre 1990 e 2012. Os blocos dos países desenvolvidos demonstram um nível de renda e consumo de eletricidade mais elevados, porém, ao longo

do tempo, esses países vêm reduzindo o consumo *per capita* de eletricidade a medida que a renda se eleva. Já nos países do BRICS essa relação é diretamente proporcional, ou seja, à medida que a renda se eleva, o consumo *per capita* de eletricidade também aumenta. Para Goldemberg e Lucon (2008), os países desenvolvidos tendem a apresentar uma estrutura produtiva com menor intensidade energética, por outro lado, os países em desenvolvimento possuem uma estrutura produtiva de maior demanda de energia, agravada pela ineficiência de uso das fontes energéticas.

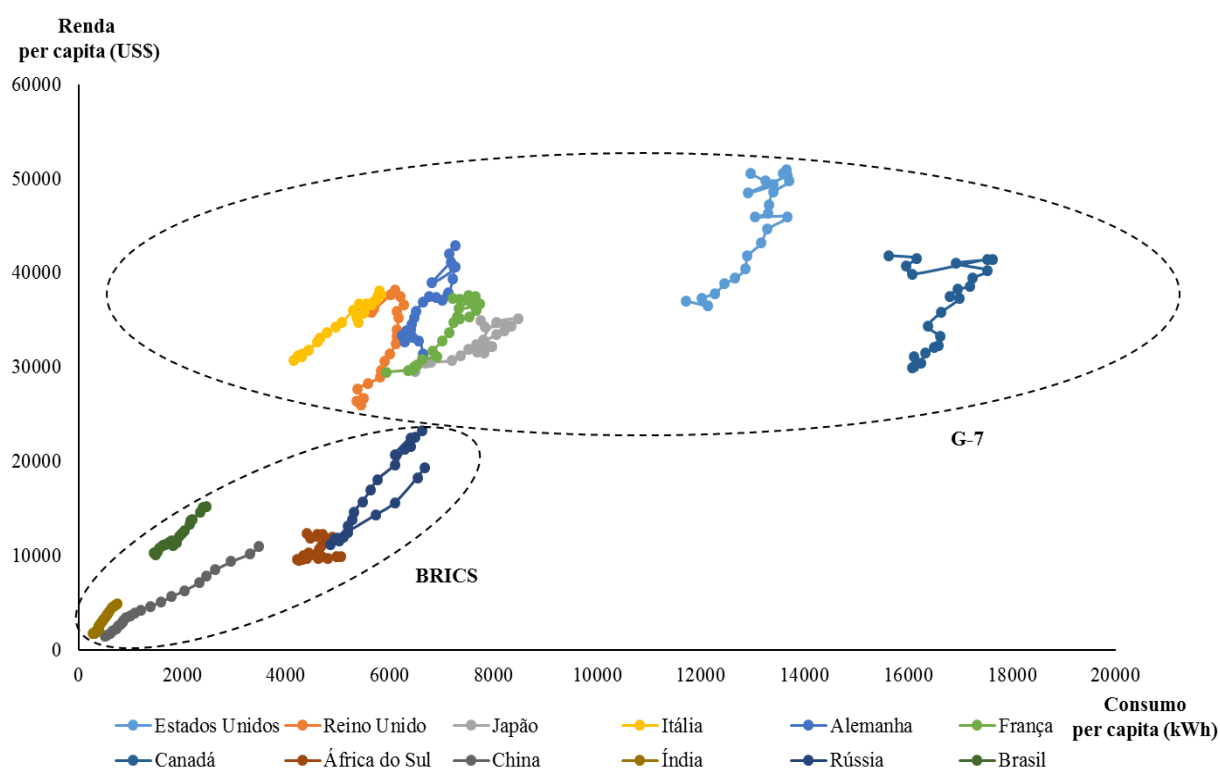


Figura 1.4. Relação entre Renda *Per Capita* e Consumo de Eletricidade *Per Capita* dos Países do G-7 e BRICS de 1990 a 2012.

Fonte: Adaptado de Banco Mundial (2016b) e GAPMINDER (2016).

1.2.2 Energia Solar

O sol é responsável por 1.500 quatrilhões de kWh de potência incidentes por ano sobre a Terra. Essa energia é consequência de reações ocorridas no sol, principalmente a fusão entre os núcleos de hidrogênio e hélio. Desta forma, a radiação solar atinge a superfície terrestre após sofrer diversas modificações em seu trajeto, como reflexão e absorção. Esta radiação pode ser classificada como direta, difusa ou refletida. A radiação

direta consiste na parcela da radiação total que não sofreu modificações, ou seja, penetrou a atmosfera e não foi dispersa, absorvida nem refletida. A radiação difusa é aquela que sofreu modificações de reflexão em seu percurso até o solo. Já a radiação refletida, é a parcela que depende das características do receptor e da superfície terrestre solo (PERREIRA, 2009; HODGE, 2011; LOPEZ, 2012; HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2014).

A energia solar pode ser aplicada de diversas formas, como mostra a Figura 1.5. Inicialmente pode ser dividida entre ativa e passiva: a energia ativa consiste no aproveitamento da energia solar para a geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos e aplicações térmicas por meio dos painéis planos e concentradores. O aproveitamento da energia solar como arquitetura diz respeito às aplicações passivas, como uso da iluminação (PEREIRA *et al.*, 2003).

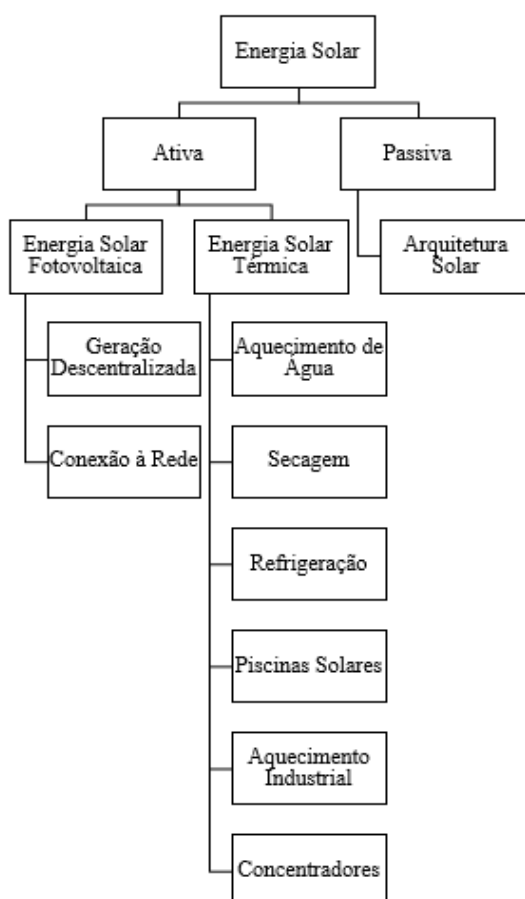


Figura 1.5. Aplicações da Energia Solar.

Fonte: Pereira *et al.* (2003).

A conversão fotovoltaica da energia solar consiste na geração de energia elétrica por

meio das células solares. A utilização direta da energia solar foi descoberta inicialmente por Heinrich Hertz em 1887. As células solares, em sua maioria, são feitas de silício cristalino e conforme a luz incide sobre elas, são gerados elétrons e há o surgimento de buracos, esse efeito é conhecido como fotoelétrico e consiste na emissão de elétrons quando a luz solar atinge alguns determinados tipos de metais. Apesar de a corrente elétrica de saída de uma célula fotovoltaica ser diretamente proporcional à quantidade de luz que incide sobre ela, uma parte considerável dessa luz é perdida. A eficiência de uma célula fotovoltaica pode alcançar até 30%, porém, a maioria varia de 10% a 15%, dependendo do material utilizado para sua fabricação. Desta forma, um painel solar para geração de eletricidade é constituído de um conjunto de células fotovoltaicas (LOPEZ, 2012; HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2014).

A formação básica de um sistema fotovoltaico é demonstrada pela Figura 1.6., onde é possível observar que ele é constituído pela junção de um painel solar fotovoltaico, um diodo de proteção, um regulador de tensão e por sistemas de baterias e um inversor. O termo CC representa a corrente contínua, CA caracteriza a corrente alternada. A radiação solar incide sobre o painel fotovoltaico, com isso, podem ser definidas a tensão e a corrente de saída do sistema em CC. O diodo é o responsável pela proteção do painel, prevenindo a queima do coletor por uma sobretensão, por exemplo. O sistema de baterias armazena a energia captada e o inversor converte a CC em CA (HODGE, 2011, ABNT, 2013).

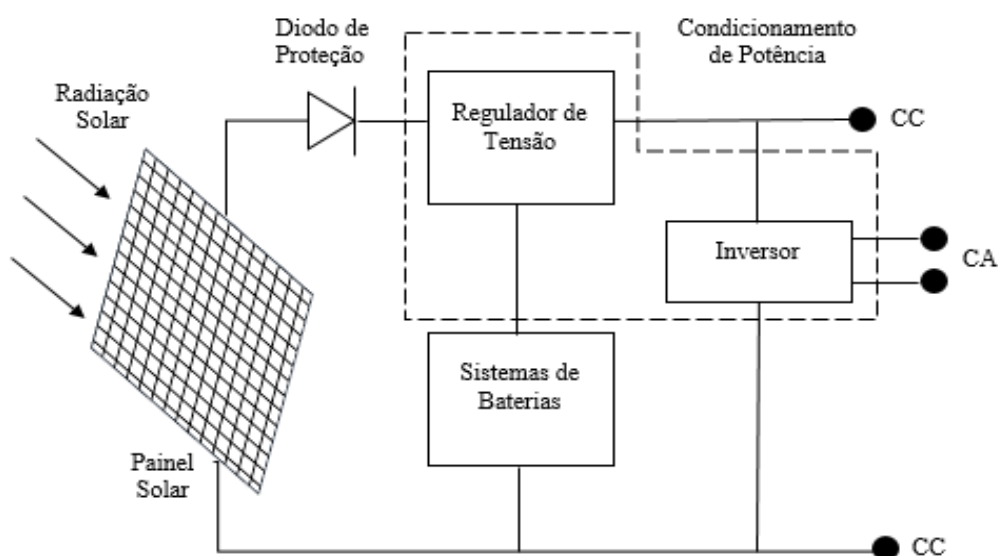


Figura 1.6. Formação Básica de um Sistema Fotovoltaico.

Fonte: Lopez (2012).

Podem existir outras configurações de um sistema de energia solar fotovoltaica, como os híbridos e conectados à rede. A estrutura demonstrada pela Figura 1.6 caracteriza uma terceira categoria de sistemas, os chamados isolados ou autônomos. O sistema híbrido consiste na formação de mais de uma fonte de geração de energia além do uso da energia solar, como, por exemplo, o uso de geradores, turbinas eólicas etc. Os sistemas conectados à rede são aqueles em que toda a geração é distribuída diretamente para a rede, sendo consumida integralmente, não sendo armazenada, mas essa estratégia é considerada auxiliar, uma vez que ainda se faz necessária a utilização de um sistema elétrico de grande porte (LOPEZ, 2012).

O uso experimental dos Sistemas de Aquecimento Solar – SAS surgiu em meados da década de 70, após a elevação do valor do petróleo e da energia elétrica (HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2014). Ao contrário da geração fotovoltaica, cuja pretensão é alcançar uma determinada potência de energia elétrica, a energia solar térmica é aplicada para diferentes níveis de temperatura. A Figura 1.7 ilustra cada aplicação dos coletores solares térmicos e seus respectivos níveis de temperatura apropriados. Para aplicações em baixa temperatura, são recomendados coletores solares planos. Para médias temperaturas, os coletores concentradores. E para temperaturas elevadas, os concentradores.

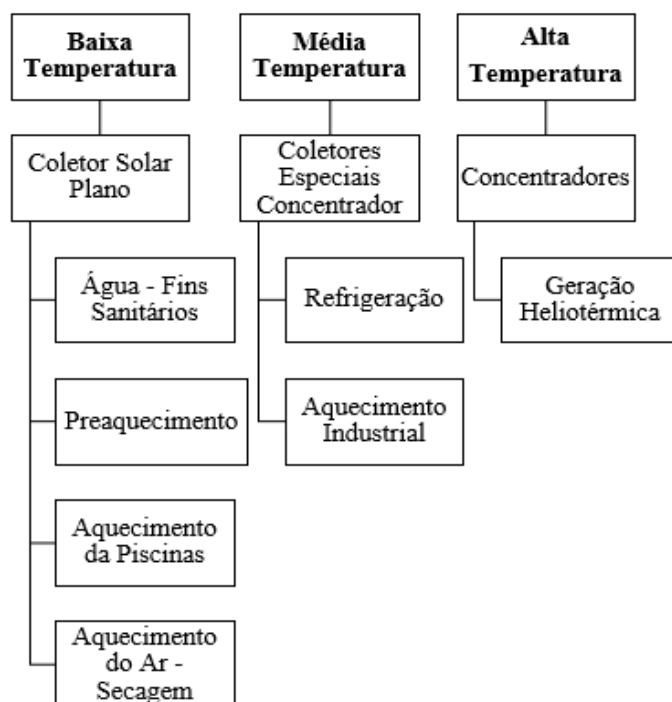


Figura 1.7. Aplicações dos Coletores Solares Térmicos para Cada Nível de Temperatura.

Fonte: Pereira *et al.* (2003).

A Figura 1.8 apresenta um SAS de estrutura básica. O sistema é constituído por uma placa coletora plana, para a circulação, o aquecimento e a extração do fluido, que, por sua vez, pode ser armazenado e posteriormente distribuído. O aquecimento interno da água pode ocorrer de forma ativa ou passiva. O SAS passivo consiste em um sistema fechado que não se utiliza de fontes externas de energia para seu funcionamento. Esse tipo de sistema faz uso da convecção da gravidade para sua circulação, esse processo é chamado efeito termossifão. Desta forma, a Figura 1.8 caracteriza um SAS passivo, em que a radiação solar incide sobre a placa coletora, aquecendo o fluido que se encontra inicialmente em temperatura ambiente e vai sendo deslocado para cima conforme a elevação da sua temperatura, positivamente sendo armazenado ou utilizado. O processo continuará e se tornará mais rápido à medida que a radiação solar incidente sobre a área coletora for maior. O SAS ativo é aquele em que para circulação do fluido aquecido necessita de um sistema de ventilador ou bomba. As placas absorvedoras de um SAS podem apresentar diferentes formas internas nos tubos de transporte do fluido, as três principais são: serpentina, tubos paralelos e a vácuo (PALZ, 2002; ABNT, 2008; LOPEZ, 2012; HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2014).

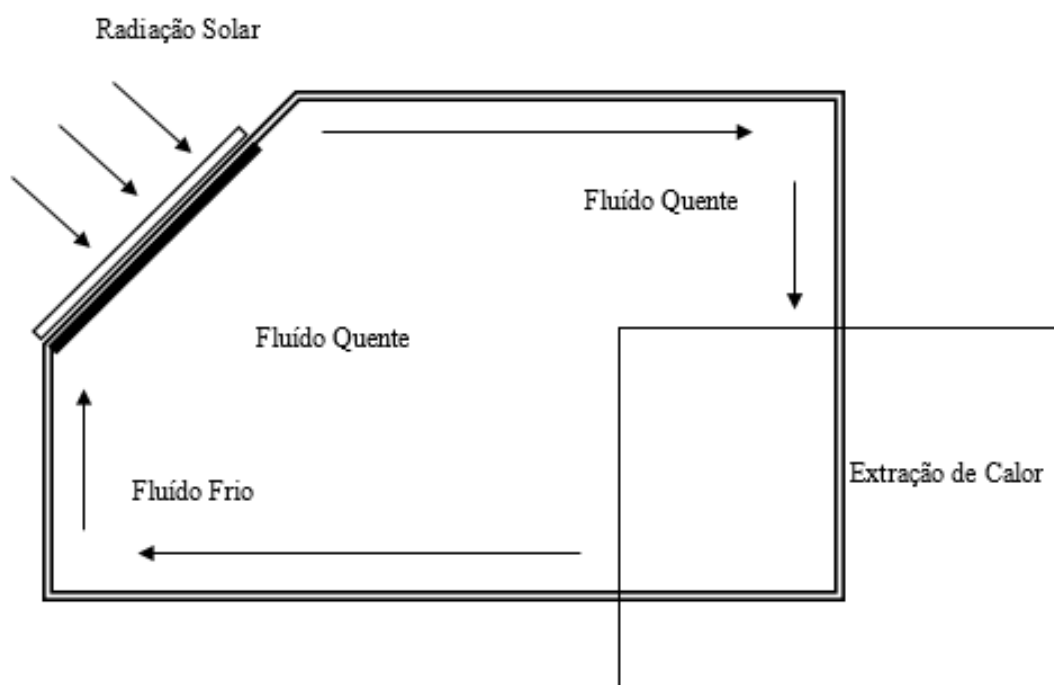


Figura 1.8. Estrutura Básica de um SAS.

Fonte: Palz (2002, p.128).

Para padronização dos sistemas fotovoltaicos e SAS, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT estabeleceu algumas especificações, dentre as principais, estão a NBR 10899 (2013), que define os termos para transformação da radiação solar em energia elétrica por meio do sistema fotovoltaico; a NBR 10185 (2013), que consiste na avaliação de reservatórios térmicos utilizados em aplicações de SAS; a NBR 15747 (2009), que dispõe sobre a durabilidade, confiabilidade, segurança e desempenho para os coletores solares térmicos e seus componentes; e a NBR 15569 (2008), que estabelece a normatização para os SAS desde seu dimensionamento até a sua manutenção.

A Figura 1.9 exibe a capacidade mundial instalada para os sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico entre 2004 e 2014. O sistema solar térmico mundial apresentou uma capacidade térmica instalada de 406 GW em 2014, já em relação à capacidade de sistemas fotovoltaicos, representou 177 GW no mesmo período.

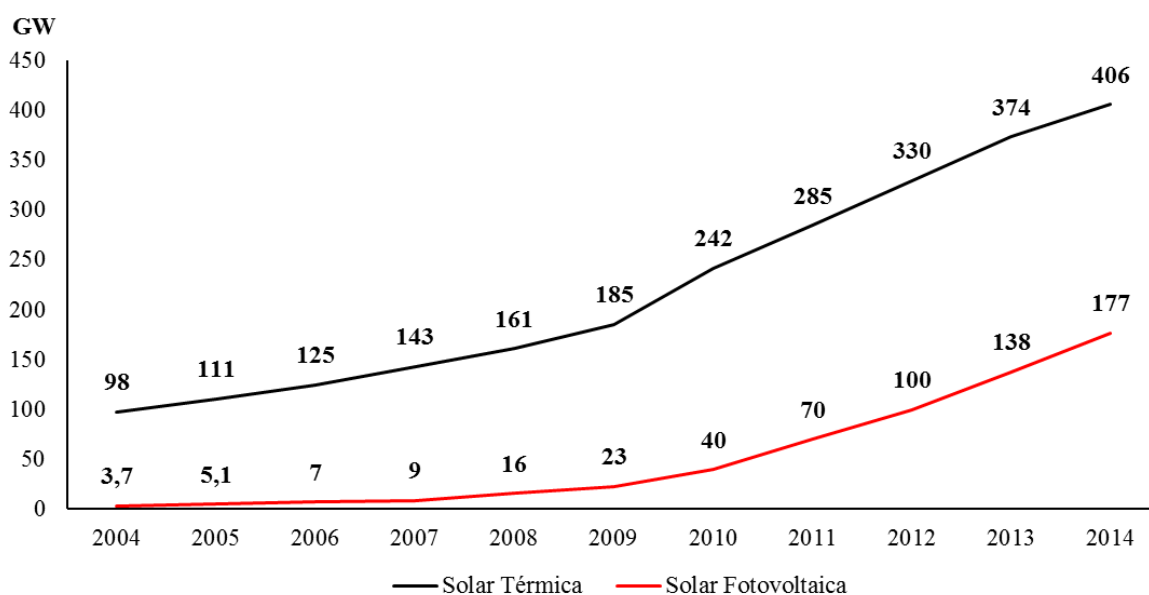


Figura 1.9. Comparação da Capacidade Mundial Instalada para os Sistemas de Aquecimento Solar e Fotovoltaico, no período de 2004 a 2014.

Fonte: Adaptado de REN21 (2015).

A Figura 1.10 expõe a evolução da capacidade instalada no Brasil para os sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico entre os anos de 2003 e 2013. No País, o sistema solar térmico apresentou uma capacidade de 6,7 MW térmico em 2013, a capacidade para os sistemas fotovoltaicos foi de 5 MW elétrico no mesmo período. No entanto, ao contrário do cenário mundial exposto na Figura 1.9, o Brasil demonstra que a capacidade de geração

de energia elétrica fotovoltaica ultrapassará a capacidade instalada de geração de energia térmica nos próximos anos.

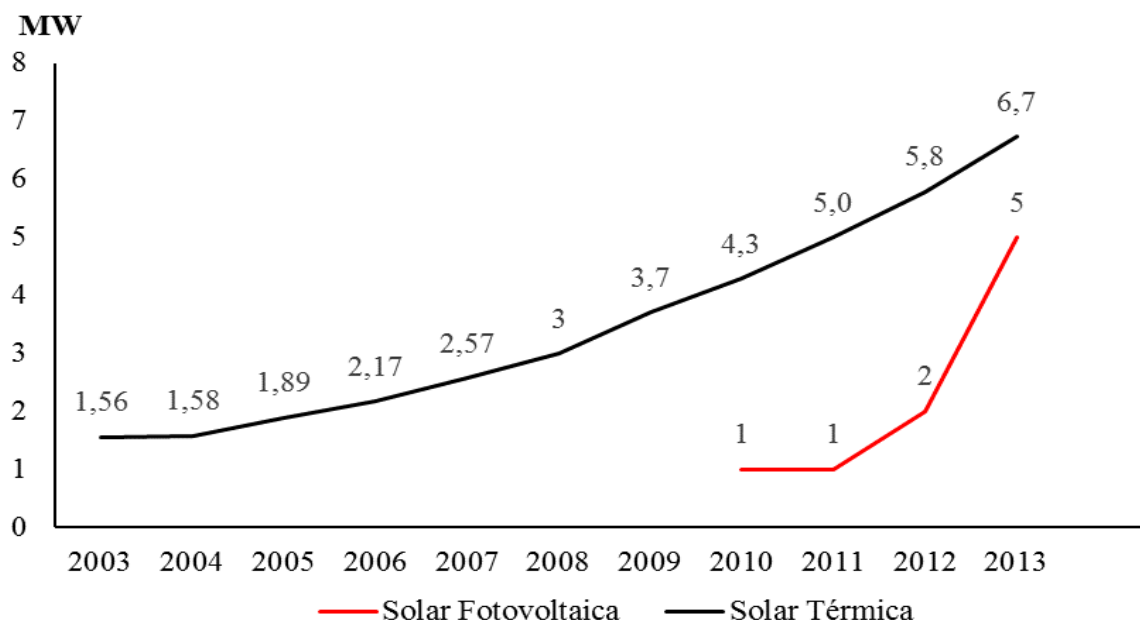


Figura 1.10. Evolução da Capacidade Instalada no Brasil para os Sistemas de Aquecimento Solar e Fotovoltaico, entre 2003 e 2013.

Fonte: Adaptado de EPE (2015), Weiss *et al.* (2005; 2006; 2007; 2008; 2009), Weiss e Faninger (2010; 2011; 2012; 2013; 2014).

1.2.3 Impactos ambientais associados a energia solar

Os as fontes energéticas são utilizadas em diversas atividades dentro da sociedade. O setor energético desenvolve diversos impactos ambientais, desde sua extração até seu consumo final. A sociedade moderna vem aprimorando as conexões entre energia, meio ambiente e desenvolvimento, de forma a tentar convergir para o desenvolvimento sustentável (GOLDEMBERG e LUCON, 2008; REIS, 2011a; HINRICHS, KLEINBACH e REIS, 2014).

A Figura 1.11 apresenta o gráfico de dispersão entre a geração de eletricidade mundial e o nível de emissão de dióxido de carbono (CO₂) no período que vai de 1985 a 2014. A figura demonstra a relação positiva entre as duas variáveis, expondo que a distribuição ocorre em torno da linha de tendência linear, ou seja, existe tendência à ampliação dos níveis de emissão de CO₂, à medida que também é ampliada a capacidade

mundial de geração de eletricidade.

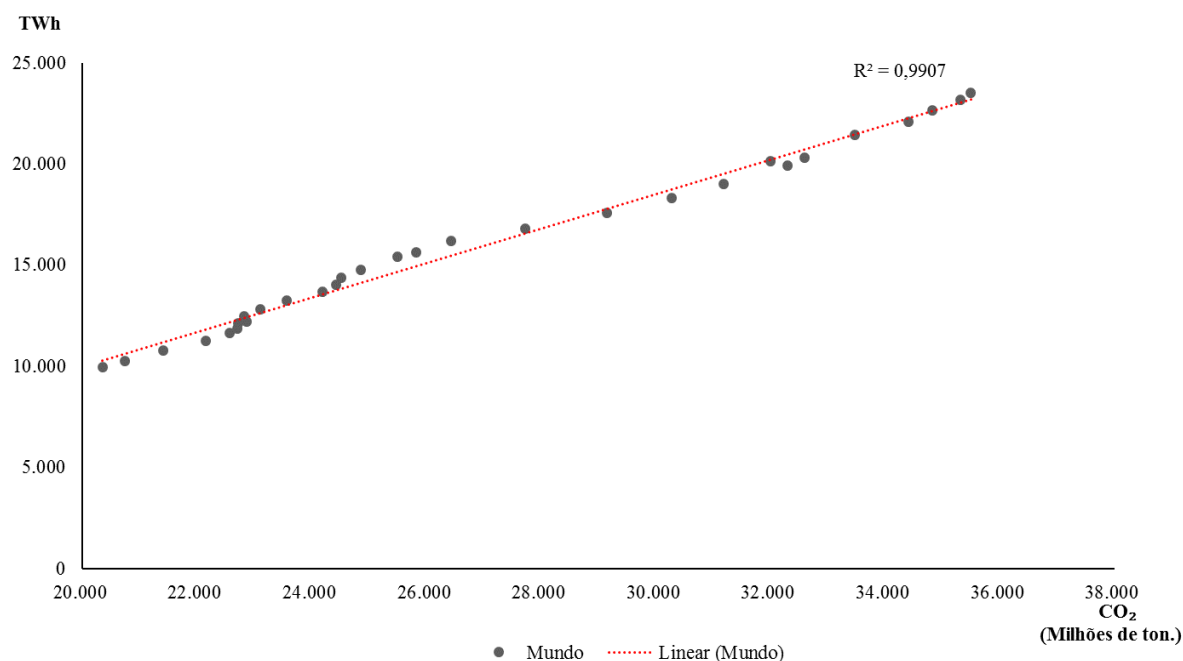


Figura 1.11. Geração de Eletricidade Mundial e Nível de Emissão de Dióxido de Carbono (CO₂), de 1985 a 2014.

Fonte: Adaptado de BP (2016).

A Figura 1.12 demonstra a relação entre geração de eletricidade e o nível de emissão de CO₂ para o Brasil no período que abrange de 1985 a 2014. O gráfico indica que o Brasil também apresenta uma relação positiva entre as duas variáveis, isso significa que os níveis de emissão de CO₂ estão convergindo para uma redução nos anos subsequentes.

Os maiores níveis de emissão de CO₂ no Brasil no intervalo entre os anos de 1971 e 2012 estão associados à operação dos transportes, como sinalizado pela Figura 1.13. Em média, a emissão de CO₂ pelos transportes representa cerca de 43% do total da queima de combustíveis. Para Ngô, (2011), pelos transportes apresentarem forte relação com o consumo dos derivados de petróleo, fornecem grandes níveis de emissão de CO₂.

Em seguida, aparece a indústria de transformação e construção, com média de 31%; o setor de produção de calor e eletricidade (14,5%); os setores residencial, comercial e de serviço público (6,6%) e outros setores (4,6%). Entre 2011 e 2012 os níveis de emissão de CO₂ foram mais elevados pela atividade de produção de calor e eletricidade (3,03%), juntamente com a dos transportes (0,5%). As demais atividades apresentaram redução nos níveis de emissão.

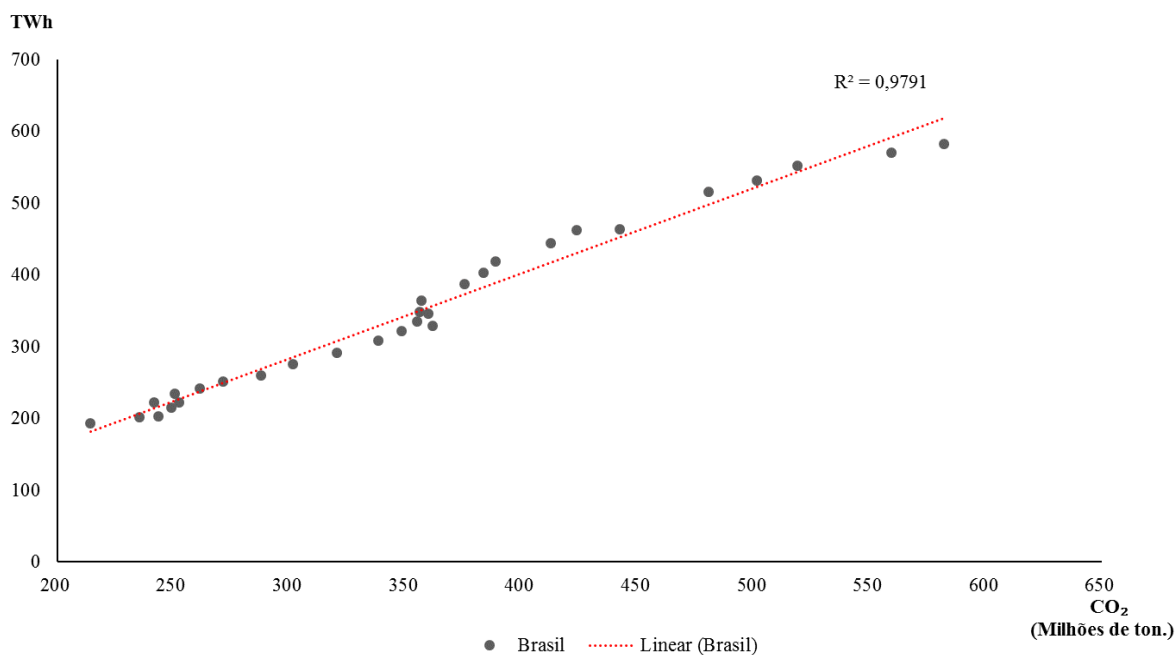


Figura 1.12. Geração de Eletricidade e Nível de Emissão de Dióxido de Carbono (CO₂) no Brasil, de 1985 a 2014.

Fonte: Adaptado de BP (2016).

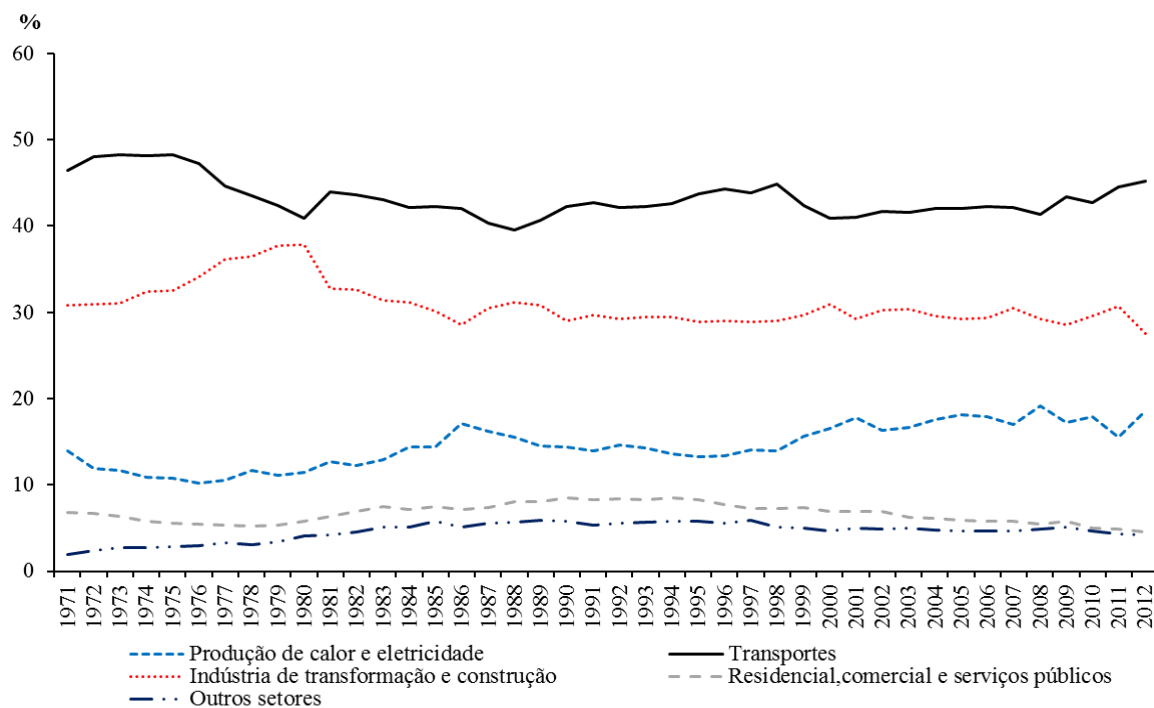


Figura 1.13. Emissão de CO₂ no Brasil por Setor, entre 1971 e 2012.

Fonte: Adaptado de Banco Mundial (2016c).

Os principais impactos ambientais associados ao consumo de energia podem ser classificados em diversos níveis, como mostrado no Quadro 1.1. Os impactos locais ficaram mais evidentes a partir da revolução industrial, sendo agravados com o êxodo rural e o surgimento das grandes metrópoles. Entre as suas principais causas estão as atividades industriais, o uso de transportes e o descarte de resíduos sólidos. A dimensão regional dos impactos pode ser determinada pelos efeitos provocados por atividades em diferentes regiões, atingindo diretamente essas localidades. As causas desses impactos, em sua maioria, estão associadas a vazamentos de derivados de petróleo, contaminação do solo por uso de fertilizantes e pesticidas. Já os impactos ambientais de dimensão global consistem no somatório dos impactos locais e regionais, afetando a vida de todos. Isso se descende de causas como os vazamentos de óleo, a ampliação da frota de veículos e, conseqüentemente, da queima de combustíveis fósseis, assim como o lixo gerado pela atividade de usinas nucleares etc. (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Cada fonte energética seja ela primária, secundária, renovável ou não, pode apresentar impactos ambientais. O uso de hidroelétricas, por exemplo, pode acarretar em inundações de grandes áreas, interferir no ciclo reprodutivo de animais, comprometer a fauna, além do fato de que a decomposição de matéria orgânica proveniente das áreas inundadas pode provocar a produção de CH₄. As termoelétricas, com uso de combustíveis fósseis ou energia nuclear, provocam a elevação dos níveis de CO₂ no ar e geração de lixo radioativo. Os efeitos negativos relativos à energia eólica expressam-se pela necessidade da utilização de grandes áreas, pela emissão de ruídos, assim como pelo impacto visual. (NASCIMENTO, 2003; PEREIRA, 2009; REIS, 2011a; BORGES NETO, CARVALHO, 2012).

Uma metodologia bastante usual na avaliação de impactos ambientais é a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV ou *Life Cycle Assessment* – LCA. Esse método busca nortear o processo de tomada de decisão no sentido de aprimoramento e otimização das tecnologias disponíveis empregadas no processo de produção de bens e serviços, partindo do ponto de vista da sustentabilidade. Ele permite quantificar os níveis de emissões de poluentes no meio ambiente a partir do uso de matérias-primas para a produção de bens e serviços (JOLLIET *et al.*, 2015).

As normas de ACV são regidas pela *International Organization for Standardization* – ISO. Na definição de NBR ISO 14040, a ACV consiste em uma técnica para melhor entendimento dos impactos ambientais provocados pelo processo de fabricação e consumo

de produtos, fornecendo uma maior compreensão sobre pontos de melhoria ambiental e subsidiando de informações as indústrias e organizações (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b).

Quadro 1.1. Principais Impactos Ambientais do Consumo de Energia.

Dimensão	Impacto	Causas
Local	Poluição urbana do ar.	Emissões de dióxido de enxofre (SO ₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO _x) e material particulado (MP), isso vinculado à queima de combustíveis fósseis.
	Poluição ocupacional.	Emissões ocasionadas por atividades industriais e de manufatura, provocando a geração de MP e CO.
	Poluição dos rios, lagos lençóis freáticos e solo.	Vazamentos de derivados do petróleo (gasolina, óleo etc.) e uso de pesticidas e fertilizantes em atividades agrícolas. Desastres ambientais e descartes inadequados de resíduos domésticos e industriais.
Regional	Chuva ácida.	A queima dos combustíveis fósseis provoca a decomposição do ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) e ácido nítrico (HNO ₃), reagindo com a chuva, a neve etc.
	Poluição dos mares e corpos d'águas em escala regional.	Vazamentos de óleo e outras substâncias tóxicas.
Global	Efeito estufa.	Emissão de dióxido de carbono (CO ₂) e metano (CH ₄) derivados da queima principalmente dos combustíveis fósseis.
	Rejeitos radioativos.	Acúmulo de lixo radioativo.
	Desertificação, perda da biodiversidade, modificações nos oceanos.	Desmatamento para ampliação de pastagens e para uso da lenha. Inundações de hidroelétricas.

Fonte: Adaptado de Goldemberg e Lucon (2008).

A ACV é formada de quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação. A definição do objetivo consiste em determinar os limites da ACV, seus motivos e o público-alvo. Na definição do escopo, seleciona-se o sistema do produto a ser analisado, o método de avaliação e interpretação dos impactos, as categorias de impactos, a escolha de dados, as limitações etc. Na análise do inventário, verificam-se as entradas e saídas do sistema a ser estudado, nessa etapa são coletados aos dados para a terceira etapa do processo. Na avaliação de impacto, é exposta a intensidade dos impactos ambientais da ACV do sistema de produto (ABNT, 2014a). Para Jolliet *et al.* (2004), no processo de avaliação dos impactos, pode ser determinada a classificação de cada agressão ambiental e suas contribuições para o aquecimento global, toxicidade humana etc. Por fim, na interpretação são correlacionados os impactos aferidos com os objetivos e escopo definidos, para que possam ser expostas as conclusões e as recomendações (ABNT, 2014a).

Um método bastante utilizado para avaliação dos impactos ambientais é o

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. Essa técnica possibilita avaliar a categoria de aquecimento global, ou seja, faz a análise dos impactos provocados pelos gases potenciais para o aquecimento global, como o CO₂. O IPCC considera a evolução desses gases na atmosfera ao longo do tempo, permitindo que sejam examinados os impactos provocados em 20, 100 e 500 anos (IPCC, 2007).

De acordo com Guinée (2004), toda importância do processo da ACV está na verificação da origem dos problemas relacionados a um produto, possibilitando confrontá-las com pontos de melhoria, como criação de novos produtos e aplicações de políticas governamentais para fontes de energia renovável.

1.2.4 Economia Regional

A verificação do desenvolvimento de determinadas regiões é uma característica da relação entre espaço e economia. Com isso, os recursos naturais, a tecnologia, a disposição de produção e o fluxo de bens e serviços podem caracterizar o desenvolvimento ou não de um espaço econômico. Os espaços podem interagir, gerando uma inter-relação entre seus indivíduos. Essa relação forma o fluxo de oferta e a demanda de bens e serviços, como: matéria-prima para a produção, mão-de-obra, transporte, comunicações, produção de alimentos, industrialização, comercialização, educação saúde etc. (RIBEIRO, 1981).

Com o desenvolvimento econômico, as tecnologias passam a ter maior participação nas grandes cidades e áreas urbanas, que se tornaram grandes centros de produção e consumo (SANTOS, 1979). Desta forma, a infraestrutura física tem importante papel no desenvolvimento regional. Um dos fatores fundamentais é a oferta de energia elétrica, no entanto, a ampliação da oferta energética compete a uma problemática de característica macrorregional ou nacional (DINIZ e CROCCO, 2006).

As fontes energéticas são um importante elemento para a manutenção da produção em regiões industrializadas e para o melhoramento do bem-estar dos indivíduos. Entende-se, desta forma, que o desenvolvimento regional das regiões está atrelado diretamente ao consumo de energia (RIBEIRO, 1981).

Um dos instrumentos mais usuais para análise da dinâmica regional é justamente a verificação de padrões de concentração ou dispersão espacial das regiões. Essa verificação forma as medidas de localização e regionais. As medidas de localização são: quociente locacional (*QL*), coeficiente de localização (*CL*), coeficiente de associação geográfica

(*Cag*) e coeficiente de redistribuição (*CRED*). Essas medidas estudam a distribuição ou dispersão de um determinado setor entre as regiões entre um ou dois períodos, considerando variáveis como emprego, por exemplo. As medidas regionais são: coeficiente de especialização (*CEsp*) e o coeficiente de reestruturação (*Cr*). Esses indicadores fornecem o grau de especialização das economias regionais comparando um ou mais períodos, com foco na estrutura produtiva (HADDAD, 1989; FONSECA, 2003; SIMÕES, 2006).

Para desenvolvimento do cálculo das medidas de localização e regional e para a verificação da representatividade de um setor econômico de uma região, adota-se que E_{ij} expressa uma variável como nível de emprego, PIB, consumo de energia, valor bruto da produção do setor econômico i em uma região j , podendo ser microrregião, macrorregião etc. Considera-se também que $E_j = \sum_i E_{ij}$ ilustra o somatório de uma determinada variável, em todos os setores econômicos na região j . Para $E_i = \sum_j E_{ij}$ temos a demonstração do somatório de uma determinada variável do setor i no total das regiões. Por fim, $E = \sum_i \sum_j E_{ij}$ caracteriza o somatório de uma determinada variável em todas as regiões adotadas (HADDAD, 1989; PIACENTI *et al.*, 2002, PIACENTI e FERREIRA, 2002).

O Quadro 1.2 descreve os indicadores de localização e regional. O *QL* representa a participação de uma determinada variável de uma região no total analisado das regiões. O *CL* exprime a relação entre uma variável de um determinado setor em particular de uma região com a distribuição total dessa variável dentre todas as regiões. O *Cag* expressa a distribuição regional de uma variável em particular entre dois setores. O *CRED* consiste na relação de uma variável e setor em particular em dois períodos. O *Cesp* demonstra o nível de especialização de uma economia ou região, considerando um ano específico. Por fim, o *Cr* exprime a estrutura de uma determinada variável em particular das regiões em dois períodos (HADDAD, 1989; PIACENTI *et al.*, 2002, PIACENTI e FERREIRA, 2002).

1.2.5 Séries Temporais

Análise econométrica de séries temporais busca desenvolver estudos a fim de elaborar modelos para previsão, interpretação e verificação de hipóteses sobre um determinado conjunto de dados. Originalmente, a análise de séries temporais tem como principal função desenvolver previsões, no entanto, ao longo do tempo foi possível aprimorar a metodologia, verificando, por exemplo, componentes de tendência,

sazonalidade, movimentos cíclicos e componentes irregulares de uma série (ENDERS, 2014).

Quadro 1.2. Indicadores de Localização e Regional.

Indicador	Equação	Resultado
Quociente locacional	$QL_{ij} = \frac{E_{ij} / \sum_j E_{ij}}{\sum_i E_{ij} / \sum_i \sum_j E_{ij}}$	Significativo: $QL \geq 1$ Médio: $0,50 \leq QL \leq 0,99$ Fraca: $QL \leq 0,49$
Coeficiente de localização	$CL_i = \frac{\sum_j \left \left(E_{ij} / \sum_j E_{ij} \right) - \left(\sum_i E_{ij} / \sum_i \sum_j E_{ij} \right) \right }{2}$	Dispersão significativa: próximo de 0 Concentração significativa: próximo de 1
Coeficiente de associação geográfica	$Cag_{ik} = \frac{\sum_j \left \left(E_{ij}^{setorA} / \sum_i E_{ij}^{setorA} \right) - \left(E_{ij}^{setorB} / \sum_i E_{ij}^{setorB} \right) \right }{2}$	Significativo: $0,35 \leq Cag \leq 0,00$ Médio $0,69 \leq Cag \leq 0,34$ Fraca: $1,04 \leq Cag \leq 0,68$
Coeficiente de redistribuição	$CRED = \frac{\sum_j \left \left(E_{ij}^{t1} / \sum_j E_{ij}^{t1} \right) - \left(E_{ij}^{t0} / \sum_j E_{ij}^{t0} \right) \right }{2}$	Não significativa: próximo de 0 Significativa: próximo de 1
Coeficiente de especialização	$CEsp_j = \frac{\sum_i \left \left(E_{ij} / \sum_i E_{ij} \right) - \left(\sum_j E_{ij} / \sum_i \sum_j E_{ij} \right) \right }{2}$	Diversificação significativa: próximo de 0 Especialização significativa: próximo de 1
Coeficiente de reestruturação	$Cr = \frac{\sum_j \left \left(E_{ij}^{t1} / \sum_i E_{ij}^{t1} \right) - \left(E_{ij}^{t0} / \sum_i E_{ij}^{t0} \right) \right }{2}$	Não significativa: próximo de 0 Significativa: próximo de 1

Fonte: Haddad (1989).

Geralmente, para realização de previsões, são encontradas equações que definem o comportamento de um processo estocástico, representando um componente irregular, tendência e sazonalidade (ENDERS, 2014). Essa abordagem foi desenvolvida por Warren M. Persons em meados século XIX (KIRCHGÄSSNER, WOLTERS e HASSLER, 2013). A análise de séries temporais pode ser aplicada a diversos conjuntos de dados a fim de desenvolver previsões, como os meteorológicos, financeiros, macroeconômicos, sociais etc.

As equações 1, 2 e 3, descrevem a decomposição para o valor previsto $\hat{Y}_t$ de uma série aditiva, exposto na equação 4 para um período a frente, no tempo t . As equações 5, 6 e 7 são a decomposição para uma série multiplicativa para o valor previsto $\hat{Y}_t$ da equação 8, no tempo t . As equações 4 e 8 demonstram a junção dos três componentes não-observáveis de uma série temporal para um modelo aditivo e multiplicativo, respectivamente. Assim, L_t é definido como o nível no tempo t , α é o peso para o nível, T_t

é a tendência, β é o peso para tendência, S_t representa o componente sazonal, δ o peso do componente sazonal, p o período sazonal e Y_t os valores dos dados no tempo t (MORETTIN e TOLOI, 2006; ENDERS, 2014).

$$L_t = \alpha (Y_t - S_{t-p}) + (1-\alpha)[L_{t-1} + T_{t-1}] \quad 0 < \alpha < 1 \quad (1)$$

$$T_t = \beta [L_t - L_{t-1}] + (1-\gamma)T_{t-1} \quad 0 < \beta < 1 \quad (2)$$

$$S_t = \gamma (Y_t - L_t) + (1-\delta)S_{t-p} \quad 0 < \gamma < 1 \quad (3)$$

$$\hat{Y}_t = L_{t-1} + T_{t-1} + S_{t-p} \quad (4)$$

$$L_t = \alpha (Y_t / S_{t-p}) + (1-\alpha)[L_{t-1} + T_{t-1}] \quad 0 < \alpha < 1 \quad (5)$$

$$T_t = \beta [L_t - L_{t-1}] + (1-\gamma)T_{t-1} \quad 0 < \beta < 1 \quad (6)$$

$$S_t = \gamma (Y_t - L_t) + (1-\delta)S_{t-p} \quad 0 < \gamma < 1 \quad (7)$$

$$\hat{Y}_t = (L_{t-1} + T_{t-1})S_{t-p} \quad (8)$$

As séries temporais podem ser classificadas de duas formas, de acordo com a quantidade de parâmetros envolvidas no processo. Os modelos são conhecidos como paramétricos e não paramétricos. Os paramétricos são aqueles em que os números de parâmetros são finitos, já os modelos não paramétricos são os que possuem um número infinito de parâmetros (MORETTIN e TOLOI, 2006). Os parâmetros de um modelo autoregressivo paramétrico são entendidos como $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ e para um não paramétrico $\rho(1), \rho(2), \dots, \rho(p)$ (KIRCHGÄSSNER, WOLTERS e HASSLER, 2013).

Para os modelos considerados paramétricos, a análise baseia-se na verificação do domínio do tempo, usualmente não são aplicados os modelos de regressão, ou seja, os autoregressivos de médias móveis (ARMA), os integrados (ARIMA) e de memória longa (ARFIMA), esses são considerados estruturais e não lineares. Os modelos não

paramétricos, em sua maioria, são funções de autocovariância ou autocorrelação e sua Transformada de Fourier possibilitando descrever a série no domínio de frequência, ou seja, uma projeção ortogonal (MORETTIN e TOLOI, 2006).

Um modelo univariado simples e estacionário é observado em uma sequência de tempo $t = 1, \dots, T$, (equação 9). A variável y_t é gerada do seu próprio passado somado a um erro u_t . Já y_{t-1} , é o operador de defasagem, denominado autoregressivo (AR) de primeira ordem, ou seja, AR (1). A variável aleatória u_t , nesse caso, é não correlacionada, além disso, apresenta média zero, $E(u_t) = 0$, variância constante, $E(u_t^2) = \sigma^2$, não sendo correlacionada com o seu próprio passado, ou seja, $E(u_t u_{t-1}) = 0$ (HAMILTON, 1994; BROCKLEBANK e DICKY, 2003; HARRIS e SOLLIS, 2003; MORETTIN e TOLOI, 2006).

$$y_t = \rho y_{t-1} + u_t \quad |\rho| < 1 \quad (9)$$

As considerações sobre erros não correlacionados limitam-se a certos tipos de modelo. Neste caso, para descrever modelos nos quais os erros são autocorrelacionados, os modelos ARIMA podem ser aplicados, sendo definidos por três classes: processos lineares estacionários, processos lineares não estacionários homogêneos e processos de memória longa. Os modelos lineares estacionários assumem a forma da equação 10. O α_t é ruído branco, ou seja, α_t apresenta média zero, variância constante e não estão correlacionados (MORETTIN e TOLOI, 2006; BUENO, 2011). O $\mu = E(Z_t)$ e $\psi_1, \psi_2, \dots$ é considerado uma sequência de parâmetros, atendendo à equação 11. Para a equação 9, ocorrem três modelos bastante usuais: os processos autoregressivos de ordem AR (p), os processos de médias móveis MA (q) e o processo autoregressivo de médias móveis ARMA (p, q) (MORETTIN e TOLOI, 2006).

$$Z_t - \mu = \alpha + \psi_1 \alpha_{t-1} + \psi_2 \alpha_{t-2} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \psi_k \alpha_{t-k} \quad \psi_0 = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} \psi_k^2 < \infty \quad (11)$$

Os processos lineares não estacionários homogêneos são desenvolvidos a partir do

processo linear estacionário, no qual são produzidos erros autocorrelacionados e a série temporal é não estacionária para seu nível ou inclinação. Desta maneira, as séries podem se tornar estacionárias a partir de um número finito de diferenças. Para os processos de memória longa, as séries temporais possuem autocorrelação e perduram ao longo do tempo, ou seja, possuem lento decaimento, para tal, é necessário diferenciá-las de forma fracionária ($0 < d < 0,5$). Esses modelos podem ser generalizados com a inserção de um operador sazonal (MORETTIN e TOLOI, 2006).

2 ARTIGO 1 - ANÁLISE REGIONAL DOS PROCESSOS DE DEMANDA DE CALOR NA INDÚSTRIA PARAIBANA DE ALIMENTOS E BEBIDAS

RESUMO

A disparidade entre as regiões e suas inter-relações é estudada pela economia regional. Essa análise é executada ao longo do tempo, examinando o crescimento e o desenvolvimento econômico da região. Contudo, não há estudos acerca de análise regional dos processos de demanda de calor no setor alimentos e bebidas no Estado do Paraíba. Este artigo analisou, por meio de indicadores regionais, os seguimentos de alimentos e bebidas paraibanos que apresentam processos potenciais para o uso de Sistemas de Aquecimento Solar. Pré-selecionou 17 atividades econômicas que apresentaram o maior número de empresas e funcionários dentre os 36 subsetores que compõem o setor de alimentos e bebidas paraibanos. Após a seleção dos subsetores, calculou-se os indicadores regionais. Os subsetores do setor alimentício são distribuídos de forma semelhante entre as mesorregiões, considerando a mão-de-obra no Estado. Já os subsetores de bebidas apresentaram distribuição análoga em relação ao número de empresas na Paraíba.

Palavras-chave: Análise regional, mesorregiões paraibanas, indústrias, potencialidades.

REGIONAL ANALYSIS OF HEAT DEMAND PROCESS IN FOOD AND BEVERAGES INDUSTRY OF PARAÍBA

ABSTRACT

The disparity between regions and their interrelations is studied by the regional economy. This analysis occurs over time, examining the region's growth and economic development. However, there are no studies about regional analysis of heat demand processes in the food and beverage industry in the state of Paraíba. This article analyzed through regional indicators, the significance of the potential segments of food and beverages of Paraíba for the use of Solar Heating Systems. Pre-selected 17 economic activities that had the highest number of companies and employees from the 36 subsectors that make up the food and beverage industry of Paraíba. After the sub-sectors' selection, the regional indicators were calculated. The food industry sub-sectors are distributed similarly between mesoregions, considering the labor in the state. As for the sub-sectors of drinks showed similar distribution about the number of companies in Paraíba.

Keywords: regional analysis, Paraíba's mesoregions, industries, potential.

2.1 INTRODUÇÃO

A concepção de espaço pode ser entendida quanto à forma geográfica, matemática ou econômica. As regiões são definidas como homogêneas quando há características semelhantes de estrutura de produção, consumo, renda, recursos naturais, topografia, clima, fatores culturais e agricultura. Podem também apresentar os aspectos polarizado ou nodal quando dizem respeito à dependência ou interdependência entre os diversos fatores de uma região. E, por fim, a região de planejamento é onde é verificada a necessidade de formação de conglomerados de municípios para garantir o desenvolvimento harmônico de todas as partes territoriais (SOUZA, 1981).

Desta forma, a investigação das disparidades entre as regiões e suas inter-relações, é estudada pela economia regional (THISSE, 2011). Segundo Lima *et al.* (2006a), essa análise é executada ao longo do tempo, examinando o crescimento e o desenvolvimento econômico da região. Assim, torna-se importante a apreciação da composição industrial da uma economia paraibana e seus municípios, verificando a organização setorial e suas participações.

Para a Relação Anual de Informações – RAIS, em 2013, a indústria paraibana foi composta por 3.350 estabelecimentos (com e sem vínculo), destes, 128 estão na indústria extrativa e 3.222 na indústria de transformação. Quanto ao quantitativo de funcionários (com vínculos ativos), verificou-se que 1.457 estão na indústria extrativa e 77.678, na indústria de transformação (BRASIL, 2014).

A indústria de transformação possui 24 seções de diferentes atividades econômicas, de acordo com a Classificação Nacional de Atividade Econômica – CNAE 2.0 (IBGE, 2014). Na Paraíba, em 2013, os três maiores setores foram os de produtos alimentícios (1.473 empresas), de confecção de artigos do vestuário (619 empresas) e acessórios e de confecção de artigos de vestuário e acessórios (541 empresas), considerando as indústrias com e sem vínculo na RAIS. Para o quantitativo de funcionários com vínculos ativos, em 2013, o setor alimentício apresentou 17.318 colaboradores ocupados, seguido do setor de preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados, com 15.146 e o setor de fabricação de produtos têxteis, com 9.658 (BRASIL, 2014).

A indústria de transformação se destaca pela elevada demanda de energia em forma de calor. Em alguns países, as indústrias de alimentos e bebidas têm consumo médio de calor de 66% nos seus processos produtivos. Em geral, estudos apontam que mais de 50%

da demanda industrial por calor estão na faixa de temperaturas baixas ($< 60\text{ }^{\circ}\text{C}$), média ($60 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) e média-alta ($< 250\text{ }^{\circ}\text{C}$). Desta forma, estão sendo desenvolvidos diversos trabalhos voltados para a utilização de coletores solares em âmbito industrial, buscando atender a essa demanda de energia (SCHWEIGER *et al.* 2000).

O setor de alimentos e bebidas paraibano representa 27% da indústria de transformação no estado (BRASIL, 2014). Contudo, não há estudos acerca de análise regional dos processos de demanda de calor no setor alimentos e bebidas no estado da Paraíba. Este artigo analisou, por meio de indicadores regionais, a relevância dos segmentos potenciais de alimentos e bebidas paraibanos para o uso de Sistemas de Aquecimento Solar.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Objeto de Estudo

As informações foram coletadas na RAIS (BRASIL, 2014). Os dados deste trabalho abrangem a área territorial da Paraíba, com 223 municípios distribuídos nas seguintes mesorregiões (Figura 2.1): Mata Paraibana, Agreste Paraibano, Borborema e Sertão Paraibano (IBGE, 2015a). Sendo estas definidas como as variáveis setoriais-espaciais (HADDAD, 1989). As variáveis-base (HADDAD, 1989) definidas para este artigo, foram o número de empresas (estabelecimentos com e sem vínculos) e o número de funcionários do setor de alimentos e bebidas na Paraíba (com vínculos ativos). Para o cálculo dos indicadores regionais, foram utilizados os dados dos anos de 2006 e 2013.

2.2.2 Delimitação do Objeto de Estudo

Foram pré-selecionou 17 atividades econômicas que apresentaram o maior número de empresas e funcionários dentre os 36 subsetores que compõem o setor de alimentos e bebidas paraibano. Foram selecionados 6 subsetores que exibem potencialidades de algum dos processos expostos na Tabela 2.1. Posteriormente verificou-se quais das atividades econômicas apresentavam processos potenciais no consumo de energia em forma de calor.

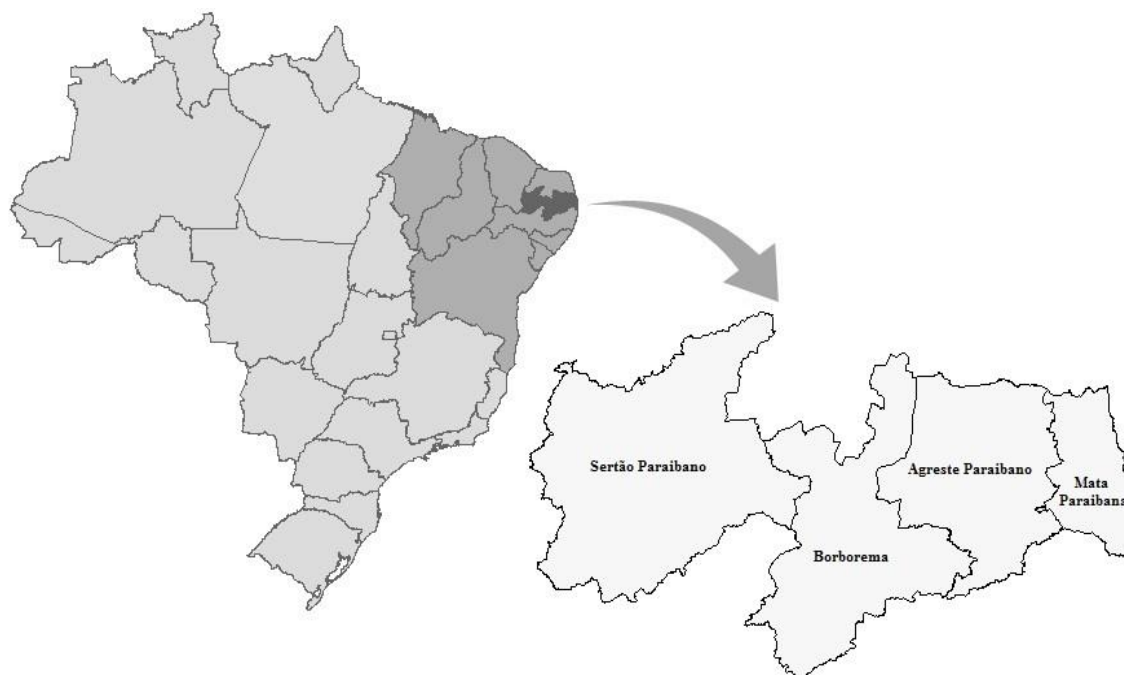


Figura 2.1. Mapa das mesorregiões da Paraíba.

Fonte: IBGE (2015b), elaborado por meio do TerraView.

Tabela 2.1. Faixas de Temperaturas do Setor de Alimentos e Bebidas.

Setor	Processo	Nível de Temperatura (C°)
Cerveja e Malte	Fervura do mosto	100
	Limpeza do vasilhame	60
	Arrefecimento	90
	Secagem	60
Laticínios	Pasteurização	62 – 85
	Esterilização	130 – 150
Alimentos em Conserva	Esterilização	110 – 125
	Pasteurização	< 80
	Cozimento	70 – 98
	Escaldamento	95 – 100
	Branqueamento	< 90
Carne	Lavagem, esterilização, limpeza	< 90
	Cozimento	90 – 100
Vinho e Bebidas	Limpeza de vasilhame	60 – 90
	Arrefecimento	85

Fonte: Adaptado de DGCE (2004).

2.2.3 Indicadores Regionais

A análise regional abrange a diferenciação espacial e as inter-relações entre as áreas, além de verificar a distribuição dos recursos no espaço. O método permite identificar padrões e possíveis desequilíbrios regionais, como uma possível mudança na estrutura produtiva, ou seja, uma provável ruptura estrutural. São utilizados indicadores de medidas

de localização e de medidas regionais. Os indicadores de localização permitem identificar agrupamentos ou dispersões espaciais de uma determinada atividade econômica em um período específico ou entre dois períodos. As chamadas medidas regionais analisam a estrutura produtiva das regiões em um determinado período, verificando o nível de especialização local (HADDAD, 1989).

Para análise das medidas regionais e de localização, é necessário relacionar as informações em forma de matriz, composta pela distribuição setorial-espacial de uma variável-base, por exemplo, a distribuição total de mão-de-obra de uma determinada indústria ou setor entre as diferentes regiões de um país, estado ou município. A matriz denota, em cada linha, o total de mão-de-obra de uma determinada indústria, já suas colunas indicam como o total de mão-de-obra de uma região está distribuído pelos diferentes setores industriais. Com a notação definida como variável-base, obtém-se a equação 1, que caracteriza o nível de emprego em todos os setores da região j . Já a equação 2, mostra o emprego no setor i em todas as regiões. E por último, a equação 3 denota o nível de emprego em todos os setores de todas as regiões (HADDAD, 1989).

$$E_j = \sum_i E_{ij} \quad (1)$$

$$E_i = \sum_j E_{ij} \quad (2)$$

$$E = \sum_i \sum_j E_{ij} \quad (3)$$

As medidas de localização são formadas pelos seguintes indicadores: Quociente Locacional (QL), Coeficiente de Localização (CL), Coeficiente de Associação Geográfica (Cag) e o Coeficiente de Redistribuição ($CRED$). O quociente locacional mostrado na equação 4, demonstra a participação de um setor em particular de uma determinada região no total das regiões, quando $QL \geq 1$, considera-se que a localização é significativa. Entre $0,50 \leq QL \leq 0,99$, localização média, e quando $QL \leq 0,49$, localização fraca (HADDAD, 1989; PIACENTI *et al.*, 2002, PIACENTI e FERREIRA, 2002). Em estudo desenvolvido por Feser e Bergman (2000), é apontada a relevância do QL para a análise de aglomerações geográficas a partir da matriz de insumo-produto.

$$QL_{ij} = \frac{E_{ij} / \sum_j E_{ij}}{\sum_i E_{ij} / \sum_i \sum_j E_{ij}} \quad (4)$$

O coeficiente de localização (5) evidencia a distribuição de emprego, por exemplo, em um dado setor entre as diversas regiões. Quando CL é próximo de 0, significa que a dispersão é significativa e quando é próximo de 1, temos concentração significativa (HADDAD, 1989; PIACENTI *et al.*, 2002, PIACENTI e FERREIRA, 2002). O CL demonstra as tendências e a ocorrência das disparidades entre as variáveis-base e a variável setorial-espacial adotada (FERNANDES e NOGUEIRA JÚNIOR, 2004).

$$CL_i = \frac{\sum_j \left| \left(E_{ij} / \sum_j E_{ij} \right) - \left(\sum_i E_{ij} / \sum_i \sum_j E_{ij} \right) \right|}{2} \quad (5)$$

O coeficiente de associação geográfica (6) permite comparar a distribuição de emprego de dois setores entre as diversas regiões. Com $0,35 \leq Cag \leq 0,00$, entende-se como uma associação significativa, já com $0,69 \leq Cag \leq 0,34$, associação média e entre $1,04 \leq Cag \leq 0,68$, fraca associação (HADDAD, 1989; PIACENTI *et al.*, 2002, PIACENTI e FERREIRA, 2002). De acordo com Lima *et al.* (2006b), o Cag também pode considerar associações entre as atividades econômicas, detectando padrões geográficos entre elas.

$$Cag_{ik} = \frac{\sum_j \left(\left(E_{ij}^{setorA} / \sum_i E_{ij}^{setorA} \right) - \left(E_{ij}^{setorB} / \sum_i E_{ij}^{setorB} \right) \right)}{2} \quad (6)$$

O coeficiente de redistribuição (7) permite relacionar a distribuição percentual de emprego de um setor em particular entre dois períodos. Por exemplo, quando o $CRED$ está próximo de 0, considera-se que a distribuição é não significativa, e próximo de 1, como redistribuição significativa (HADDAD, 1989; PIACENTI *et al.*, 2002, PIACENTI e FERREIRA, 2002). Considerando Lima *et al.* (2006c), que também enfatiza que o $CRED$ observa como está formada a distribuição do uso da terra pelas regiões, adotando uma variável-base em diferentes períodos.

$$CRED = \frac{\sum_j \left| \left(E_{ij} / \sum_j E_{ij} \right)^{t1} - \left(E_{ij} / \sum_j E_{ij} \right)^{t0} \right|}{2} \quad (7)$$

Já o conjunto de medidas regionais, é formado pelos seguintes indicadores: Coeficiente de Especialização (*CEsp*) e Coeficiente de Reestruturação (*Cr*). O coeficiente de especialização (8) compara a estrutura produtiva de uma determinada região com a estrutura produtiva de todas as regiões analisadas. Quando o *CEsp* está próximo de 0, a diversificação é significativa e quando é próximo de 1, tem-se a especialização significativa (HADDAD, 1989; PIACENTI *et al.*, 2002, PIACENTI e FERREIRA, 2002). Para Souza e Alves (2011), o *CEsp* possibilita verificar como as estruturas produtivas de uma determinada região podem ser análogas ou não, apresentando as distinções regionais.

$$CEsp_j = \frac{\sum_i \left| \left(E_{ij} / \sum_i E_{ij} \right) - \left(\sum_j E_{ij} / \sum_i \sum_j E_{ij} \right) \right|}{2} \quad (8)$$

Já o coeficiente de reestruturação (9), relaciona a estrutura de emprego de uma determinada região ao longo do tempo. Quando *Cr* é próximo de 0, considera-se reestruturação não significativa e quando é próximo de 1, reestruturação significativa (HADDAD, 1989; PIACENTI *et al.*, 2002, PIACENTI e FERREIRA, 2002). Na compreensão de Ferreira, Piacenti e Alves (2008), o *Cr* fornece informações referentes à estrutura produtiva de cada região, verificando o nível de especialização.

$$Cr = \frac{\sum_j \left| \left(E_{ij} / \sum_i E_{ij} \right)^{t1} - \left(E_{ij} / \sum_i E_{ij} \right)^{t0} \right|}{2} \quad (9)$$

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2.2 apresenta o número de empresas do setor de alimentos e bebidas na Paraíba nos anos de 2006 e 2013. É possível observar o grande número de empresas no setor alimentício. Foram 1.473 em 2013, uma melhoria próxima de 23%, se comparada com os números do ano de 2006. O setor de bebidas no mesmo período apresentou um

decréscimo de cerca de 2%, pulou de 90 empresas em 2006 para 88 em 2013. No total, houve um incremento de cerca de 21% no número de empresas do setor de alimentos e bebidas na Paraíba, em 2006 eram 1.290, passando para 1.561 em 2013. A maior quantidade de empresas se concentra na fabricação de produtos de panificação, com 775 em 2013, aprontando um crescimento de cerca de 26%, se comparado com 2006. No setor de bebidas, o subsetor de fabricação de aguardentes e outras bebidas destiladas foi o que mais se destacou, com 52 empresas, em 2013, crescimento de 11% se comparado com 2006.

Tabela 2.2. Distribuição do Número de Empresas do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 e 2013.

CNAE 2.0 Classe	2013	2006
Setor Alimentício	1473	1200
Fabricação de Produtos de Panificação	775	617
Fabricação de Produtos Alimentícios não Especificados Anteriormente	97	112
Fabricação de Massas Alimentícias	66	31
Fabricação de Laticínios*	64	41
Fabricação de Biscoitos e Bolachas	61	35
Fabricação de Sorvetes e Outros Gelados Comestíveis*	58	53
Fabricação de Conservas de Frutas*	55	31
Fabricação de Alimentos para Animais	39	31
Abate de Suínos, Aves e Outros Pequenos Animais*	35	19
Fabricação de Especiarias, Molhos, Temperos e Condimentos	21	23
Fabricação de Farinha de Milho e Derivados, Exceto Óleos de Milho	18	16
Fabricação de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes*	18	26
Preparação do Leite*	18	13
Setor de Bebidas	88	90
Fabricação de Aguardentes e Outras Bebidas Destiladas*	52	47
Fabricação de Águas Envasadas*	17	11
Fabricação de Refrigerantes e de Outras Bebidas Não Alcoólicas*	14	21
Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes*	3	1
Total	1561	1290

Fonte: Relação Anual de Informações (BRASIL, 2014).

*Setores com maior demanda de energia em forma de calor DGCE (2004).

A Tabela 2.3 apresenta o quantitativo de funcionários do setor de alimentos e bebidas na Paraíba em 2006 e 2013. Pode-se observar que houve um crescimento aproximado de 59% no número de funcionários no setor alimentício no estado, passando de 10.904 em 2006 para 17.318 em 2013. O setor de bebidas cresceu em torno de 24%, em 2006 eram

2.323 funcionários, já em 2013, esse quantitativo alcançou 2.889. Considerando os dois setores, ocorreu um acréscimo que se aproximou de 53% de 2006 para 2013, passando de 13.227 para 20.207 funcionários. As empresas de fabricação de açúcar em bruto se destacam no setor alimentício, elas apresentaram 6.261 funcionários em 2013 e 4.349 em 2006, um incremento por volta de 44%. Em seguida, aparecem as empresas de fabricação de produtos de panificação, que apresentaram um crescimento em torno de 30% de 2006 para 2013, passando de 2.061 para 2.679 funcionários no mesmo período. No setor de bebidas, destacaram-se as empresas de fabricação de refrigerantes e de outras bebidas não alcoólicas, que despontaram uma melhoria que se aproximou de 44% no número de funcionários de 2006 para 2013, passando de 657 para 945.

A partir dos processos industriais e faixas de temperaturas expostas na Tabela 2.1, foram verificados os subsetores que apresentaram o maior número de empresas e funcionários das Tabelas 2.2 e 2.3. Os subsetores do setor de alimentos e bebidas selecionados e que apresentam processos indústrias com maior demanda de energia em forma de calor e com temperatura média entre 60 – 90° C, foram: o de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, laticínios, conservas de frutas, fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes, fabricação de águas envasadas, fabricação de malte, cervejas e chopes, fabricação de refrigerantes e de outras bebidas não alcoólicas, fabricação de aguardentes e outras bebidas destiladas.

Após a seleção dos subsetores, foram calculados os indicadores regionais. Para isso, foi assumido o número total de empresas do setor de alimentos e bebidas paraibano como variável-base, tendo como referência, a Paraíba. A Figura 2.2 apresenta o quociente locacional do setor de alimentos e bebidas em 2006 e 2013 entre as mesorregiões da Paraíba. Esse indicador expõe os setores que podem ser potenciais exportadores (LIMA *et al.* 2006a).

Foi observado que em 2013, os subsetores significativos ($QL \geq 1$) da Mata Paraibana foram: fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis (1,03); fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes (2,17); e fabricação de malte, cervejas e chopes (2,30). No Agreste Paraibano, sobressaíram-se os subsetores de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis (1,03) e de o fabricação de conservas de frutas (2,22). Na Borborema, tiveram destaque os subsetores de fabricação de laticínios (1,51) e água envasada (3,79). Já no Sertão Paraibano, foram os subsetores de fabricação de laticínios (2,56), fabricação de conservas de frutas (1,99) e fabricação de água envasada (1,34).

Tabela 2.3. Distribuição do Número de Funcionários das Empresas do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 a 2013.

CNAE 2.0 Classe	2013	2006
Setor Alimentício	17318	10904
Fabricação de Açúcar em Bruto	6261	4349
Fabricação de Produtos de Panificação	2679	2061
Torrefação e Moagem de Café	1338	776
Abate de Suínos, Aves e Outros Pequenos Animais*	1150	83
Moagem e Fabricação de Produtos de Origem Vegetal não Especificados Anteriormente	937	201
Fabricação de Laticínios*	773	409
Fabricação de Farinha de Milho e Derivados, Exceto Óleos de Milho	657	501
Fabricação de Biscoitos e Bolachas	628	434
Moagem de Trigo e Fabricação de Derivados	447	189
Fabricação de Massas Alimentícias	397	359
Fabricação de Sorvetes e Outros Gelados Comestíveis*	368	215
Fabricação de Conservas de Frutas*	308	112
Fabricação de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes*	285	210
Setor de Bebidas	2889	2323
Fabricação de Refrigerantes e de Outras Bebidas Não Alcoólicas*	945	657
Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes*	634	473
Fabricação de Águas Envasadas*	565	444
Fabricação de Aguardentes e Outras Bebidas Destiladas*	552	515
Total	20207	13227

Fonte: Relação Anual de Informações (BRASIL, 2014).

*Setores com maior demanda de energia em forma de calor DGCE (2004).

Em 2006, os subsetores significativos ($QL \geq 1$) da Mata Paraibana foram: fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis (1,32); fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes (1,98); fabricação de águas envasadas (1,49) e fabricação de malte, cervejas e chopes (2,34). O Agreste Paraibano não apresentou subsetores com QL significativo. Na Borborema, a maior relevância foi do subsetor de fabricação de laticínios (1,83). No Sertão Paraibano, foram as empresas de fabricação de laticínios (1,79) e de fabricação de conservas de frutas (2,22).

Admitindo o número total de funcionários do setor de alimentos e bebidas paraibano como variável-base e considerando a Paraíba como referência, a Figura 2.3 apresenta o quociente locacional em 2006 e 2013. Foi observado que em 2013 os subsetores significativos ($QL \geq 1$) na Mata Paraibana foram: fabricação de refrigerantes e de outras bebidas não alcoólicas (1,62); fabricação de malte, cerveja e chopes (1,65); fabricação de água envasada (1,54) e de fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes (1,60). No

Agreste Paraibano, ao ser estudado o mesmo período, destacaram-se as empresas de fabricação de aguardente e outras bebidas destiladas (2,00) e o de fabricação de laticínios (1,19). A Borborema não apresentou subsetores com *QL* significativo. No Sertão Paraibano, teve notoriedade o subsetor de fabricação de laticínios (5,46).

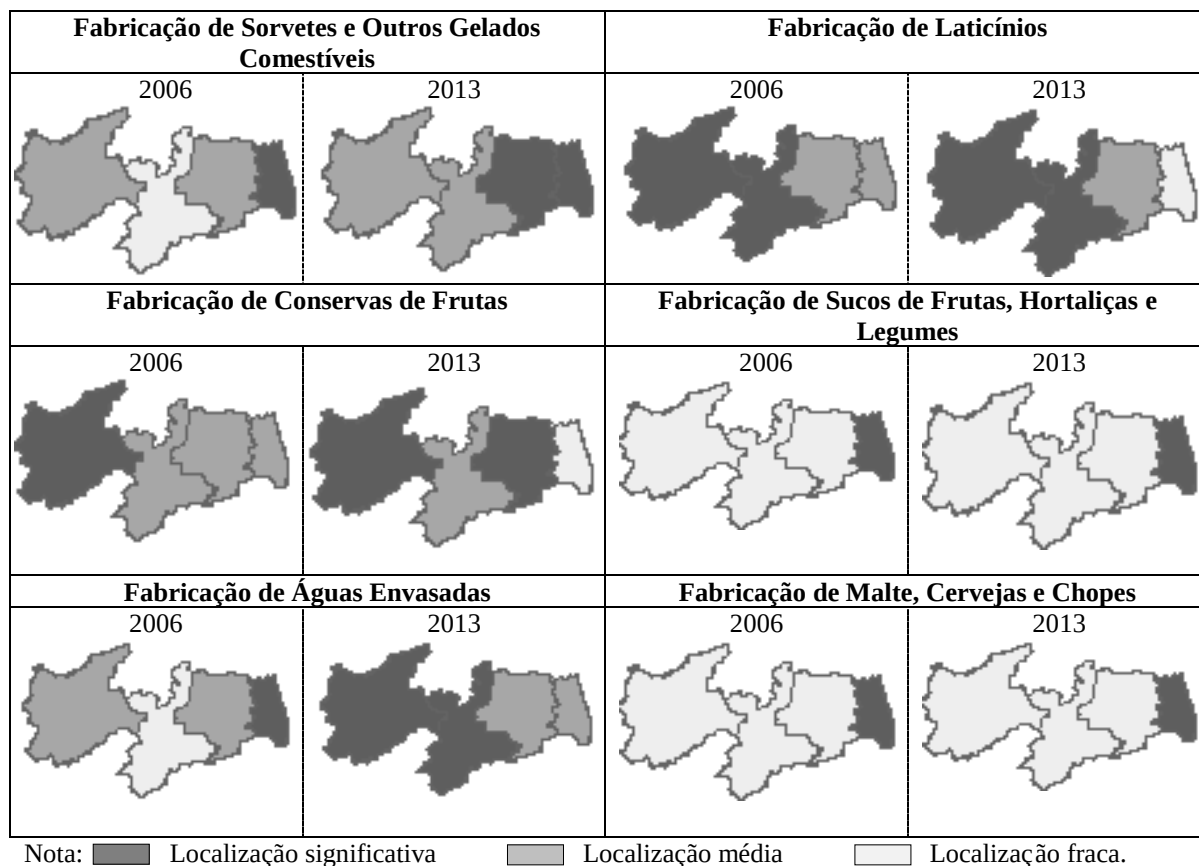


Figura 2.2. Quociente Locacional do Número de Empresas dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba, de 2006 e 2013.

Fonte: Elaboração própria.

Em 2006, os subsetores significativos ($QL \geq 1$) da Mata Paraibana foram: fabricação de refrigerantes e de outras bebidas não alcoólicas (1,18); fabricação de malte, cerveja e chopes (1,60); fabricação de água envasada (1,55) e de fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes (1,56). No Agreste Paraibano, o destaque foi das empresas de fabricação de refrigerantes e de outras bebidas não alcoólicas (1,02); fabricação de aguardente e outras bebidas destiladas (2,35) e de fabricação de laticínios (1,25). Na Borborema, foi mais expressivo o subsetor de fabricação de laticínios (4,53), o que também aconteceu no Sertão Paraibano (3,86).

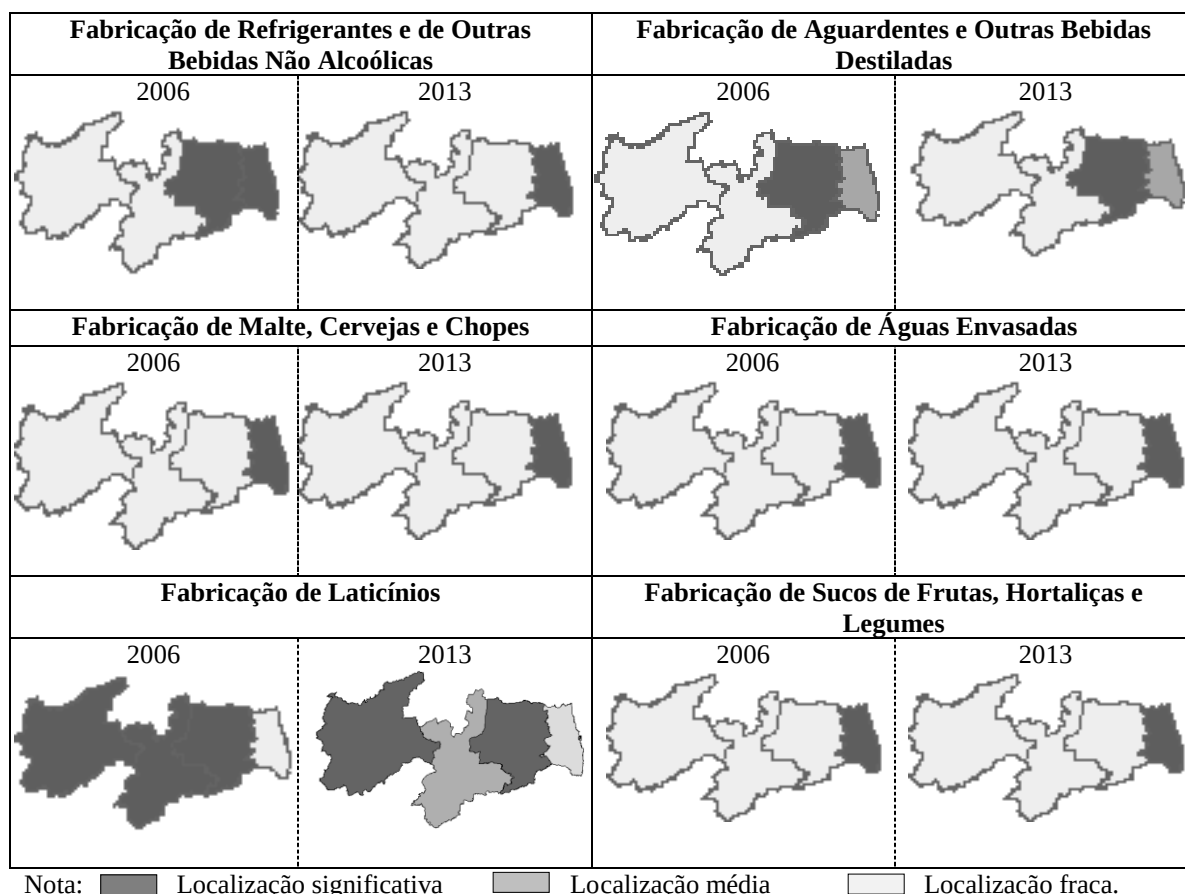


Figura 2.3. Quociente Locacional do Número de Funcionários dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba, de 2006 e 2013.

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2.4 apresenta o *CL* do número de empresas dos principais subsectores do setor de alimentos e bebidas na Paraíba nos anos de 2006 e 2013. Esse indicador mostra o quanto os setores estão distribuídos ou concentrados entre as mesorregiões da Paraíba.

A mesorregião da Borborema, em 2013, obteve os melhores valores de distribuição, sendo relativamente próximos de zero para todos os subsectores. Foi constatado que os maiores padrões de concentração em 2006 foram encontrados nos subsectores de fabricação de águas envasadas (0,41) e fabricação de malte, cervejas e chopes (0,41), ambos na mesorregião da Mata Paraibana. Já os maiores padrões de concentração em 2013 foram encontrados também nos subsectores de fabricação de águas envasadas (0,30) e fabricação de malte, cervejas e chopes (0,39), além do subsector de fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes (0,30), todos na mesorregião da Mata Paraibana, porém, não foram significativos.

Tabela 2.4. Coeficiente de Localização do Número de Empresas dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 e 2013.

CNAE 2.0 Classe	Mesorregião							
	Mata Paraibana		Agreste Paraibano		Sertão Paraibano		Borborema	
	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013
Fabricação de Sorvetes e Outros Gelados Comestíveis	0,13	0,09	0,12	0,11	0,13	0,10	0,03	0,04
Fabricação de Laticínios	0,23	0,20	0,11	0,13	0,19	0,26	0,08	0,06
Fabricação de Conservas de Frutas	0,27	0,20	0,11	0,17	0,24	0,24	0,05	0,04
Fabricação de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes	0,28	0,30	0,15	0,17	0,10	0,11	0,03	0,03
Fabricação de Águas Envasadas	0,41	0,30	0,13	0,25	0,14	0,20	0,03	0,13
Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes	0,41	0,39	0,14	0,14	0,11	0,11	0,03	0,03

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2.5 apresenta Coeficiente de localização do número de funcionários dos principais subsectores do setor de alimentos e bebidas na Paraíba em 2006 e 2013. A Região da Borborema apresentou maior dispersão, considerando os dois anos. Os subsectores com os maiores níveis de concentração em 2006 foram o de fabricação de aguardentes e outras bebidas destiladas (0,48) e o de fabricação de água envasada (0,66), sendo todos localizados na Mata Paraibana. Para 2013, os maiores níveis de concentração também foram no subsector de fabricação de aguardentes e outras bebidas destiladas (0,53) e o de fabricação de água envasada (0,73), ambos na Mata Paraibana, os dois apresentaram elevação do nível de concentração de 2006 para 2013. No entanto, tais valores não se mostraram significativos, logo, os subsectores do setor de alimentos e bebidas estão distribuídos da mesma maneira entre as mesorregiões na Paraíba.

A Tabela 2.6 apresenta os valores para as medidas de especialização, levando em conta o número de empresas em 2006 e 2013. Todos os subsectores entre as mesorregiões apresentaram valores próximos de zero, isso indica que os subsectores do setor de alimentos e bebidas demonstram grau de especialização idêntica ao do estado.

A Tabela 2.7 expõe os valores do coeficiente de especialização, ao considerar o número total de funcionários como variável-base. Os valores do *CEsp* ficaram próximos a zero, indicando uma composição idêntica à Paraíba. Estudando o ano de 2006, o subsector com maior valor foi o de fabricação de aguardentes e outras bebidas destiladas (0,16) no Agreste Paraibano. E analisando o ano de 2013, o mesmo subsector apresentou um *CEsp* de 0,13 para as mesorregiões da Mata e Agreste paraibanos.

Tabela 2.5. Coeficiente de Localização do Número de Funcionários dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 e 2013.

CNAE 2.0 Classe	Mesorregião							
	Mata Paraibana		Agreste Paraibano		Sertão Paraibano		Borborema	
	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013
Fabricação de Refrigerantes e de Outras Bebidas Não Alcoólicas	0,21	0,31	0,10	0,13	0,05	0,06	0,02	0,02
Fabricação de Aguardentes e Outras Bebidas Destiladas	0,48	0,53	0,24	0,19	0,05	0,06	0,02	0,02
Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes	0,35	0,35	0,12	0,12	0,05	0,06	0,02	0,02
Fabricação de Águas Envasadas	0,66	0,73	0,12	0,13	0,06	0,06	0,02	0,02
Fabricação de Laticínios	0,36	0,30	0,13	0,11	0,21	0,33	0,10	0,03
Fabricação de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes	0,28	0,28	0,13	0,13	0,10	0,06	0,02	0,02

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2.6. Coeficiente de Especialização do Número de Empresas dos Principais Setores da Indústria de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 e 2013.

CNAE 2.0 Classe	Mesorregião							
	Mata Paraibana		Agreste Paraibano		Sertão Paraibano		Borborema	
	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013
Fabricação de Sorvetes e Outros Gelados Comestíveis	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Fabricação de Laticínios	0,02	0,01	0,03	0,04	0,04	0,07	0,03	0,03
Fabricação de Conservas de Frutas	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,05	0,01	0,02
Fabricação de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
Fabricação de Águas Envasadas	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02
Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2.8 mostra a associação geográfica entre os subsectores do setor de alimentos e bebidas para os anos de 2006 e 2013, utilizando o número de empresas como variável-base. O *Cag* indica a forma como os subsectores do setor de alimentos e bebidas estão distribuídos na mesma mesorregião da Paraíba. Analisando o ano de 2006, foi possível observar que os subsectores de fabricação de águas envasadas e de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis apresentaram associação significativa (0,08), ou seja, estão fortemente distribuídos na mesma mesorregião do estado. Já a relação entre os subsectores de fabricação de malte, cerveja e chope e de fabricação de conservas de frutas

apresentou fraca associação geográfica (0,77), demonstrando forte indício de não se encontram concentrados na mesma mesorregião da Paraíba.

Tabela 2.7. Coeficiente de Especialização do Número de Funcionários dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 e 2013.

CNAE 2.0 Classe	Mesorregião							
	Mata Paraibana		Agreste Paraibano		Sertão Paraibano		Borborema	
	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013
Fabricação de Refrigerantes e de Outras Bebidas Não Alcoólicas	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,03	0,03
Fabricação de Aguardentes e Outras Bebidas Destiladas	0,10	0,13	0,16	0,13	0,05	0,04	0,03	0,02
Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes	0,02	0,01	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02
Fabricação de Águas Envasadas	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03
Fabricação de Laticínios	0,03	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,05
Fabricação de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01

Fonte: Elaboração própria.

Para o ano de 2013, foi observada uma forte associação geográfica (0,06) entre a fabricação de malte, cerveja e chopes e a indústria de fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes. O maior valor observado para o *Cag* foi de 0,88, indicando uma fraca associação entre a fabricação de malte, cerveja e chopes e a indústria de fabricação de laticínios.

Tabela 2.8. Coeficiente de Associação Geográfica do Número de Empresas dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas da Paraíba em 2006 e 2013.

N.	CNAE 2.0 Classe	1		2		3		4		5		6	
		2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013
1	Fab. de Sorvetes e Outros Gelados Comestíveis	0,00	0,00										
2	Fabricação de Laticínios	0,32	0,40	0,00	0,00								
3	Fab. de Conservas de Frutas	0,36	0,27	0,09	0,17	0,00	0,00						
4	Fab. de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes	0,28	0,50	0,60	0,82	0,62	0,76	0,00	0,00				
5	Fabricação de Águas Envasadas	0,08	0,27	0,39	0,27	0,41	0,23	0,21	0,71	0,00	0,00		
6	Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes	0,43	0,55	0,76	0,88	0,77	0,82	0,15	0,06	0,36	0,76	0,00	0,00

Nota:  Associação significativa  Associação média  Associação fraca.

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2.9 expõe o *Cag* calculado para o número de funcionários nos anos de 2006 e 2013. Em 2006, foi observado que os subsetores de fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes e de fabricação de malte, cervejas e chopes, apresentaram um *Cag* de 0,03, definindo uma associação geográfica significativa. Esta verificação também foi feita para os subsetores de fabricação de água envasada e de fabricação de malte, cervejas e chopes, com um *Cag* de 0,03; além dos subsetores de fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes e de fabricação de água envasada, que também apresentaram *Cag* de 0,03. Esses subsetores fornecem indício de que estão localizados geograficamente de forma idêntica entre as mesorregiões da Paraíba. No entanto, os subsetores que tiveram fraca associação (0,86) foram os setores de fabricação de laticínios e de fabricação de malte, cervejas e chopes, já que se encontram em mesorregiões distintas.

Ao examinar o ano de 2013, foi verificado que os subsetores com associação geográfica significativa (0,01) foram o de fabricação de refrigerantes e outras bebidas não alcoólicas e o de fabricação de malte, cervejas e chopes. Também apresentaram associação geográfica significativa (0,01) os subsetores de fabricação de malte, cervejas e chopes e de fabricação de sucos de frutas, hortaliças e legumes. Esses subsetores se encontram em mesorregiões idênticas. Já o que apresentou fraca associação geográfica (0,95) quando comparado com o setor de fabricação de malte, cervejas e chopes, foi o setor de fabricação de laticínios.

Tabela 2.9. Coeficiente de Associação Geográfica do Número de Funcionários dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas da Paraíba em 2006 e 2013.

N.	CNAE 2.0 Classe	1		2		3		4		5		6	
		2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013
1	Fab. de Refrigerantes e de Outras Bebidas Não Alcoólicas	0,00	0,00										
2	Fabricação de Aguardentes e Outras Bebidas Destiladas	0,31	0,48	0,00	0,00								
3	Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes	0,26	0,01	0,56	0,49	0,00	0,00						
4	Fabricação de Águas Envasadas	0,24	0,05	0,56	0,47	0,03	0,07	0,00	0,00				
5	Fabricação de Laticínios	0,60	0,93	0,56	0,65	0,86	0,95	0,83	0,88	0,00	0,00		
6	Fab. de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes	0,23	0,01	0,53	0,47	0,03	0,03	0,03	0,05	0,83	0,92	0,00	0,00

Nota:  Associação significativa  Associação média  Associação fraca.

Fonte: Elaboração própria.

A mesorregião da Borborema apresentou valor mais elevado para o coeficiente de reestruturação (0,010) no período de 2006 e 2013, em relação ao número de funcionários ocupados, como exposto na Tabela 2.10. Houve redução na participação de mão-de-obra na região, mesmo com o coeficiente apresentando valores reduzidos. As demais regiões apresentaram valores próximos de zero para cada variável-base, caracterizando uma reestruturação não significativa nos anos de 2006 e 2013.

Tabela 2.10. Coeficiente de Reestruturação do Número de Empresas e Mão de Obra Ocupada do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 e 2013.

	Mata Paraibana	Agrete Paraibano	Sertão Paraibano	Borborema
Empresas	0,002	0,002	0,003	0,003
Funcionários	0,004	0,008	0,006	0,010

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 2.11 exibe as medidas do coeficiente de redistribuição do número de empresas nos anos de 2006 e 2013. Foi constatado que o maior coeficiente de redistribuição é apresentado no subsetor de fabricação de malte, cervejas e chopes (0,33) na mesorregião da Mata Paraibana. Os demais subsetores do setor de alimentos e bebidas na Paraíba tiveram coeficientes não significativos entre 2006 e 2013.

Tabela 2.11. Coeficiente de Redistribuição do Número de Empresas dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 e 2013.

CNAE 2.0 Classe	Mata Paraibana	Agrete Paraibano	Sertão Paraibano	Borborema
Fab. de Sorvetes e Outros Gelados Comestíveis	0,16	0,05	0,08	0,02
Fabricação de Laticínios	0,09	0,11	0,19	0,06
Fabricação de Conservas de Frutas	0,14	0,15	0,12	0,02
Fab. de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes	0,19	0,05	0,02	0,00
Fabricação de Águas Envasadas	0,20	0,21	0,18	0,12
Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes	0,33	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria.

Pela Tabela 2.12, é possível observar o coeficiente de redistribuição para o número de funcionários em 2006 e 2013. Nenhum dos subsetores apresentou distribuição espacial significativa, ou seja, as mesorregiões tiveram o mesmo nível de localização ao longo do período estudado.

Tabela 2.12. Coeficiente de Redistribuição do Número de Funcionários dos Principais Subsetores do Setor de Alimentos e Bebidas na Paraíba de 2006 e 2013.

CNAE 2.0 Classe	Mata Paraibana	Agreste Paraibano	Sertão Paraibano	Borborema
Fabricação de Refrigerantes e de Outras Bebidas Não Alcoólicas	0,14	0,12	0,01	0,00
Fabricação de Aguardentes e Outras Bebidas Destiladas	0,06	0,12	0,01	0,00
Fabricação de Malte, Cervejas e Chopes	0,00	0,00	0,00	0,00
Fabricação de Águas Envasadas	0,09	0,01	0,02	0,01
Fabricação de Laticínios	0,06	0,05	0,13	0,07
Fabricação de Sucos de Frutas, Hortaliças e Legumes	0,21	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria.

2.4 CONCLUSÃO

Para as condições em que foi desenvolvido este estudo, conclui-se que:

Dos 17 maiores subsectores do setor de alimentos e bebidas em relação à quantidade de empresas na Paraíba, 10 apresentaram processos com potencial demanda de energia em forma de calor. Para os 17 maiores em relação à quantidade de funcionários, 9 subsectores são potenciais demandantes de calor.

Os indicadores de localização para a Mata Paraibana mostraram predominância dos subsectores de produção de sorvete, cerveja e de fabricação de sucos e identificaram mudanças no padrão espacial na indústria de cerveja nos anos de 2006 e 2013. No Agreste Paraibano, tiveram destaque os subsectores de fabricação de sorvete e de conservas de frutas. A Borborema mostrou concentração de empresas de água envasada e de fabricação de laticínios. O Sertão Paraibano registou forte participação das empresas de laticínios, conserva de frutas e água envasada.

Dentre os 6 subsectores analisados quantitativamente no quesito de mão de obra, 4 se encontram na Mata Paraibana.

Os indicadores de localização mostraram que os subsectores do setor alimentício são distribuídos de forma semelhante entre as mesorregiões, tomando como referência, a mão-de-obra no estado. Já os subsectores de bebidas apresentaram distribuição análoga em relação ao número de empresas na Paraíba.

Os indicadores de medidas regionais não tiveram grau especialização entre os subsectores analisados para os anos de 2006 e 2013. Apenas foi verificada uma pequena

alteração na estrutura da mão-de-obra na mesorregião da Borborema, mas não foi significativa.

2.5 REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais - RAIS**. Disponível em: < <http://portal.mte.gov.br/rais/>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

DGGE – Direção Geral de Geologia e Energia. **Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial**. Lisboa, 2004.

FESER, E.J. BERGMAN, E.M. National industry cluster templates: a framework for applied regional cluster analysis. **Regional Studies**, 34 (1): 1-19, 2000.

FERNANDES, C. L.L.; NOGUEIRA JÚNIOR, R. P. Desequilíbrios Regionais E Evolução Industrial: Uma Análise Para Minas Gerais No Período 1995-2000. In: **Anais do XI Seminário sobre a Economia Mineira [Proceedings of the 11th Seminar on the Economy of Minas Gerais]**. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

FERRERA L.J.; PIACENTI, C. A.; ALVES, L. R. O perfil locacional do emprego setorial no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste. Fortaleza**, v. 39, n. 3, p. 482-502, 2008.

HADDAD, J. H. (Org.). **Economia regional: teoria e métodos de análise**. Fortaleza: BNB/ETIENE, 1989.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE**. Disponível em: < <http://www.cnae.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

_____. **Estados**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em : 15 mar. 2015a.

_____. **Malhas digitais**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/pt/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 15 abr. 2015b.

LIMA, J. F. et al. Análise Regional das Mesorregiões do Estado do Paraná no Final do Século xx. **Análise Econômica**, v.24, n.46, 2006a.

LIMA, J. F. et al. O Comportamento Locacional Da Mao-De-Obra Na Região Sudeste Do Brasil: Notas Comparativas A Partir Dos Indicadores De Analise Regional. In: **44th Congress, July 23-27, 2006, Fortaleza, Ceará, Brazil**. Sociedade Brasileira de Economia, Administracao e Sociologia Rural (SOBER), 2006b.

LIMA, J. F. et al. O uso das terras no sul do Brasil: uma análise a partir de indicadores de localização. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 4, p. 677-694, 2006c.

PIACENTI, C. A. et al. Análise regional dos municípios lindeiros ao lago da Usina

Hidroelétrica de Itaipu. In: Encontro brasileiro de estudos regionais e urbanos, 2,2002, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ABER, 2002. 1 CD-ROM.

PIACENTI, C. A.; FERRERA, L. J. (Coord.). **Análise do impacto dos reservatórios das hidroelétricas no desenvolvimento econômico microrregional**. Toledo: UNIOESTE - Campus de Toledo, março/2001. 245 p. (Relatório de Pesquisa. UNIOESTE – Campus de Toledo/Fundação Araucária - Projeto 612.) projeto concluído, 2002.

SOUZA, C. C. G.; ALVES, L. R. A Especialização E A Reestruturação Produtiva Das Atividades Econômicas Entre As Mesorregiões Do Brasil Entre 2000 A 2009. **revista. gepec**, v. 15, p.145-161, 2011.

SOUZA, N.J. Economia regional: conceitos e fundamentos teóricos. **Perspectiva Econômica**, v. 11, n. 32, p. 67-102, 1981.

SCHWEIGER, H. et al. **The Potential of Solar Heat in Industrial Processes**. Denmark: Copenhagen, 2000.

THISSE, J. Geografia Econômica. In: CRUZ, Bruno de Oliveira. (Org.). **Economia regional e urbana: teorias e métodos com ênfase no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011.

3 ARTIGO 2 - ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE COLETORES SOLARES TÉRMICOS EM UMA EMPRESA DE SORVETES

RESUMO

Os níveis de radiação solar brasileiros apresentam um elevado padrão, se comparados com os países europeus. Isso expõe a grande capacidade de exploração do território nacional quanto ao uso da energia solar. A utilização da energia solar térmica na indústria cresceu, saindo de 3%, em 2013, para 17%, em 2014. Com isso, este artigo analisou a viabilidade técnica e econômica do uso de coletores solares térmicos em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, localizada em João Pessoa. A metodologia utilizada para dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar - SAS seguiu as definições da NBR 15569. Para a análise dos custos dos projetos de investimento, foram utilizados alguns indicadores: Valor Presente dos Custos (VPC), Custo Periódico Equivalente (CPE), *Levelized Cost Of Electricity* (LCOE), *payback* descontado e Custo Médio de Produção (CMeP). A partir dos resultados e análises realizadas, foi possível concluir que o uso do SAS na etapa de aquecimento do processo de pasteurização nas empresas de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa é viável.

Palavras-chave: Indústria, SAS, viabilidade técnica, viabilidade econômica.

TECHNICAL VIABILITY AND ECONOMIC STUDY OF SOLAR THERMAL COLLECTORS FOR USE IN AN ICE CREAM COMPANY

ABSTRACT

Brazilian solar radiation levels present a high standard, compared with European countries. This exposes the operating capacity of the national territory on the use of solar energy. The use of solar thermal energy in the industry grew, left 3% by 2013, to 17% in 2014. With that, this article examined the technical and economic feasibility of the use of solar thermal collectors in a manufacturing company of ice cream and other edible ice cream, located in João Pessoa. The methodology used for sizing the Solar heating system-SAS followed NBR 15569 settings. For the analysis of the costs of investment projects, some indicators are used: the present value of costs (VPC), Periodic cost Equivalent (CPE), Levelized Cost Of Electricity (LCOE), discounted payback and average cost of production (CMeP). From the results and analysis, it was concluded that the use of the SAS in the heating step pasteurization process in the manufacture of ice cream and other edible ice cream in João Pessoa is feasible.

Keywords: industry, SAS, technical viability, economic viability.

3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta um grande potencial de aplicações do uso de energia solar (térmico e fotovoltaico), no que diz respeito a vastas áreas de insolação ainda pouco aproveitadas, principalmente na indústria. Para Martins, Pereira e Abreu (2007), os níveis de radiação solar brasileiros apresentam um elevado padrão, se comparados com os países europeus. Isso expõe a grande capacidade de exploração do território nacional quanto ao uso da energia solar.

Segundo o Departamento Nacional de Energia Solar – DASOL (2016), a utilização da energia solar térmica na indústria cresceu, saindo de 3%, em 2013, para 17%, em 2014. Em 2014, a produção brasileira de coletores solares cresceu 4,5%, o que equivale a 1,44 milhões de m² e uma área coletora acumulada de 11,24 milhões de m², chegando a atingir uma capacidade de 7.354 GWh. Já a produção de reservatórios térmicos, cresceu 57,2% em 2014, sendo produzidas 269.207 unidades, comprovando o espaço para investimento do setor.

Algumas indústrias apresentam diversas aplicações da demanda de energia térmica em seus processos produtivos, a média dessa demanda chega a 13% de todo consumo de energia final. Desse percentual, 23% estão entre baixa ($\geq 60^\circ$) e média temperaturas ($60^\circ \leq 150^\circ$). A utilização destas temperaturas se encontra nos processos de limpeza, secagem, pasteurização, cozimento, aquecimento da água, etc. (SCHWEIGER *et al.* 2000, DGGE, 2004).

A avaliação econômica orienta esse tipo de investimento para as indústrias, auxiliando no processo de tomada de decisão, justificando a compra e substituição dos sistemas em questão. Essa análise inclui a avaliação dos custos de instalação, custos operacionais e despesas com manutenção (AL-SALAYMEH, AL-RAWABDEH E EMRAN, 2010). Os investimentos em Sistemas de Aquecimento Solar – SAS requerem uma análise adicional do local e forma como serão aplicados, além da verificação da necessidade de energia e seus custos, do dimensionamento, das condições climáticas regionais, também é necessária a pesquisa de mercado.

Com isso, este artigo analisou a viabilidade técnica e econômica do uso de coletores solares térmicos em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, localizada em João Pessoa.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Objeto de Estudo

O estudo de caso foi realizado em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis localizada em João Pessoa, Paraíba, Brasil. Criada no ano de 2000, a empresa possuía 20 colaboradores em 2015 e comercializava picolé, açaí e sorvete, podendo ser classificada como microempresa.

O estudo verificou o processo produtivo de sorvete e picolé, especificamente a etapa de aquecimento no processo de pasteurização. A empresa em estudo conta com o auxílio de um queimador atmosférico de passagem (*Boiler*) à Gás Liquefeito de Petróleo – GLP, adquirido junto com a planta de pasteurização, em 22 de abril de 2013. A organização também conta com caldeiras e um sistema de resfriamento. Para o cálculo do consumo de GLP anual e produção de energia, foi considerado o poder calorífico de 11.100 kcal/kg (EPE, 2015).

A pasteurização consiste em uma etapa importante na fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis, por possibilitar o tratamento térmico para matérias-primas como o leite, ovos e seus derivados (BRASIL, 2003). Essa etapa consiste no aquecimento da água até uma temperatura de 80 °C, aplicando o tratamento térmico à mistura no interior das caldeiras, em seguida, a mistura é imediatamente resfriada.

A fim de comparar o atual sistema de aquecimento do processo de pasteurização via queimador atmosférico de passagem, foi dimensionando um SAS com uso de placas solares planas, configurado de acordo com as informações climáticas do município de João Pessoa. Isso possibilitou verificar os indicadores de análise econômica para um horizonte de 10 anos de vida útil tanto para o projeto de uso do queimador atmosférico de passagem, quanto para o SAS, visando a minimização de custos para a empresa. Também foram analisados os custos de implantação do mesmo sistema em outras cidades da Paraíba, como Areia, Monteiro e São Gonçalo (distrito de Sousa), considerando seus respectivos dados climáticos.

Para o cálculo do dimensionamento do SAS foram considerados os 185 litros de água quente utilizados na operacionalização da etapa de aquecimento via queimador atmosférico e um uso diário variando entre 2h e 3h para essa etapa, resultando em 40 h e 60 h mensais, respectivamente. Para o processo de pasteurização via SAS, foram considerados 80°C

como temperatura de consumo e armazenagem da água. Já para cálculo dos coeficientes de ganho e perda dos coletores solares, foi utilizada a classificação elaborada pelo Instituto Nacional de Metrologia – INMETRO (BRASIL, 2015a).

Foram selecionadas três marcas de placas solares considerando modelos de coletores de 1m² e 2m² (Tabela 3.1). Os coletores das marcas B e C apresentaram maior coeficiente de ganho admissional. Para o coeficiente de perda, o coletor solar de marca A apresenta o maior valor.

Tabela 3.1. Marcas de Placas Solares Selecionadas.

Placa Solar	Ganho e Perda dos Coletores	
	<i>Fr</i> (ganho)	<i>FrUL</i> (perda)
Marca A	0,74	6,07
Marca B	0,76	5,97
Marca C	0,76	5,48

Fonte: INMETRO (2015).

3.2.2 Pesquisa de Mercado

O levantamento das informações foi realizado por meio de visitas técnicas, aplicação de questionários, contato via e-mail, site e telefone, e foi executado entre os meses de maio e setembro de 2015. Para cálculo dos indicadores de análise econômica dos projetos, foi feita uma pesquisa de mercado em relação aos preços dos equipamentos junto a fornecedores nos estados da Paraíba, São Paulo e Goiás. Segundo Gomes (2013), a pesquisa de mercado consiste em uma ferramenta importante na coleta de dados de um determinado segmento. Isso ajuda a identificar possíveis fornecedores, concorrentes, clientes etc. As informações referentes ao atual sistema de pasteurização foram obtidas em visitas técnicas à empresa e entrevista com os responsáveis.

A Tabela 3.2 mostra o atual preço de mercado de um queimador atmosférico de passagem, com modelo semelhante ao utilizado pela empresa na etapa de aquecimento do processo de pasteurização. Sendo considerado o preço do equipamento novo, valor de instalação, manutenção e peças.

A Tabela 3.3 demonstra os valores para investimento no SAS. Entre os coletores solares, o maior preço foi verificado para a marca B, tanto para o de 1m² quanto para o de 2m². Para os demais componentes: *boiler* de 400l e 600l, instalação e limpeza foi possível considera-los dentro do preço médio de mercado.

Tabela 3.2. Orçamento para o Investimento Inicial no Queimador Atmosférico.

Investimento	Preço
Equipamento (novo)	R\$ 13.300
Lavagem e Regulagem (anual)	R\$ 350
Instalação	R\$ 500
Eletrodos (trienal)	R\$ 300
Termopar (trienal)	R\$ 185
Piloto de Chamas (trienal)	R\$ 185

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3.3. Orçamento para o Investimento Inicial do SAS.

Componentes do SAS	Preço	
	1m ²	2m ²
Placas Solares (Marca A)	R\$ 465	R\$ 828
Placas Solares (Marca B)	R\$ 551	R\$ 1.074
Placas Solares (Marca C)	R\$ 539	R\$ 968
Boiler 400l	R\$ 1.978	
Boiler 600l	R\$ 2.485	
Instalação	R\$ 1.000	
Limpeza (anual)	R\$ 250	

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3.4 expõe os investimentos iniciais complementares necessários tanto para implantação do sistema de aquecimento via queimador atmosférico de passagem, quanto para o SAS. Para a quantidade de itens, foi considerada a atual localização da planta de pasteurização da empresa em estudo, desde o número de bombas da etapa de aquecimento, até o diâmetro das tubulações de cobre e conexões.

Tabela 3.4. Orçamento de Materiais Complementares para o Queimador Atmosférico e SAS.

Item	Unidade	Preço da Unidade	Valor Final
Bomba d'água de 1CV	1 unidade	R\$ 680	R\$ 680
Tubulação de Cobre de 1.2"	19 metros	R\$ 83	R\$ 1577
Joelho em Cobre	10 unidades	R\$ 14	R\$ 140

Fonte: Elaboração própria.

Foi realizada uma análise de sensibilidade a fim de averiguar diferentes cenários em relação ao impacto da taxa de juros nos indicadores econômicos. Essa verificação permitiu observar as consequências da alteração de uma variável, possibilitando avaliar os impactos finais em um determinado projeto, consequentemente, ajudando no processo de tomada de

decisão (BLANK e TARQUIN, 2008). Foram admitidas taxas de juros de 10%, 8% e 6% para avaliação dos projetos.

3.2.3 Dimensionamento do SAS

A NBR 15.569 normatiza Sistemas de Aquecimento Solar – SAS de coletores planos com ou sem reservatório de água, considerando desde seu dimensionamento até a sua manutenção (ABNT, 2008). Para o dimensionamento do SAS, é necessário seguir as seguintes etapas de: cálculo do volume demandado de água quente, volume necessário de armazenagem de água quente, demanda de energia útil e área coletora.

3.2.4 Radiação Solar

Para o cálculo da área coletora em m^2 , foram utilizados os valores da radiação global em kWh/m^2 e de temperatura compensada mensal em graus Celsius ($^{\circ}C$) em João Pessoa, além das cidades Areia, Monteiro e Sousa, tendo finalidade comparativa.

Os dados climáticos utilizados para dimensionamento neste trabalho foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e são referentes aos níveis de radiação solar global mensal em kWh/m^2 e de temperatura compensada mensal em graus Celsius ($^{\circ}C$). A radiação solar é gerada a partir da energia radiante do Sol e a temperatura compensada, leva em conta valores máximos e mínimos registrados no termômetro, verificadas nos horários de 12 e 24 *Coordinated Universal Time* – UTC, que representam o fuso horário de referência. As variáveis são dos municípios de João Pessoa (1) na mesorregião da Mata Paraibana, Areia (2) na mesorregião do Agreste Paraibano, Monteiro (3) na mesorregião da Borborema e São Gonçalo (distrito de Sousa) (4) na mesorregião do Sertão Paraibano, como mostra a Figura 3.1. Para a obtenção dos dados da radiação global mensal em kWh/m^2 , foi necessário transformar os dados em kJ/m^2 . Foram considerados os valores equivalentes ao horário das 6h às 18h, somando-os, e em seguida foi calculada a sua média mensal (BRASIL, 2015b).

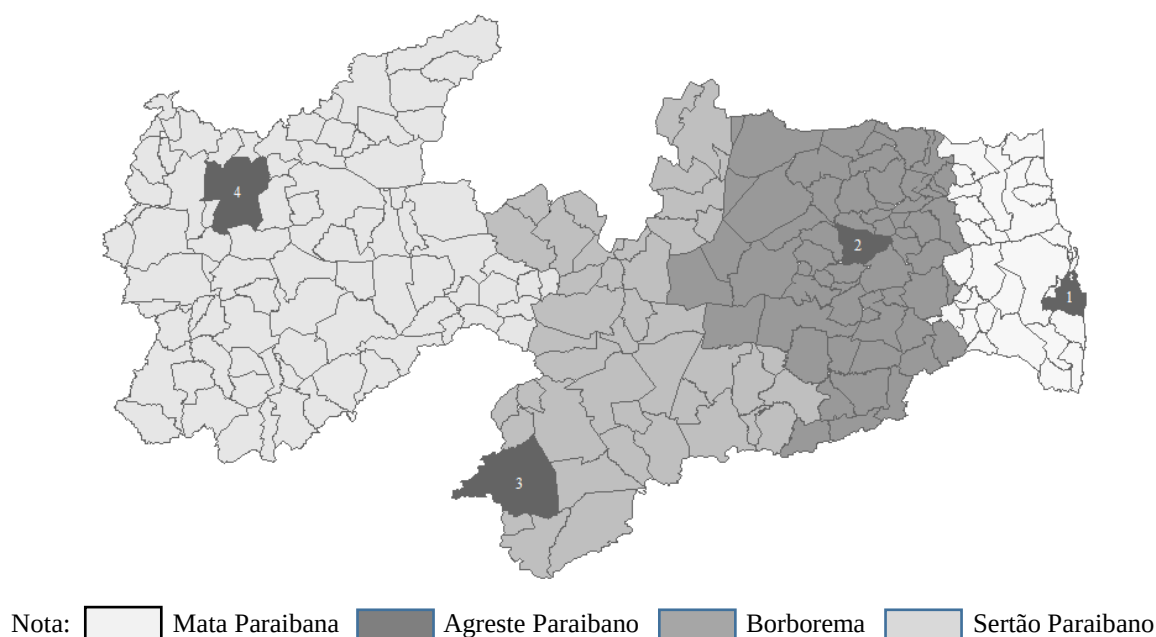


Figura 3.1. Estações Meteorológicas Convencionais e de Superfície Automáticas

Localizadas nas Cidades de João Pessoa (1), Areia (2), Monteiro (3) e Sousa (4).

Fonte: Elaboração própria.

No município de João Pessoa, os dados de radiação solar global mensal são monitorados pela estação meteorológica de superfície automática A320 e referem-se ao período que vai de julho de 2007 a setembro de 2015, com 99 observações e média de 5,70 kWh/m² (Figura 3.2.a). Os dados da temperatura compensada mensal são acompanhados pela estação meteorológica de observação de superfície convencional, e foram compostos de janeiro de 1991 a junho de 2015, com 290 observações e média de 26,9 °C (Figura 3.2.b). Essa estação apresenta o código da Organização Meteorológica Mundial – OMM: 82798 (BRASIL, 2015b).

Os dados de radiação solar global mensal do município de Areia foram acompanhados pela estação meteorológica de superfície automática A310, montados no período de abril de 2007 a setembro de 2015, com 126 observações e média de 4,60 kWh/m² (Figura 3.2.c). Os dados sobre a temperatura compensada mensal foram divulgados pela estação meteorológica de observação de superfície convencional de OMM: 82696, e se referem ao período de janeiro de 2002 a junho de 2015, com 160 observações e média de 22,4°C (Figura 3.2.d) (BRASIL, 2015b).

Para o município de Monteiro, os dados de radiação solar global mensal foram cedidos pela estação meteorológica de superfície automática A334, e formados no período

entre setembro de 2007 e setembro de 2015, apresentando 97 observações e média de 6,11 kWh/m² (Figura 3.2.e). A temperatura compensada mensal foi obtida através de acompanhamento da estação meteorológica de observação de superfície convencional OMM: 82792, no período de janeiro 1995 a junho de 2015, com 239 observações e média de 24,5 °C (Figura 3.2.f) (BRASIL, 2015b).

Os dados de radiação solar global mensal do distrito de São Gonçalo, no município de Sousa, foram obtidos através do acompanhamento da estação meteorológica de superfície automática A333, no período de dezembro de 2007 a setembro de 2015, com 94 observações e média de 6,20 kWh/m² (Figura 3.2.g). Os dados da temperatura foram fornecidos pela estação meteorológica de observação de superfície convencional OMM: 82689 e se referem ao período entre de janeiro de 2002 e junho de 2015, constando 143 observações e média de 26,5 °C (Figura 3.2.h) (BRASIL, 2015b).

O tratamento de dados foi feito utilizando o *software* R, auxiliado pelos pacotes (*package*) *zoo*. Os valores ausentes de radiação global mensal de acompanhamento das estações meteorológicas de superfície automática foram preenchidos para as quatro cidades (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

3.2.5 Cálculo do Volume de Consumo de Água Quente

A equação 1 descreve o volume de consumo de água quente em um determinado período. A variável $V_{consumo}$ representa o volume total de água quente consumido diariamente, expresso em metros cúbicos (m³). O Q_{pu} denota a vazão em metros cúbicos por segundo (m³/s) levando em conta, o ponto de consumo. A variável T_u é o tempo médio de utilização do ponto de consumo em segundos. Por fim, é feita a multiplicação pela frequência de uso do ponto de consumo de água quente (ABNT, 2008).

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times \text{frequência de uso}) \quad (1)$$

3.2.6 Cálculo do Sistema Armazenamento de Água Quente

O sistema de armazenagem permite estocar a energia captada com a finalidade de que ela seja utilizada posteriormente. O dimensionamento de sistemas de armazenamento de água quente é expresso pela equação 2. $V_{armaz.}$ define o volume de armazenamento do SAS em metros cúbicos (m^3). O $V_{consumo}$ representa o volume total de água quente consumido diariamente, expresso em metros cúbicos (m^3). Prioritariamente, o $V_{armaz.} \geq 75\%$ ao $V_{consumo}$. A variável $T_{consumo}$ descreve a temperatura de utilização em graus Celsius ($^{\circ}C$), já a variável $T_{ambiente}$, exprime a temperatura ambiente média anual, usada como referência para a instalação do SAS. O $T_{armaz.}$ define a temperatura de armazenamento da água em graus Celsius ($^{\circ}C$). É importante que o $T_{armaz.} \geq T_{consumo}$, no entanto, para valores de $T_{armaz.} > 60^{\circ}C$, é necessária a verificação da eficiência do coletor solar (ABNT, 2008).

$$V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz.} - T_{ambiente})} \quad (2)$$

3.2.7 Calculo da Demanda de Energia Útil

A equação 3 demonstra a energia necessária para atingir o nível de temperatura requerida. $E_{útil}$ representa a energia útil em kWh/dia. O $V_{armaz.}$ consiste no volume de armazenamento do SAS em metros cúbicos (m^3). É importante ressaltar que prioritariamente o $V_{armaz.} \geq 75\%$ ao $V_{consumo}$. O ρ descreve a massa específica da água (1.000) em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3). O calor específico da água é expresso pela variável C_p (4,18) em quilojoules por quilograma Kelvin (kJ/kg). $T_{ambiente}$ exprime a temperatura ambiente média anual em que o SAS será instalado. O $T_{armaz.}$ consiste na temperatura de armazenamento da água em graus Celsius ($^{\circ}C$). É importante que o $T_{armaz.} \geq T_{consumo}$ (ABNT, 2008).

$$E_{útil} = \frac{V_{armaz.} \times \rho \times C_p \times (T_{armaz.} - T_{ambiente})}{3600} \quad (3)$$

3.2.8 Cálculo da Área Coletora

A área coletora consiste no tamanho da região requerida para absorção de calor. Desta forma, $A_{coletora}$ representa a área coletora em metros quadrados (m^2). A irradiação global média anual do local de instalação do SAS é definida pela variável I_G kWh/ m^2 dia. $E_{útil}$ representa a energia útil em kWh/dia. E_{perdas} são as perdas térmicas em kWh/dia, podendo ser calculadas pela equação 5. O $PMDEE$ é a média diária de energia específica do coletor solar em kWh/ m^2 , podendo ser calculada pela equação 6. Nesta equação, a variável $Fr\tau\alpha$ é o coeficiente de ganho adimensional e Fr_{UL} , as perdas adimensionais do coletor solar (ABNT, 2008).

Ainda considerando a equação 4, a variável FC_{instal} é a correção para a inclinação e orientação do coletor solar, sendo calculada pela equação 7 (para $15^\circ < \beta < 90^\circ$). Assim, β representa a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal em graus ($^\circ$) e $\beta_{ótimo}$, a inclinação ótima do coletor para o local de instalação em graus ($^\circ$). Entende-se que devem ser adotados mais 10° para o valor de módulo da latitude local. Por fim, γ caracteriza o ângulo de orientação dos coletores em relação ao norte geográfico em graus ($^\circ$) (ABNT, 2008).

$$A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdas}) \times FC_{instal} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad (4)$$

$$E_{perdas} = 0,15 \times E_{útil} \quad (5)$$

$$PMDEE = 4,901 \times (Fr\tau\alpha - 0,0249 \times Fr_{UL}) \quad (6)$$

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (7)$$

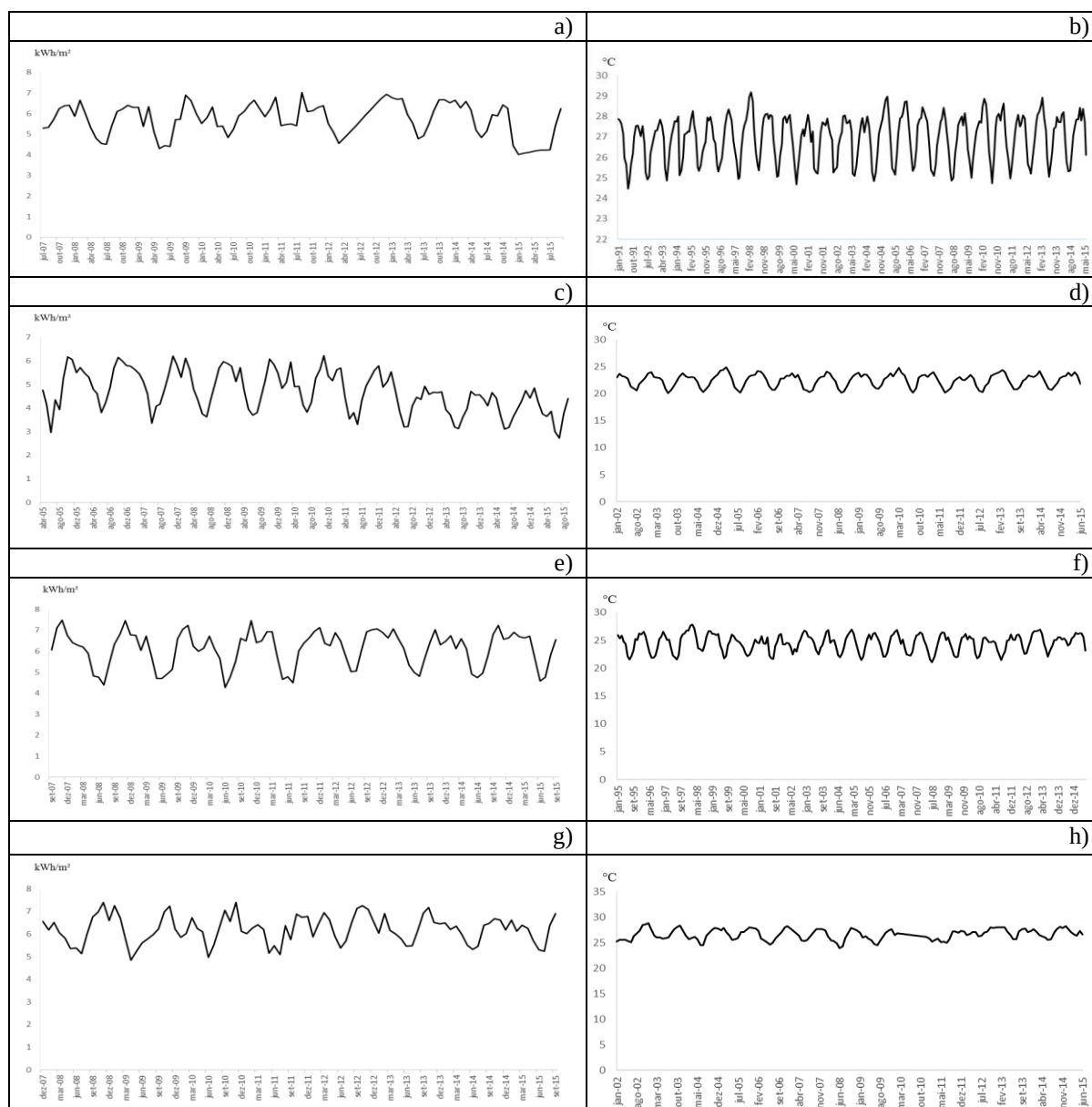


Figura 3.2. Radiação Solar Global Média de Julho de 2007 a Setembro de 2015 (a) e Temperatura Compensada de Janeiro de 1991 a Junho de 2015 (b) de João Pessoa. Radiação Solar Global Média de Abril de 2007 a Setembro de 2015 (c) e Temperatura Compensada de Janeiro de 2002 a Junho de 2015 (d) de Areia. Radiação Solar Global Média de Setembro de 2007 a Setembro de 2015 (e) e Temperatura Compensada de Janeiro 1995 a Junho de 2015 (f) de Monteiro. Radiação Solar Global Média de Dezembro de 2007 a Setembro de 2015 (g) e Temperatura Compensada de Janeiro de 2002 a Junho de 2015 (h) do Distrito de São Gonçalo em Sousa.

Fonte: Adaptado do INMET (BRASIL, 2015b).

3.2.9 Avaliação Econômica do Investimento

Segundo Rezende e Oliveira (2001), a avaliação econômica de um investimento consiste em comparar os custos e as receitas efetivamente ocorridas ao longo do tempo, sendo imprescindível analisar o comportamento das receitas obtidas, verificando se são superiores aos custos necessários à execução do projeto. Assim, podendo ser determinada a sua viabilidade econômica. Entretanto, a avaliação de um investimento deve ocorrer em um período pré-determinado, denominado horizonte de planejamento.

Para a análise dos custos dos projetos de investimento, é necessário o uso de alguns indicadores: Valor Presente dos Custos (VPC), Benefício (Custo) Periódico Equivalente (B(C)PE), *Levelized Cost Of Electricity* (LCOE), *payback* descontado e Custo Médio de Produção (CMeP).

O Valor Presente Líquido (VPL), também denominado como valor atual, é o indicador de seleção de projetos mais conhecido e utilizado. Para Rezende e Oliveira (2001), este método consiste fundamentalmente em descontar todos os custos e receitas incorridos ao longo do tempo para o período que vai de zero até uma determinada taxa de desconto. Neste critério, a viabilidade econômica é dada pela magnitude do VPL e, portanto, quanto maior, mais rentável é o projeto. Em contrapartida, se o VPL for negativo, será inviável a realização do investimento. O cálculo do VPL é exposto na equação 8, que deve ser aplicada quando os custos ocorrem apenas no ano zero. Assim, temos que o R_j corresponde à receita no final do ano j , C_j representa o custo no final do ano j , C_0 caracteriza o custo inicial do investimento, i a taxa de juros e n , o tempo de duração do projeto.

Neste trabalho foi utilizado o Valor Presente dos Custos – VPC, que consiste no C_j , como mostra a equação 9, já que o objetivo deste artigo é a minimização dos custos da empresa em análise.

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^j - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^j \quad (8)$$

$$VPC = \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^j \quad (9)$$

O Benefício (Custo) Periódico Equivalente – B(C)PE, consiste no valor periódico e constante para pagamento em relação a uma parcela referente ao VPL de um investimento, assim, considerando sua vida útil e possibilitando a comparação entre diferentes projetos. A equação 10 expõe o cálculo do B(C)PE, em que o VPL é multiplicado por uma taxa de desconto (i) e n representa o número de anos do tempo de vida útil do projeto (SILVA, 1992; REDEZEN e OLIVEIRA, 1993; LIMA JÚNIOR, 1995). Considerando que se pretende analisar a alternativa de menor custo, admitiu-se o VPC no lugar do VPL, selecionando o projeto com o menor valor, como mostra a equação 11. Como resultado, é obtido o custo anual equivalente, fazendo a seleção do menor custo para os resultados esperados.

$$B(C)PE = VPL \times \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad (10)$$

$$B(C)PE = VPC \times \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad (11)$$

Para verificação dos custos de geração de um determinado sistema, é analisado o *Levelized Cost Of Electricity* – LCOE. Esse indicador consiste em uma ferramenta de comparação de custos unitários de diversas tecnologias para geração de fontes energéticas, considerando sua vida útil. O LCOE considera o custo de produção verificando por meio da taxa de desconto, refletindo a taxa de retorno de capital ao investidor. A equação 12 representa o cálculo do LCOE, em que o I_t é o investimento no ano t , o M_t representa o gasto com manutenção e operações no ano t , o F_t são os gastos com combustíveis no ano t , o E_t é a geração de eletricidade no ano t , r representa a taxa de desconto e n a vida útil do sistema (IEA e NEA, 2010).

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (12)$$

Para verificação do tempo de retorno do investimento, foi utilizado o *payback* descontado. Este método consiste em demonstrar os períodos necessários para um determinado capital inicialmente investido ser recuperado, isso por meio da verificação do

fluxo de caixa descontado a uma taxa, como mostra a equação 13. O valor presente (V_p) é igual ao valor futuro em um determinado tempo (F_t) dividido por uma taxa de custo de capital (i) no tempo (t) (LEMES, CHEROBIM, e RIGO, 2010). Neste artigo, foram utilizados como entradas do fluxo de caixa, os valores referentes a uma economia do consumo do GLP em 50%, 40% e 30% a.a., sendo descontados a uma taxa de 10% a.a. de custo de capital. Considerando que a empresa estaria abrindo mão de parte do consumo do GLP na etapa de aquecimento do processo de pasteurização através do queimador atmosférico em relação ao investimento no SAS.

$$V_p = \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (13)$$

Os níveis de produção de sorvete e picolé foram comparados com os custos por meio do Custo Médio de Produção (CMeP). O CMeP considera o custo total de produção em relação as quantidades produzidas, como exposto na equação 14. O custo total para produzir a quantidade (C) é dividido pelo total produzido (q), resultando no custo por unidade produzida em um determinado período (VARIAN, 2006; GUIMARÃES e GONÇALVES, 2010; PINDYCK e RUBINFELD 2010). Os valores foram descontados obedecendo uma taxa de 10% a.a para os custos de produção, considerando o projeto de implantação do sistema de aquecimento via queimador atmosférico e do SAS. Foi admitida uma produção média anual de 425.628 unidades de sorvetes e 819.258 unidades de picolé entre os anos de 2013 e 2014, estes valores também foram descontados.

$$CMeP = \frac{C(q)}{q} \quad (13)$$

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Dimensionamento do SAS

A Tabela 3.5 demonstra o consumo do GLP (kg), preço (R\$/kg) e total pago (R\$) pelo uso do atual queimador atmosférico de passagem pela empresa para o processo de aquecimento na pasteurização, entre fevereiro de 2013 a maio de 2015. Foi verificado que

o consumo de GLP não apresenta periodicidade mensal entre os anos, impactando no total pago. A média mensal de consumo do GLP foi de 171 kg, com um preço médio de R\$ 5,39 e um valor médio pago de R\$ 924,60.

Nos meses de maior consumo do processo produtivo de pasteurização, o aquecimento é utilizado por 48 horas mensais. Para os meses de menor consumo, o processo é utilizado em torno de 20 horas mensais, fornecendo uma média de 34 horas mensais de operação da etapa de aquecimento no processo de pasteurização via queimador atmosférico.

A Tabela 3.6 apresenta os resultados obtidos a partir do cálculo do volume total de água quente para o dimensionamento do SAS. O uso por 2h diárias da etapa de aquecimento no processo de pasteurização requer 370 litros de água e por 3h, requer 555 litros de água.

A Tabela 3.7 apresenta o dimensionamento da área coletora, expressa em m^2 , para as cidades de João Pessoa, Areia, Monteiro e Sousa. Foi verificado que para um sistema com utilização de 400 litros de água a uma temperatura de $80^{\circ}C$ e tempo médio diário de uso de 2 horas, todas as cidades demonstraram uma área coletora de $7 m^2$ para a marca de coletor C, equivalente a 7 unidades de placas solares de $1m^2$. Em relação aos coletores de $2m^2$, a cidade de Sousa apresentou a menor quantidade de área coletora, com $6 m^2$, o que equivale a 3 coletores solares da marca C. Esse resultado pode ser impulsionado pela forte incidência de radiação solar na região e pelos coeficientes de eficiência dos coletores da Marca C.

Para o uso de 600 litros de água a uma temperatura de $80^{\circ}C$ e tempo médio de 3h diárias, a cidade de Sousa também apresentou uma menor área coletora útil, com $10 m^2$ e 10 unidades de coletores solares da marca C. Considerando os coletores de $2m^2$, as cidades de Monteiro e Sousa exibiram uma menor área coletora, com $10 m^2$ e 5 unidades de coletores solares da marca C.

Tabela 3.5. Consumo do GLP (kg), Preço (R\$/kg) e Total Pago (R\$) entre Fevereiro de 2013 a Maio de 2015.

Ano	Qde (kg)	Valor Und. (R\$/kg)	Valor Total (R\$)
2013			
Fevereiro	230	R\$ 5,05	R\$ 1.161,50
Abril	195	R\$ 5,05	R\$ 984,75
Junho	124	R\$ 5,16	R\$ 639,84
Julho	176	R\$ 5,16	R\$ 908,16
Agosto	140	R\$ 5,16	R\$ 722,40
Setembro	193	R\$ 5,27	R\$ 1.017,11
Outubro	191	R\$ 5,28	R\$ 1.008,48
Novembro	306	R\$ 5,29	R\$ 1.618,74
Dezembro	104	R\$ 5,29	R\$ 550,16
2014			
Janeiro	356	R\$ 5,30	R\$ 1.886,80
Fevereiro	122	R\$ 5,30	R\$ 646,60
Março	94	R\$ 5,30	R\$ 498,20
Abril	177	R\$ 5,41	R\$ 957,57
Junho	100	R\$ 5,41	R\$ 541,00
Julho	136	R\$ 5,41	R\$ 735,76
Agosto	177	R\$ 5,41	R\$ 957,57
Setembro	87	R\$ 5,41	R\$ 470,67
Dezembro	94	R\$ 5,45	R\$ 512,30
2015			
Fevereiro	173	R\$ 6,00	R\$ 1.038,00
Março	258	R\$ 6,00	R\$ 1.548,00
Maio	168	R\$ 6,03	R\$ 1.013,04
Total	3601		R\$ 19.416,65
Média	171	R\$ 5,39	R\$ 924,60

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3.6. Volume Total de Água Quente Dimensionado para o SAS.

Variáveis	Para 2 horas	Para 3 horas
Volume Total de Água Quente	370	555
Temperatura de Consumo	80	80
Temperatura de Armazenamento	80	80

Fonte: Elaboração própria.

Para os dados de radiação solar mensal e temperatura compensada mensal de João Pessoa, os coletores da marca C despontaram maior eficiência quanto ao uso de 400 litros e 600 litros de água quente a 80°C.

Tabela 3.7. Dimensionamento da Área Coletora Expressa em m², para as Cidades de João Pessoa, Areia, Monteiro e Sousa.

Cidade	Coletores (Unidades)			
	Para 400 litros		Para 600 litros	
	1m ²	2m ²	1m ²	2m ²
João Pessoa				
Marca A	8	4	12	6
Marca B	8	4	11	6
Marca C	7	4	11	6
Areia				
Marca A	10	5	16	8
Marca B	10	5	15	8
Marca C	10	5	15	7
Monteiro				
Marca A	8	4	11	6
Marca B	7	4	11	6
Marca C	7	4	11	5
Sousa				
Marca A	7	4	11	5
Marca B	7	4	11	5
Marca C	7	3	10	5

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3.8 demonstra o valor total necessário para implantação do SAS para utilização de 400 litros e 600 litros de água quente por dia, a 80°C, considerando os dados relativos à radiação solar global mensal e à temperatura compensada mensal em João Pessoa. Apesar dos coletores das marcas B e C fornecerem melhor eficiência na absorção da radiação solar em João Pessoa, o coletor da marca A apresenta menor custo.

3.3.2 Avaliação de Investimento

A Tabela 3.9 demonstra o resultado para o VPC, B (C) PE e LCOE em relação aos custos do projeto do sistema de aquecimento por meio queimador atmosférico de passagem à GLP no processo de pasteurização. Nessa análise, foi admitida uma taxa de juros de 10% a.a. Após 10 anos, o VPC seria de R\$ 171.875 e B(C)PE de R\$ 27.972 e um LCOE de R\$ 1,20 por kWh.

Tabela 3.8. Valor do SAS para o Volume de Água Quente e Área Coletora Dimensionada para a Empresa em Estudo em João Pessoa.

Investimento	Valor			
	400 l		600 l	
	1m ²	2m ²	1m ²	2m ²
Placas Solares (Marca A)	R\$ 3.720	R\$ 3.312	R\$ 5.580	R\$ 4.968
Placas Solares (Marca B)	R\$ 4.408	R\$ 4.296	R\$ 6.061	R\$ 6.444
Placas Solares (Marca C)	R\$ 3.773	R\$ 3.872	R\$ 5.929	R\$ 5.808
Boiler	R\$ 1.978		R\$ 2.485	
Instalação			R\$ 1.000	
Limpeza (anual)			R\$ 250	

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3.10 mostra os resultados para o VPC, B (C) PE e LCOE do SAS para as marcas de coletores solares A, B e C a uma taxa de juros de 10% a.a. Ao final de 10 anos, o menor VPC será apresentado pelo SAS da marca de coletores A, com R\$ 15.233, B (C) PE de R\$ 2.479 e um valor de produção de R\$ 0,13 por kWh. Seguido pelo SAS de coletores da marca C, que obteve um VPC de R\$ 16.073, B (C) PE de R\$ 2.615 e LCOE de R\$ 0,14 por kWh. Já o SAS via modelo B de coletores, apresentou um VPC de R\$ 16.709, B (C) PE de R\$ 2.719 e LCOE de R\$ 0,14 por kWh.

3.3.3 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade para a variação de taxa de juros é exposta na Tabela 3.11. O SAS, com o modelo A de coletores, apresenta menores custos ao longo de 10 anos, tanto para uma taxa de juros de 10%, 8% e 6% ao ano. No entanto, a uma taxa de juros de 6% a.a., o SAS com modelo C de coletores, apresenta resultados semelhantes para o LCOE, se comparado ao modelo A. Ambos despontam um custo de R\$ 0,12 para produção de cada kWh no período de 10 anos. Para o sistema de aquecimento via queimador atmosférico, caso a taxa de juros passe de 10% a.a para 6% a.a, ocorrerá um abatimento de R\$ 0,35 no valor de produção de cada kWh, equivalente a uma redução de 29%. Já o VPC e B(C)PE, seriam afetados por uma redução aproximada de 18% e 31%, respectivamente.

Tabela 3.9. Resultados do VPC, B (C) PE e LCOE para o Investimento no Queimador Atmosférico de Passagem à GLP.

VPC	(R\$ 171.875,00)
B (C) PE	(R\$ 27.972,00)
LCOE (kWh)	(R\$ 1,20)

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3.5 exibe os efeitos de uma redução do consumo do GLP pelo uso do sistema de aquecimento do processo de pasteurização via queimador atmosférico. Sendo utilizado o *payback* descontado a uma taxa de 10% a.a, permitindo verificar os retornos relacionados ao SAS em João Pessoa, que conseguiu ser subsidiado pela redução do consumo. Desta forma, caso a empresa opte em reduzir em 30% o consumo do GLP e investir no SAS com coletores da marca A para suprir essa redução, serão necessários 6 anos, 4 meses e 25 dias para que seja retornado o investimento inicial. Para uma redução de 40% serão necessários 3 anos e 3 meses para o investimento ser compensado. E para uma diminuição de 50%, os retornos do investimento inicial se dariam por completo em 2 anos, 5 meses e 20 dias. A utilização de um sistema misto pode compensar uma redução no consumo do GLP, isso viabilizaria o investimento no SAS. Com isso, também seria possível reduzir os efeitos de períodos com menor radiação solar, não comprometendo o processo produtivo.

Tabela 3.10. Resultados do VPC, B (C) PE e LCOE para o Investimento no SAS das Marcas de Coletores Solares A, B e C.

Modelos	VPC	B (C) PE	LCOE (kWh)
A	(R\$ 15.233)	(R\$ 2.479)	(R\$ 0,13)
B	(R\$ 16.709)	(R\$ 2.719)	(R\$ 0,14)
C	(R\$ 16.073)	(R\$ 2.615)	(R\$ 0,14)

Fonte: Elaboração própria.

O CMeP de sorvete e picolé por meio do GLP e SAS é exposto na Figura 3.6. Os valores de produção unitária de sorvete e picolé são inferiores para o uso SAS no aquecimento no processo de pasteurização. A participação do sistema de aquecimento via GLP teria uma maior contribuição nos custos unitários de produção. Desta forma, o CMeP para o SAS apresenta uma vantagem em média de 71% em relação uma unidade produzida pelo queimador atmosférico via GLP. No entanto, ao longo de 10 anos, o custo de

produção de sorvete e picolé para os sistemas de uso de GLP e energia solar seriam reduzidos gradativamente.

Tabela 3.11. Análise de Sensibilidade para a Variação de Taxa de Juros do Investimento no SAS com o Modelo A de Coletores.

Taxa de Juros	Indicadores	Queimador Atmosférico	SAS		
			Modelo A	Modelo B	Modelo C
10%	VPC	R\$ 171.875	R\$ 15.233	R\$ 16.709	R\$ 16.073
	B(C)PE	R\$ 27.972	R\$ 2.479	R\$ 2.719	R\$ 2.615
	LCOE (kWh)	R\$ 1,20	R\$ 0,13	R\$ 0,14	R\$ 0,14
8%	VPC	R\$ 155.112	R\$ 14.761	R\$ 16.237	R\$ 15.601
	B(C)PE	R\$ 23.116,24	R\$ 2.199	R\$ 2.419	R\$ 2.325
	LCOE (kWh)	R\$ 1,01	R\$ 0,13	R\$ 0,14	R\$ 0,13
6%	VPC	R\$ 140.231	R\$ 14.342	R\$ 15.818	R\$ 15.182
	B(C)PE	R\$ 19.053	R\$ 1.948	R\$ 2.149	R\$ 2.062
	LCOE (kWh)	R\$ 0,85	R\$ 0,12	R\$ 0,13	R\$ 0,12

Fonte: Elaboração própria.

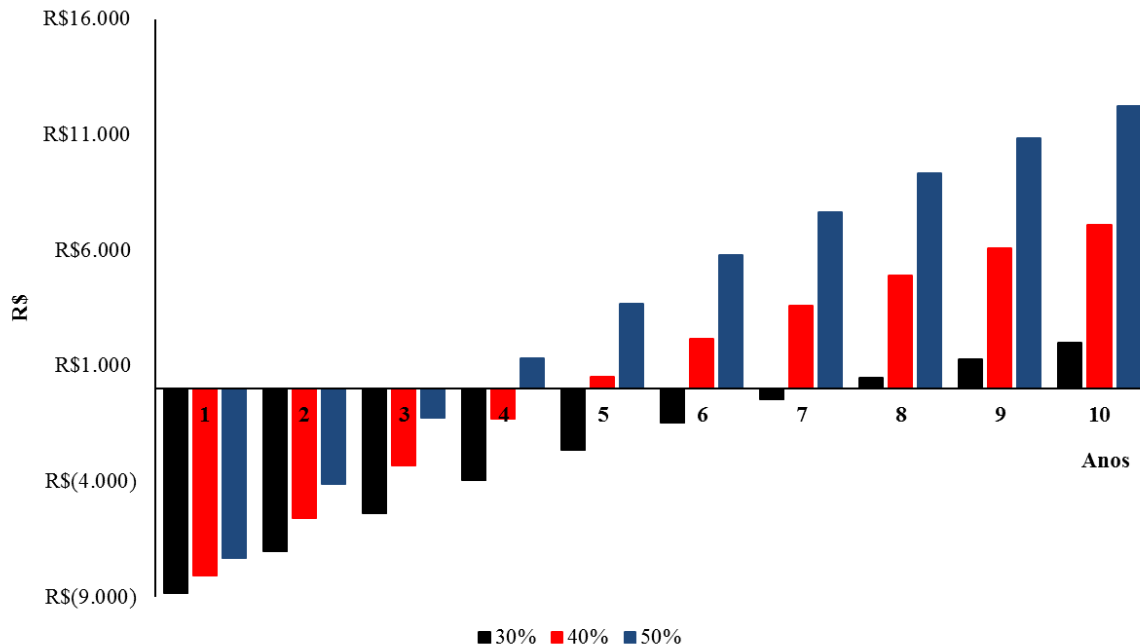


Figura 3.5. Payback Descontado do Investimento no SAS Dado uma Redução do Consumo do GLP

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3.7 representa a comparação entre o VPC de implantação do SAS com uso dos coletores solares de modelos A, B e C entre as cidades de João Pessoa, Areia,

Monteiro e Sousa; considerando a média mensal de radiação solar global e de temperatura compensada de cada cidade e uma taxa de juros de 10% a.a. A cidade de Sousa aparentou o menor custo de implantação do SAS com uso de qualquer um dos modelos de coletores solares, seguida de Monteiro, João Pessoa e Areia. Foi possível observar que os altos índices médios mensais de radiação global e de temperatura compensada tiveram influência no dimensionamento do sistema, ou seja, com uma menor área coletora os custos também são inferiores, o contrário é igualmente verdadeiro.

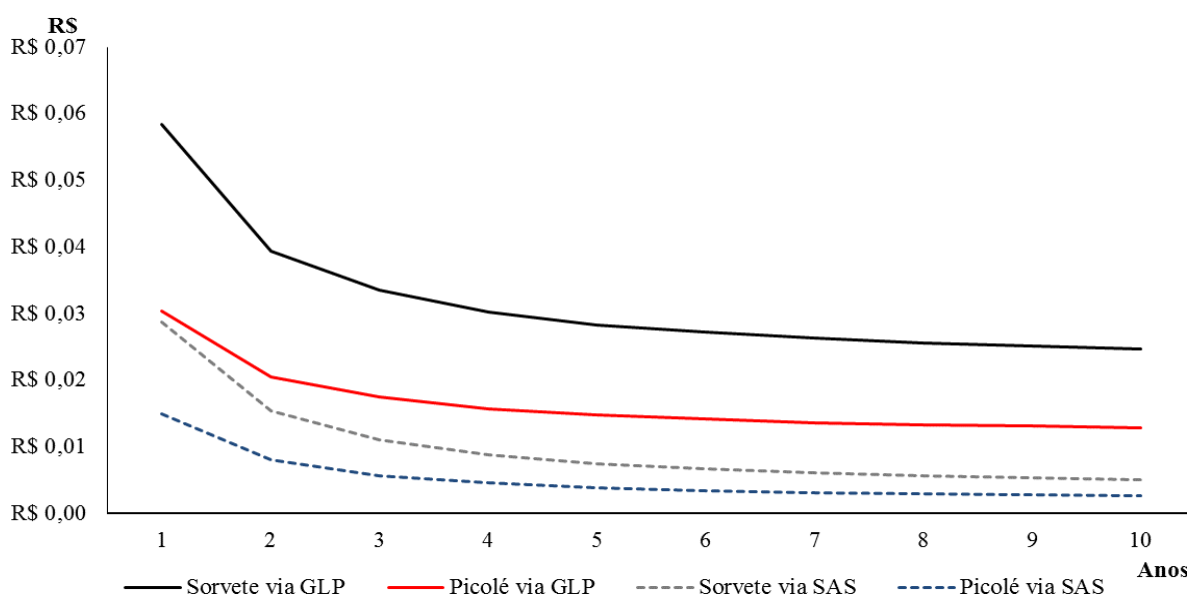


Figura 3.6. CMeP de Sorvete e Picolé por Meio do GLP e SAS.

Fonte: Elaboração própria.

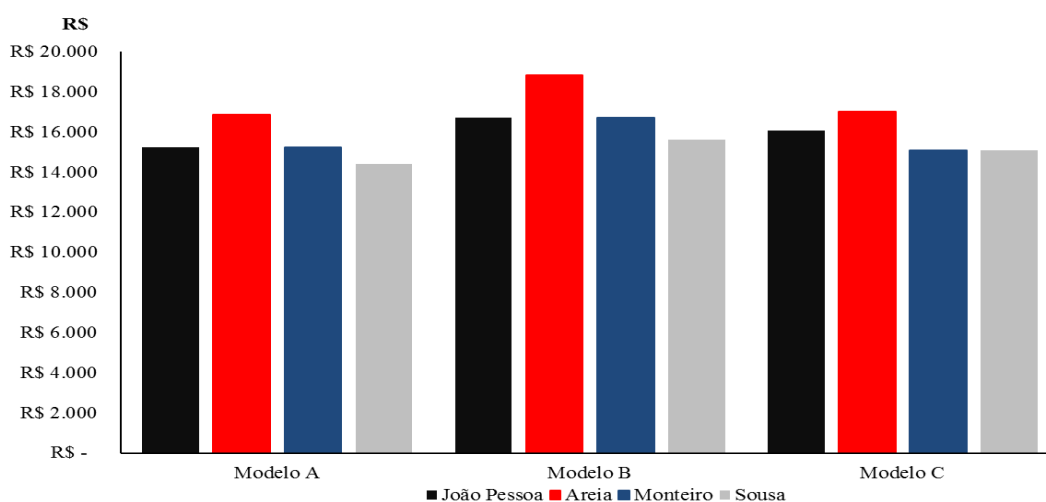


Figura 3.7. Comparação entre o VPC de Implantação do SAS com uso dos Coletores Solares de Modelos A, B e C entre as Cidades de João Pessoa, Areia, Monteiro e Sousa.

Fonte: Elaboração própria.

Os valores do LCOE para uma taxa de juros de 10% a.a. em relação à operacionalização dos SAS entre as cidades estudadas, são expostos na Figura 3.8. A cidade de Areia demonstrou os menores valores para a produção de energia proveniente do SAS em kWh, seguida de João Pessoa, Monteiro e Sousa, esse fato é justificado pelo tamanho do SAS dimensionado. Podemos entender, então, que devido aos menores índices de radiação global e temperatura compensada, foi necessária uma maior área coletora e, consequentemente, um sistema com elevado potencial de captação de energia, reduzindo o valor do kWh produzido, apesar do VPC ser mais elevado.

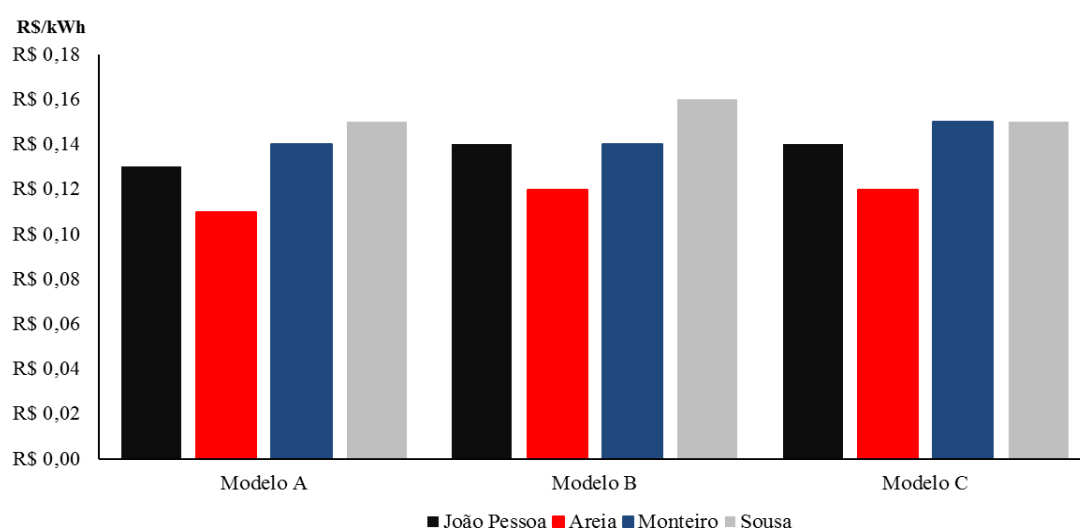


Figura 3.8. Comparação entre o LCOE em Relação a Operacionalização dos SAS entre as Cidades de João Pessoa, Areia, Monteiro e Sousa.

Fonte: Elaboração própria.

3.4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados e análises realizadas, foi possível chegar às seguintes conclusões:

O uso do SAS na etapa de aquecimento do processo de pasteurização nas empresas de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa é viável tecnicamente e economicamente.

O investimento no SAS é menor, se comparado com a instalação do queimador atmosférico de passagem à GLP, considerando uma vida útil de 10 anos.

O coletor solar de marca A apresentou os melhores resultados para os indicadores de VPC, B (C) PE e LCOE para instalação do SAS em João Pessoa.

Para o VPC e B (C) PE, o SAS com uso do coletor solar de marca A obteve aproximadamente 91% menor valor em relação ao sistema de aquecimento via queimador atmosférico de passagem à GLP, para o município de João Pessoa.

O LCOE foi cerca de 89% menor para produção de cada kWh em João Pessoa em um horizonte de 10 anos comparando o SAS ao queimador atmosférico.

Caso a empresa reduza em 50% o consumo do GLP e reinvesta na aquisição do SAS para o uso misto no processo de aquecimento do processo de pasteurização, os retornos se darão por completo em 2 anos, 5 meses e 20 dias, considerando o *payback* descontado.

Os menores custos da produção unitária de sorvete e picolé foram apresentados para o investimento no SAS, sendo inferiores em 71% em média, se comparado ao queimador atmosférico de passagem à GLP, considerando o CMeP.

Em relação ao VPC, a cidade de Sousa no Sertão Paraibano exibiu os menores custos de implantação do SAS, em decorrência dos seus altos índices de radiação solar global e de temperatura compensada. Já a cidade de Areia, no Agreste Paraibano, despontou os maiores custos de implantação de um SAS, pelos seus baixos índices radiação e temperatura.

O menor LCOE para produção de cada kWh por meio do SAS foi apresentado pela cidade de Areia, seguidamente de João Pessoa, Monteiro e Sousa. Isso por apresentar baixos índices de radiação solar global e temperatura compensada, sendo assim, necessário um SAS com maior capacidade de produção de energia.

3.5 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15569**: sistema de aquecimento solar de água em circuito elétrico direto: projeto e instalação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AL-SALAYMEH, A.; AL-RAWABDEH, I.; EMRAN, S. Economical investigation of an integrated boiler–solar energy saving system in Jordan. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 8, p. 1621-1628, 2010.

BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica**. 6ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 267. **Regulamento técnico de boas práticas de fabricação para estabelecimentos**

industrializadores de gelados comestíveis. Brasília, 2003. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/9f880600474595599d2edd3fbc4c6735/RDC_267_2003.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 09 out. 2015.

_____. INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Acesso em 10 set. 2015a.

_____. INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações e dados.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> .Acesso em 01 set. 2015b.

DASOL - Departamento Nacional de Aquecimento Solar. **Dados de mercado.** Disponível em : < <http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/> >. Acesso em 19 jan. 2016.

DGGE – Direção Geral de Geologia e Energia. **Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial.** Lisboa, 2004.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional 2015: ano base 2014.** Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em 9 nov. 2015.

GOMES, I. M. **Manual como elaborar uma pesquisa de mercado.** Belo Horizonte: SEBRAE/MG, 2013.

GUIMARÃES, B.; GONÇALVES, C. E. S. **Introdução à economia.** São Paulo: Elsevier, 2010.

IEA - International Energy Agency; NEA - Nuclear Energy Agency. **Projected costs of generating electricity: 2010.** OECD/IEA, 2010.

LEMES, A. B. J.; CHEROBIM, A. P. M. S.; RIGO, C. M. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras.** 2010.

LIMA JÚNIOR, V. B. Determinação da taxa de desconto para uso na avaliação de projetos de investimentos florestais. **Sc. Tesis. Imprensa Universitária. Viçosa, Brasil,** 1995.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. **Solar Energy**, v. 81, n. 4, p. 517-528, 2007.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia.** 7ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D de. Avaliação de projetos florestais. **Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária,** p. 47, 1993.

_____. **Análise econômica e social de projetos florestais.** Viçosa: UFV, 2001.

SCHWEIGER, H. et al. **The Potential of Solar Heat in Industrial Processes**. Denmark: Copenhagen, 2000.

SILVA, R. P. **Simulação e avaliação econômica de um programa plurianual de reflorestamento para fins de planejamento da empresa florestal**. Viçosa: UFV, 1992. 56p.. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1992.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **Software for computing and graphics**. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 25 out. 2015.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: princípios básicos**. 7^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

4 ARTIGO 3 - ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL EM UM PROCESSO DE PASTEURIZAÇÃO DE UMA EMPRESA DE SORVETES EM JOÃO PESSOA

RESUMO

Houve uma elevada demanda mundial por combustíveis fósseis para a geração de energia a partir da revolução industrial e isso contribuiu para o aumento nos níveis de emissão de CO₂ ao longo dos anos. O aproveitamento da energia solar para processos de calor na indústria surgiu como uma alternativa para substituição do uso dos combustíveis fósseis, minimizando os níveis de emissão de CO₂, que consiste em um importante gás contribuinte para o efeito estufa. Este estudo verificou por meio da Avaliação de Ciclo de Vida, os impactos ambientais associados ao processo de pasteurização em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa, comparando a substituição do queimador atmosférico de gás liquefeito de petróleo (GLP) por um Sistema de Aquecimento Solar. Utilizou-se o software SimaPro® para o processamento dos dados coletados em análise, com método de avaliação de impacto ambiental escolhido IPCC 2013 GWP 100a. O Sistema de Aquecimento Solar proporcionou menores impactos relativos aos níveis de emissão de CO₂-eq na atmosfera em comparação ao queimador atmosférico de GLP.

Palavras-chave: avaliação de ciclo de vida, impactos ambientais, energia solar, indústria alimentícia, sistema de aquecimento solar.

**ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSOCIATED WITH FUEL
REPLACEMENT IN PASTEURIZATION PROCESS IN AN ICE CREAM
COMPANY IN JOÃO PESSOA**

ABSTRACT

There was a high world demand for fossil fuels for a generation of energy since industrial revolution, and this contribute for the increased of the CO₂ levels during the years. The harnessing of the solar energy to solar process heat in industry emerged as alternative to replace the use of fossil fuels, minimizing the levels of CO₂ emission, which is an important gas that contribute for the greenhouse effect. This study verifies by a life cycle assessment the environment impacts associated to the process of pasteurization in a company of ice cream manufacture and other edible ice cream in João Pessoa, comparing to replacement of the atmospheric liquefied petroleum gas (LPG) burner for a solar heating system. It was used the SimaPro® software for the processing of the collected data, and the method of environmental impact evaluation selected was IPCC 2013 GWP 100a. The Solar heating systems provides less impacts concerning to CO₂-eq emission levels in the atmosphere comparing to LPG atmospheric burner.

Keywords: life cycle assessment, environmental impacts, solar energy, food industry, solar heating system.

4.1 INTRODUÇÃO

Houve uma elevada demanda mundial por combustíveis fósseis para a geração de energia a partir da revolução industrial, isso contribuiu para o aumento nos níveis de emissão de CO₂ ao longo dos anos (IEA, 2014a). Em 2012, a matriz mundial de fontes de energia primária alcançou 81,7% de combustíveis fósseis, que incluem o petróleo com 31,4%, carvão mineral com 29% e o gás natural com 21,3%. Os Estados Unidos, a Rússia e a Índia alcançaram o posto de maiores importadores de petróleo bruto e a Rússia, o Japão e a Índia foram os maiores importadores de carvão mineral. O Japão, a Alemanha e a Itália aparecem como os maiores demandantes de gás natural mundial (IEA, 2014b).

Em 2014, o Brasil obteve 55,5% de toda produção de energia primária oriunda de combustíveis fósseis, como o petróleo (42,8%), o gás natural (11,6%) e o carvão mineral (1,1%). Considerando o período de 2013 a 2014, o País alcançou um incremento de 11,4% na produção de petróleo, 13,2% na produção de gás natural e uma redução de 7,7% na produção de carvão mineral (EPE, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA (2015), uma alternativa para o uso de combustíveis fósseis é o aproveitamento da energia solar para redução de custos e impactos ambientais em empresas. Em 2013, apenas 3% das vendas de Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) foram destinadas a aplicações industriais no Brasil. Em 2014, essa porcentagem subiu para 17%, sendo a maior participação das vendas no segmento residencial (51%), seguido dos programas habitacionais (16%) e do comércio e serviço (16%) (ABRAVA, 2015).

A *International Energy Agency* (IEA) (2013) afirma que o uso de SAS representa maior economia em termos equivalentes de petróleo e dióxido de carbono (CO₂). Corroborando esta afirmação, Schnitzer, Brunner e Gwehenberger (2006) mostram que o aproveitamento da energia solar para processos de calor na indústria substitui o uso de fontes de energia fósseis, minimizando os níveis de emissão de CO₂, que é um dos compostos químicos que mais contribuem para o efeito estufa.

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é utilizada para avaliar os impactos ambientais (*e.g.*, níveis de emissão de CO₂) de um processo, produto, bem ou serviço e consiste em uma ferramenta analítica de gestão ambiental que analisa desde a aquisição de matéria-prima até a sua fabricação, utilização, manutenção e o seu destino final. A ACV trabalha em várias categorias de impactos ambientais, sejam elas relativas à saúde humana, aos

recursos naturais e/ou consequências ecológicas (FERREIRA, 2004). A ACV identifica os impactos referentes à produção e uso de um produto, mostra alternativas para um melhor desempenho ambiental, podendo influenciar na tomada de decisões para escolha de produtos e processos, resultando em um menor impacto ambiental (MACHADO, 2011; CARVALHO; FREIRE; MAGNO, 2015; FREIRE *et al.*, 2015; MEDEIROS; CARVALHO; FREIRE, 2015).

A gestão sustentável pode ser aplicável às empresas de fabricação de sorvete e outros gelados comestíveis, por apresentar relevância para a indústria de transformação no Brasil. Em 2013, essas empresas representaram 6,31% do setor alimentício, considerado a quarta maior atividade industrial (BRASIL, 2015). Em 2014, a produção foi de 1.188 bilhões de litros de sorvetes, com um crescimento de 10,6% em relação ao ano anterior e o consumo *per capita* passou de 5,4 litros por habitante, em 2013, para 5,9 em 2014, representando um crescimento anual de 9,3% (Indústria Alimentar de Congelados, Supercongelados, Sorvetes, Concentrados e Liofilizados no Estado de São Paulo – SICONGEL, 2015). O faturamento nacional das empresas de sorvetes passou de R\$ 9.813 bilhões em 2013, para R\$ 11.820 bilhões em 2014, um incremento anual de 20,5% (SICONGEL, 2015).

Em 2012, o Brasil contava com 2.728 empresas de fabricação de sorvete e outros gelados comestíveis ativas e em 2013, esse número passou para 2.764 empresas, evidenciando um crescimento de 1,30%. Em 2012, o quantitativo de funcionários foi de 21.805 e em 2013, a quantidade de colaboradores passou para 23.826, representando um crescimento de 8,5%. Do total dessas empresas em 2013, 54,16% (1.497) apresentaram entre 1 a 4 funcionários, 19,32% (534) entre 5 a 9 e 9,73% (269) entre 10 a 19 colaboradores (BRASIL, 2015).

Na Paraíba, houve um aumento de 15,4% no número de empresas de fabricação de sorvete e outros gelados comestíveis ativas, passando de 33 empresas, em 2012, para 39, em 2013 e ocupando a terceira posição no setor alimentício do estado com participação de 4,7%. Entre 2012 e 2013, o número de empregados cresceu 16,8% nas empresas de fabricação de sorvete e outros gelados comestíveis, passando de 306 para 368 funcionários. Do total de empresas de fabricação de sorvete e outros gelados comestíveis na Paraíba, 56,41% (22) possuem entre 1 a 4 funcionários, 17,95% (7) entre 5 a 9 e 10,26% (4) entre 10 a 19 colaboradores (BRASIL, 2015).

Entre os processos industriais utilizados pelas empresas de fabricação de sorvete e outros gelados comestíveis, está o de pasteurização. De acordo com a resolução RDC 267

de 25 de setembro de 2003, os produtos gelados comestíveis à base de leite e/ou ovos devem passar pelo processo de pasteurização por meio de tratamento térmico (aquecimento e resfriamento) por tempo determinado (BRASIL, 2003). Esse processo geralmente utiliza combustíveis fósseis como o Gás Liquefeito de Petróleo – GLP e o gás natural, que contribuem para o aumento dos níveis de emissão de CO₂.

Desta forma, fazendo uso da Avaliação de Ciclo de Vida, este artigo estudou os impactos ambientais associados ao processo de pasteurização em uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis em João Pessoa, comparando a substituição do queimador atmosférico de GLP por um Sistema de Aquecimento Solar.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização do Caso de Estudo

Este é um estudo de caso de uma empresa de fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis localizada em João Pessoa, Paraíba, Brasil. A empresa foi criada no ano 2000, e em 2015 possuía 20 funcionários (8 na produção, 2 no administrativo e 10 divididos entre auxiliares, vendedores e cozinheiros), considerada uma microempresa. Os produtos comercializados pela empresa são picolé, açaí e sorvete.

As informações relativas aos recursos, materiais e energia consumidos foram obtidas por meio de visitas técnicas à empresa e entrevistas com os diretores, visando observar o modelo organizacional e as etapas de produção no mês de junho de 2015.

Para a elaboração e o levantamento das informações referentes ao processo produtivo do sorvete, foi tomado como base, o processo de fabricação indicado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2012), em que os principais equipamentos para a instalação de uma fábrica de sorvetes e picolé são: despoldadeira, dosadora, homogeneizador, pasteurizador e câmara frigorífica.

4.2.2 Avaliação de Ciclo de Vida

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) descreve de forma criteriosa todos os consumos e rejeitos do objeto de estudo, proporcionando maior confiabilidade na avaliação de impactos ambientais. A metodologia de uma ACV é regida por normas internacionais

da *International Organization for Standardization*, que tratam dos princípios gerais e diretrizes, por meio de um inventário de entrada e saída de materiais e energia em um sistema produtivo (LASSIO, 2013).

No Brasil, a ABNT possui as versões NBR ISO 14040 e 14044 (ABNT NBR ISO 14040; ABNT NBR ISO 14044), que expõem que os benefícios da ACV e podem fornecer elementos importantes para a tomada de decisões em uma empresa. O processo de ACV segue os princípios estabelecidos nas normas (Figura 4.1).

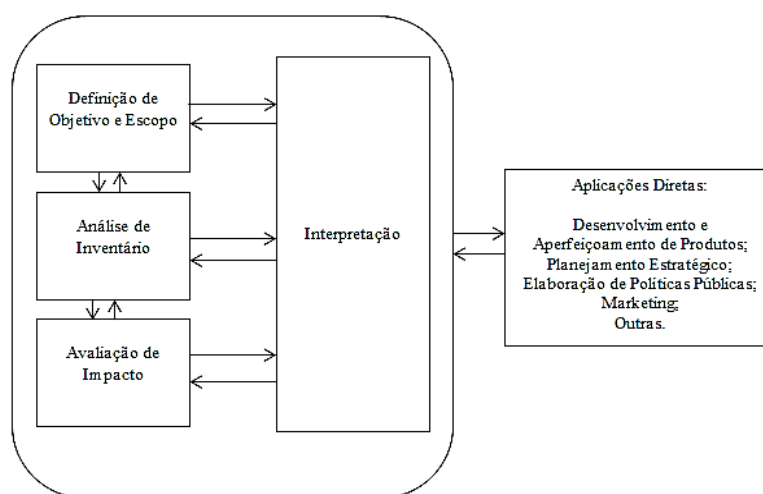


Figura 4.1. Esquema da Avaliação do Ciclo de Vida.

Fonte: ABNT NBR ISO 14040 (2014).

A ACV inicia-se com a definição do objetivo e do escopo, que consistem nos fatores motivadores e pretendidos do estudo, além do público-alvo a ser atendido e a escolha do produto a ser estudado, juntamente com outros elementos como: pressupostos, limitações, unidades do sistema, fronteiras etc. O procedimento de análise de inventário representa o conjunto de informações formadas por dados de entradas e saídas do processo em estudo, por exemplo: consumo energético, matéria-prima, resíduos, emissões para o solo, ar, água etc. (ABNT 14040, 2014a; ABNT 14044, 2014b).

A avaliação dos impactos busca entender e associar cada elemento do processo estudado com os indicadores e modelos de caracterização, ou seja, trata-se da classificação dos resultados e sua respectiva definição. A interpretação é formada pela conclusão da análise do inventário, exposição das limitações enfrentadas e possíveis recomendações. Esse elemento proporcionará insumos para a tomada de decisões que irão resultar no desenvolvimento de aplicações diretas, como o aprimoramento de produtos, as estratégias

empresariais, o desenvolvimento de políticas públicas, o marketing, entre outras (ABNT 14040, 2014a; ABNT 14044, 2014b).

A aplicação da ACV permite diversas interpretações acerca de um processo ou produto, por exemplo. A amplitude da metodologia está nas averiguações de cada elemento considerado, verificando os potenciais impactos, além de permitir modificações entre esses elementos, observando a sensibilidade nos resultados.

4.2.3 Definição do Âmbito de Análise

O equipamento utilizado no processo produtivo de sorvete e picolé para quantificar os impactos associados aos níveis de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) expressos em CO₂ equivalentes em relação a uso e queima do GLP foi o pasteurizador. A o mecanismo aquece a água a uma temperatura de 80°C no processo e que depois a resfria à temperatura de 4°C ou inferior. Esse procedimento é necessário para aplicar o tratamento térmico em matérias-primas de derivados do leite e ovos (BRASIL, 2003). O processo de aquecimento alvo deste artigo é realizado por meio de um queimador atmosférico de passagem (*Boiler*) que apresenta um consumo de 6.41 kg/h de GLP.

O volume útil de água para funcionamento do queimador atmosférico é de 185 litros e uma vez que é atingido, as perdas anuais de água são mínimas por se tratar de um sistema fechado. O processo de pasteurização apresenta uma utilização média de 34 horas mensais. Foram estudados os impactos associados à substituição do *boiler* por um SAS, quantificando os níveis de emissão de GEE para cada alternativa. De acordo com a NBR 15569, um SAS é constituído por coletores solares que convertem a energia radiante em térmica, e em um reservatório térmico que acumula a água quente. O sistema pode apresentar circulação de água natural ou termossifão (alteração na densidade do fluido de trabalho do fluido) ou forçado por meio de motobombas (ABNT, 2008).

Para a ACV, foi considerada a utilização de cada sistema durante um ano para comparação dos impactos ambientais. O ciclo de vida ao qual a unidade funcional está ligada inclui a fabricação dos sistemas e o uso dos recursos necessários para a operacionalização do processo de pasteurização.

4.2.4 Inventário dos Processos Envolvidos

Em relação aos dados de entrada referentes ao sistema de aquecimento de água com utilização do queimador atmosférico para o processo de pasteurização, os seguintes processos foram selecionados da base de dados Ecoinvent (2014):

- Chapa de inox com revestimento de estanho: *Tin plated chromium steel sheet, 2 mm {RoW}| production | Alloc Def, S.* Foram considerados 2 m².
- Fibra de vidro: *Glass wool mat {GLO}| market for | Alloc Def, S.* sendo considerados 10 kg para esse processo.
- Aço inox laminado a quente: *Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO}| market for | Alloc Def, S.* Para montagem desse processo, foram admitidos 160 kg.
- Calor oriundo do GLP: *Heat, central or small-scale, natural gas {GLO}| propane extraction, from liquefied petroleum gas | Alloc Def, S.* Neste processo, o propano é extraído do GLP, sendo composto em média de 60% - 85% de propano, 14% -38% de butano e 0% - 6% de outros gases. Uma eficiência média de 75% foi considerada para este processo (eficiência da caldeira).
- Reciclagem do aço e ferro: *Steel and iron (waste treatment) {GLO}| recycling of steel and iron | Alloc Def, S.* Neste processo, foi considerado o aproveitamento de 100% dos resíduos de aço e ferro para reciclagem.
- Aterro: *Municipal solid waste (waste scenario) {RoW}| Treatment of municipal solid waste, landfill | Alloc Def, S.* Por meio dessa etapa, foi definido que os resíduos remanescentes seriam descartados em aterro (já que o ferro e aço foram reciclados).

Para o inventário da ACV do queimador atmosférico a GLP, foi considerada uma vida útil de 10 anos, ou seja, sendo o peso admitido equivalente a 175 kg para o equipamento, dividiu-se por 10, resultando em 17,5 kg anuais. Também foi considerado o valor de 11.100 kcal/kg de poder calorífico para o GLP, o que forneceu 71522,68 MJ/kg a partir do consumo médio mensal do queimador (EPE, 2015).

Os dados de entrada referentes ao SAS foram da base de dados Ecoinvent (2014):

- Tanque de água quente: *Hot water tank, 600l {GLO}| market for | Alloc Def, S.* Foi considerando um tanque de 600 litros para esse processo, equivalente a 260 kg.
- Coletor solar plano: *Flat plate solar collector, Cu absorber {RoW}| production | Alloc Def, S.* Admite-se neste processo que o revestimento de cobre preto é de

fabricação norte-americana. Foram determinados 12 m² de área coletora nessa etapa, num total de 96 kg.

- Reciclagem de aço de ferro: *Steel and iron (waste treatment) {GLO}| recycling of steel and iron | Alloc Def, S.* Neste processo foi considerado o aproveitamento de 100% dos resíduos de aço e ferro para reciclagem, como no queimador a GLP.
- Aterro: *Municipal solid waste (waste scenario) {RoW}| Treatment of municipal solid waste, landfill | Alloc Def, S.* Por meio dessa etapa, definiu-se que outros resíduos seriam descartados em aterro, como foi considerado para o queimador.

Para o inventário do SAS também foram admitidos 10 anos de vida útil para equipamento. Os 96 kg de peso das placas solares foram divididos por 10, resultando em 9,6 kg anuais e os 260 kg de material do *boiler*, resultando em 26 kg anuais. Os processos utilizados no inventário incluem desde a extração da matéria prima, manufatura, transporte, reciclagem e descarte.

4.2.5 Avaliação dos Impactos

Essa fase tem a finalidade de compreender e analisar o impacto ambiental causado pelo consumo de matéria-prima e a emissão dos rejeitos identificados no momento do inventário. O mais importante nessa fase é a redução da poluição originada por um determinado processo em que um dos fatores responsáveis para tal é a utilização indiscriminada de elementos ecológicos, implicando em um alto grau de degradação ambiental (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

Para o processamento dos dados coletados em análise, foi utilizado o software SimaPro® versão 8.0.3.14 (PRÉCONSULTANTS, 2014a). O SimaPro® oferece diversos métodos para o cálculo de impactos ambientais, dentre os quais foi selecionado o IPCC 2013 GWP 100a.

O método IPCC em sua versão mais recente (IPCC, 2013), é um dos métodos mais utilizados para análise de impactos ambientais. Ele caracteriza as diferentes fontes de emissões de gases responsáveis pelo aumento do aquecimento global. Os impactos causados pelo dióxido de carbono (CO₂) são considerados como potenciais para o aquecimento global (*GWP - Global Warming Potential*). As emissões são estimadas em relação a um quilograma de algum gás de efeito estufa comparado com um quilograma de dióxido de carbono (FERREIRA, 2004). O método do IPCC expressa o impacto ambiental

em kg CO₂-eq e considera três horizontes temporais para vida das emissões na atmosfera: 20 anos, 100 anos e 500 anos (DINATO, 2013). De acordo com PréConsultants (2014b), o IPCC 2013 GWP 100a é o mais usual para ponderação do tempo de transformação das substâncias.

4.2.6 Análise de Sensibilidade

Foi realizada a análise de sensibilidade para examinar diferentes cenários em relação às emissões de CO₂-eq. Para Blank e Tarquin (2008), tais análises permitem verificar os efeitos finais considerando uma determinada variável, dada uma modificação em suas quantidades, assim gerando projeções futuras para o processo de tomada de decisões.

Para este trabalho, foi utilizada uma variação de $\pm 2m^2$ no tamanho do SAS. As simulações foram realizadas de forma individualizada, estudando o efeito isolado de cada uma delas, ou seja, era alterada apenas uma variável e *coeteris paribus* para as demais.

4.3 RESULTADOS

A Tabela 4.1 refere-se aos dados do consumo de GLP pelo queimador atmosférico no processo de pasteurização para a produção de picolé e sorvete na empresa no período que abrangeu fevereiro de 2013 a maio de 2015. Foi observado que o maior consumo anual de GLP foi no ano de 2013. No mês de janeiro de 2014 foi apresentado o maior consumo da série, com 356 kg. Em 2013 e 2014, em média, foram consumidos anualmente 1.501 kg de GLP em 20 horas médias mensais de utilização do processo de pasteurização, levando em conta um consumo médio mensal de 171 kg para 9 meses do ano. Foi averiguado que a empresa não apresenta consumo constante de GLP entre os meses, demonstrando a sazonalidade na produção de sorvetes e picolés.

A Figura 4.2 apresenta a relação entre as vendas de picolés e sorvetes no período de 2013 a 2015 e o consumo de GLP no mesmo período. O eixo vertical esquerdo caracteriza as unidades de vendas dos produtos, já o eixo vertical direito, expressa o consumo anual de GLP em kg. Observa-se uma relação positiva entre volume demandado pelos pedidos e o consumo do GLP, uma vez que apenas esses dois produtos são submetidos ao processo de pasteurização utilizando do queimador atmosférico.

Tabela 4.1. Consumo Mensal de GLP entre 2013 e 2015.

Meses	Consumo de GLP (kg)		
	2013	2014	2015
Janeiro	-	356	-
Fevereiro	230	122	173
Março	-	94	258
Abril	195	177	-
Maio	-	-	168
Junho	124	100	-
Julho	176	136	-
Agosto	140	177	-
Setembro	193	87	-
Outubro	191	-	-
Novembro	306	-	-
Dezembro	104	94	-
Total	1659	1343	599

Fonte: Elaboração própria.

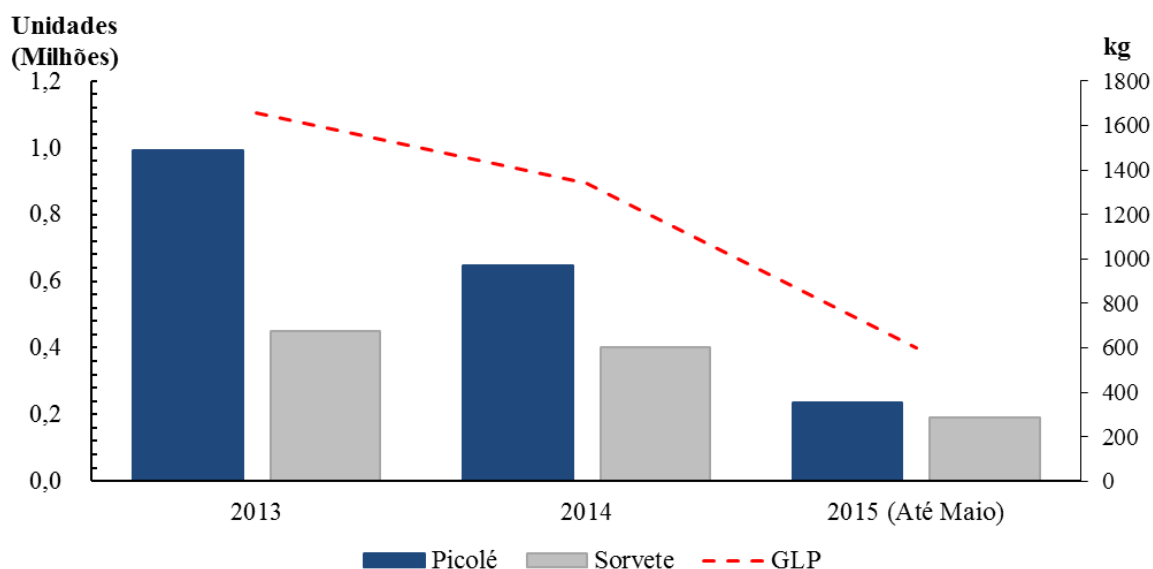


Figura 4.2. Relação entre Vendas de Picolés e Sorvetes com o Consumo Mensal de GLP, entre 2013 e 2015.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4.3 apresenta os impactos ambientais anuais associados ao processo de pasteurização com queimador atmosférico e com SAS, totalizando, respectivamente, 2090 kg CO₂-eq/ano e 142 kg CO₂-eq/ano. A Figura 4.3 é um diagrama de Sankey, no qual a espessura das linhas conectoras representa a magnitude do impacto ambiental. A reciclagem é traduzida como impactos evitados (por evitar a produção de determinado

material) e por isso as conexões são verdes. Não houve pontos de cortes, sendo exposto todo o processo.

É possível observar na Figura 4.3 a) que os principais impactos de CO₂ associados ao uso do queimador atmosférico estão concentrados na queima do GLP (171 kg de GLP em 9 meses), sendo produzidos 2.100kg de CO₂-eq. Entretanto, com a reciclagem dos resíduos de ferro e aço fundidos, ocorre uma redução de 36,7 kg de CO₂-eq anuais. No total, são produzidos 2.090 kg de CO₂-eq anuais.

Ao ser utilizado um Sistema de Aquecimento Solar - SAS, fica explicitado pela Figura 4.3 b) que o maior impacto está relacionado às placas coletoras, apresentando uma geração anual de 142,1 kg de CO₂-eq, enquanto o reservatório de água quente exibiu um impacto anual de 74,8 kg de CO₂-eq. Somados, apresentam um impacto equivalente a 217 kg de CO₂. No entanto, em decorrência da reciclagem do ferro e do aço, são poupados 74,7 kg de CO₂ por ano, totalizando 142 kg CO₂-eq dos impactos ambientais associados ao uso do queimador de GLP e SAS e resultando em uma redução anual de 93% da emissão de CO₂ - eq somente neste processo de pasteurização.

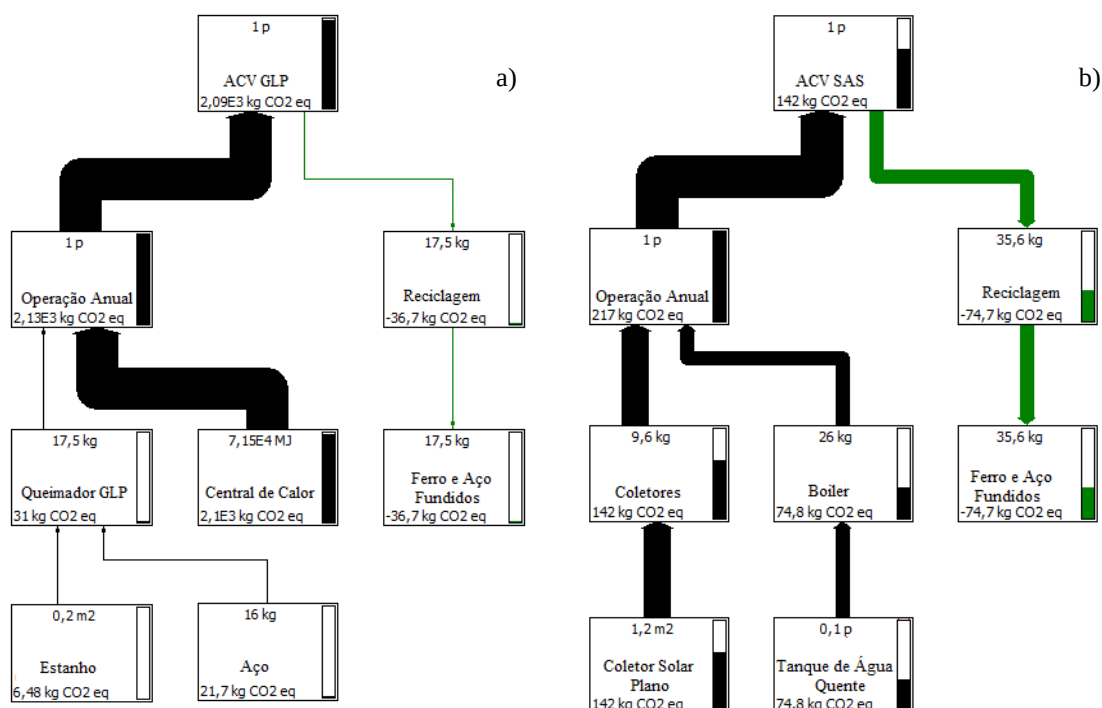


Figura 4.3. Impactos Ambientais Anuais Associados ao Processo de Pasteurização com Queimador Atmosférico (a) e SAS (b), com Método IPCC 2013 GWP 100a.

Fonte: Elaboração própria.

4.3.1 Análise de Sensibilidade de Cenários

A Tabela 4.2 apresenta a análise de sensibilidade nas emissões de CO₂ utilizando o método IPCC 2013 GWP 100, para os valores anuais de consumo de GLP pelo queimador atmosférico. Foi atestado que a cada $\pm 10\%$ de impacto no consumo do GLP, serão afetados três vezes, os níveis de emissão de CO₂, ou seja, aproximadamente de ± 210 kg.

A Tabela 4.3 apresenta a análise de sensibilidade para as emissões de CO₂-eq, utilizando o método IPCC 2013 GWP 100a, considerando valores anuais para o SAS com maior área útil de operação. A cada ampliação ou redução da área coletora em 10%, os impactos sofrerão um aumento de cerca de 10 kg CO₂-eq por ano. A ACV conseguiu evidenciar que do ponto de vista ambiental, a utilização de um SAS (energia solar) é bem melhor do que a utilização de GLP em um queimador durante o processo de pasteurização em uma indústria de sorvetes localizada na Paraíba. A ACV vem sendo, pouco a pouco, mais utilizada em diferentes indústrias alimentícias para quantificação de impactos ambientais: Melquíades *et al.* (2015) estudou o processo produtivo do pão francês em uma padaria paraibana, concluindo que o gás natural participou do *mix* energético da panificadora em maior porcentagem e custos e em contrapartida, o consumo do briquete de bagaço de cana demonstrou baixos níveis de impactos ambientais, além do preço reduzido.

Tabela 4.2. Análise das Emissões Anuais de CO₂-eq para uma Variação do Consumo do GLP no Queimador Atmosférico.

Variação (%)	kg CO₂ -eq/ano
-30	1460
-20	1670
-10	1880
0	2090
10	2300
20	2510
30	2720

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4.3. Análise das Emissões de CO₂ em um Ano para uma Ampliação da Área Útil de Utilização do SAS.

Varição (%)	kg CO ₂ -eq/ano
-20	122
-10	132
0	142
10	152
20	162

Fonte: Elaboração própria.

4.4 CONCLUSÕES

A partir das análises realizadas foi possível concluir que:

O Sistema de Aquecimento Solar (SAS) proporcionou menores impactos ambientais, quando comparado ao queimador atmosférico (que utiliza GLP).

As emissões de CO₂-eq associadas ao uso de queimador atmosférico foram em sua maioria associadas ao consumo de GLP no queimador, totalizando 2.090 kg anuais, com - 36,7 kg CO₂-eq/ano devido ao processo de reciclagem do aço e ferro fundido.

Os níveis de emissão anual de CO₂-eq associado ao Sistema de Aquecimento Solar foram de 142 kg para um sistema de 12 m² de área útil e *boiler* de 600 litros.

Mesmo com a elevação em 1m² de área coletora do SAS, os impactos foram inferiores ao aumento ou redução no consumo do GLP, já que seu efeito seria ampliado três vezes para $\pm 10\%$ de seu uso.

4.5 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR. 15569/2008: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR ISO 14040/2009 - Gestão ambiental –avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014a.

_____. **NBR ISO 14044/2009 - Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014b.

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Produção de coletores solares para aquecimento de água e**

reservatórios térmicos no Brasil: ano de 2014. São Paulo, 2015. Disponível em <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2015-07-27/market_statistics_2014_brazil.pdf>. Acesso em 20 jul. 2015.

BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica**. 6ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

BRASIL. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 267. **Regulamento técnico de boas práticas de fabricação para estabelecimentos industrializadores de gelados comestíveis**. Brasília, 2003. Disponível em:<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/9f880600474595599d2edd3fbc4c6735/RDC_267_2003.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 09 out. 2015.

_____.MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais - RAIS**. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/rais/>>. Acesso em: 12 jul. 2015.

CARVALHO, M.; FREIRE, R. S. ; MAGNO, A. H. **Promotion of sustainability by quantifying and reducing the carbon footprint: new practices for organizations**. In: Global Conference on Global Warming, 2015, Atenas, Grécia. proceedings of the global conference on global warming, 2015.

DINATO, R. M. **Sistematização dos métodos de contabilização de emissões de gases de efeito estufa sob a ótica do ciclo de vida**. 86 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

ECOINVENT. **The ecoinventdatabase**. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/>>. Acesso em 10 jul. 2015.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2015: ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:<https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em 10 out. 2015.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de ciclo de vida dos produtos**. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FREIRE, R. S. ; CARVALHO, M.; CARMONA, C. U. M. ; MAGNO, A. H. **Perspectives on the implementation of climate change public policies in Brazil**. In: Global Conference on Global Warming, 2015, Atenas, Grécia. proceedings of the global conference on global warming, 2015.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. B. V. **Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

IEA - International Energy Agency . **World energy outlook 2013**. Paris, 2013. Disponível em: <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/WEO2013_Ch06_Renewables.pdf>Acesso em: 22 jul. 2015.

_____. **CO2 emissions from fuel combustion**. Paris, 2014a. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>> Acesso em: 22 ago. 2015.

_____. **Key world energy statistics**. Paris, 2014b. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf>> Acesso em: 22 ago. 2015.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Anthropogenic and Natural Radiative Forcing**. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf>. Acesso em 24 mar. 2015.

LASSIO, J. G. G.; **Aplicação do programa Simapro na avaliação dos ciclos de vida dos materiais da construção civil: estudo de caso para um conjunto habitacional**. 96 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

LCA-FOOD. **The LCA-fooddatabase**. 2007. Disponível em: <<http://www.lcafood.dk/>>. Acesso em 23 jul. 2015.

MACHADO, M. G. C. **Modelização do ciclo de vida do vinho verde e da rolha de cortiça natural por utilização do SimaPro recorrendo a vários métodos de avaliação de impactos ambientais**. 88 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

MELQUIADES, T. F.; COELHO, I. M. A.; COELHO JUNIOR, L. M. ; CARVALHO, M. **Quantificação dos impactos ambientais do processo produtivo do pão francês**. In: 10º Congresso Internacional de Bioenergia, 2015, São Paulo. Anais do 10º Congresso Internacional de Bioenergia, 2015.

MENEZES, H. A. F. ; CARVALHO, M.; FREIRE, R. S. **Identificação de boas práticas para implementação da análise do ciclo de vida na Paraíba**. In: 10º Congresso Internacional de Bioenergia, 2015, São Paulo. Anais do 10º Congresso Internacional de Bioenergia, 2015.

PRÉCONSULTANTS. **Software SimaPro**. 2014a. Disponível em: <<http://www.pre.nl/simapro>>. Acesso em 02 jul. 2015.

_____. **SimaProDatabase Manual Methodslibrary**. PRéConsultants, 2014b.

SCHNITZER, H.; BRUNNER, C.; GWEHENBERGER, G. Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13, p. 1271-1286, 2007.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Ideias de negócios para 2014: fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis**. Brasília, 2012. Disponível em <<http://segmentos.sebrae2014.com.br/ideiasdenegocios/fabricacao-de-sorvetes-e-outros-gelados-comestiveis/?id=8784&t=-1>>. Acesso em 20 jul. 2015.

SICONGEL - Sindicato da Indústria Alimentar de Congelados, Supercongelados, Sorvetes, Concentrados e Liofilizados no Estado de São Paulo. **Dados estatísticos do setor 2014**. São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://www.sicongel.org.br/arquivos/Dadosestatisticosdosetor20142015.pdf> >. Acesso em 24 jul. 2015.

USLCI - U.S. Life Cycle Inventory. **Database**. 2013. Disponível em:< <http://www.gabi-software.com/databases/gabi-data-search/>>. Acesso em 10 jul. 2015.

5 ARTIGO 4 - PREVISÃO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PARA O MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA

RESUMO

O aproveitamento da energia solar pode ser uma alternativa ao uso dos combustíveis fósseis, apesar do seu pouco uso no Brasil. Apenas 15 MW da capacidade instalada para a geração de energia elétrica é proveniente da energia solar. Entre os 27 estados do Brasil, apenas Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina, apresentam geração de energia elétrica por aproveitamento da energia solar. Portanto, apesar da pouca participação de fontes alternativas na matriz energética brasileira, o uso da energia solar ainda significa um desafio para o País. À vista disto, este trabalho analisou a Série de Radiação Solar Global, no período de julho de 2007 a dezembro de 2013 no município de João Pessoa, na Paraíba, por meio dos modelos da família ARIMA e testando os modelos estimados na previsão de 2014. O método utilizado foi preconizado por Box e Jenkins na década de 70, por meio dos modelos da família ARIMA. Para a análise da série e a escolha do modelo para previsões do ano de 2014, foi usada como base a análise residual do teste de *Ljung-box statistic*, *box-pierce*, o *Akaike Information Criterion* (AIC) e Erro Quadrático Médio de Previsão como fonte de seleção dos modelos. O modelo SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂ foi o que forneceu melhor ajuste na previsão para 12 períodos da radiação solar global para 2014 do município de João Pessoa, dentro de um intervalo de 95% de confiança.

Palavras-chave: radiação solar, séries temporais, modelo box-jenkins.

GLOBAL SOLAR RADIATION LEVELS FORECAST FOR THE CITY OF JOÃO PESSOA

ABSTRACT

The use of solar energy can be an alternative to using fossil fuels, despite its little use in Brazil. Only 15 MW of installed capacity for power generation comes from solar energy. Among the 27 States of Brazil, only Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo and Santa Catarina, feature electric power generation by solar energy utilization. Therefore, despite the low participation of alternative sources in the Brazilian energy matrix, the use of solar energy still means a challenge for the country. From this point of view, this paper reviewed the series of Global Solar Radiation over the period July 2007 to December 2013 of the municipality of Joao Pessoa in Paraiba, via the ARIMA family models and testing the estimated 2014 forecast models. The method used was advocated by Box and Jenkins in the Decade of 70, by means of models of ARIMA family. For the analysis of the series and the choice of the model predictions for the year 2014, was used as the basis of the residual analysis of the Ljung-box, box-pierce statistic, the Akaike Information Criterion (AIC) and mean Square Error of Prediction as a source selection models. The SARIMA model (2, 1, 0) (1, 2, 3) 12 was what gave best fit in 12 forecast periods of global solar radiation to 2014 in the city of João Pessoa, within a 95% confidence interval.

Keywords: solar radiation, time series, box-jenkins model.

5.1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia solar é uma alternativa ao uso dos combustíveis fósseis, apesar de ser pouco usual no Brasil. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2015), em 2014, de toda a oferta interna de energia elétrica do Brasil, 65,2% eram oriundos de fontes hidráulicas, seguidos por 13% de gás natural, 7,3% de biomassa, 6,9% de derivados do petróleo, 3,2% de carvão e derivados, 2,5% de energia nuclear e 2% de energia eólica. Do total de 133.913 MW de capacidade instalados para geração de energia elétrica, apenas 15 MW eram provenientes da energia solar.

No Brasil, apenas os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina geram energia elétrica por aproveitamento da energia solar. Apesar da pouca participação na matriz energética brasileira, o uso da energia solar ainda significa um desafio para o País (EPE, 2015).

Em busca de entender o comportamento da incidência solar sobre a Terra, como, por exemplo, a radiação, é necessário o uso de estações meteorológicas. Um controle preciso e o acompanhamento das volatilidades a respeito da energia solar auxiliam o fornecimento de resultados determinantes para o melhor aproveitamento da energia solar em uma determinada região. Para tal, são utilizadas algumas técnicas de modelagem de previsão em séries temporais. Esses métodos consideram seus resultados dentro de uma determinada margem de confiança. Uma metodologia bastante utilizada foi desenvolvida por Box e Jenkins (1976) na década de 70, com a publicação do livro *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Essa abordagem é conhecida como box-jenkins, e estuda como o comportamento de uma série temporal pode ser essencialmente definido pelo seu próprio comportamento no passado.

A aplicação da metodologia box-jenkins para os níveis de radiação solar global foi utilizada por Yürekli *et al.* (2007), Reikard (2009), Hejase e Assi (2012), Huang *et al.* (2012), Wu e Chan (2012), Ferrari *et al.* (2013), Hassan (2014), Sun *et al.* (2015). Esses estudos analisaram os resultados obtidos entre os diversos modelos de previsão. Desta forma, as modelagens envolvendo a radiação solar podem determinar questões relevantes para as regiões do Brasil com baixo aproveitamento da energia solar, como o estado da Paraíba.

À vista disto, este artigo analisou a Série de Radiação Solar Global, no período de julho de 2007 a dezembro de 2013 do município de João Pessoa, na Paraíba, por meio dos

modelos da família ARIMA e testou os modelos estimados na previsão de 2014.

5.2 METODOLOGIA

5.2.1 Objeto de Estudo

Os dados utilizados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e são referentes ao nível de radiação solar global em kJ/m^2 do município de João Pessoa, na Paraíba. Os dados são do monitoramento da estação meteorológica de superfície automática A320, desde o início de suas operações (BRASIL, 2015).

O período utilizado abrangeu de 22 de julho de 2007 a 31 de setembro de 2015. A série temporal analisada corresponde a 38.909 observações, sendo que as informações são atualizadas a cada hora pela estação meteorológica de superfície automática. Desta forma, foram definidos os horários de observação das 6 horas às 18 horas, fornecendo 2.993 observações a cada hora.

Os dados coletados a cada hora por dia foram transformados para valores mensais. Foram somados os valores apresentados a cada hora (6h às 18h) para o fornecimento dos dados de radiação solar global diários e em seguida, foi feita a média diária de cada mês. Os dados foram convertidos de kJ/m^2 para kWh/m^2 . Para fazer a previsão, foi reservado o ano de 2014 no intuito de fazer a validação do modelo ajustado.

Para a operacionalização e o tratamento dos dados, utilizou-se o *software* R com o auxílio dos pacotes (*package*) *tseries*, *zoo*, *urca* e *forecast*. O pacote *tseries* foi utilizado para ajuste dos modelos de previsão e o pacote *urca*, para os testes de raiz unitária. O pacote *zoo* executou as substituições de valores ausentes na série temporal fazendo uso de interpolação linear. As estimações dos modelos foram realizadas utilizando os recursos oferecidos pelo pacote *forecast* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015). Torgo (2009) ressalta que o R consiste em uma ferramenta bastante útil no que diz respeito ao nível de programação, fator atenuado pela presença do *package*, que são funções de determinadas funcionalidades e tópicos, disponíveis gratuitamente.

5.2.2 Metodologia Box-Jenkins

Um método de seleção de modelos para séries temporais foi desenvolvido na década de 1970 pelos Professores George E. P. Box e Gwilym M. Jenkins. Essa técnica consiste nas seguintes etapas: determinação da classe do modelo; identificação do modelo proposto por meio da Função de Autocorrelação (FAC) e da Função de Autocorrelação Parcial (FACP) e outros critérios; determinação dos parâmetros do modelo na qual foi identificado; diagnóstico do modelo ajustado, averiguando se os resíduos são ruído branco e adequados para previsão. Caso o modelo se apresente adequado, o processo é finalizado e ocorre a previsão, caso contrário, o processo é reiniciado a partir da etapa de identificação (MORETTIN e TOLOI, 2006). A estrutura que representa esse processo é demonstrada na Figura 5.1.

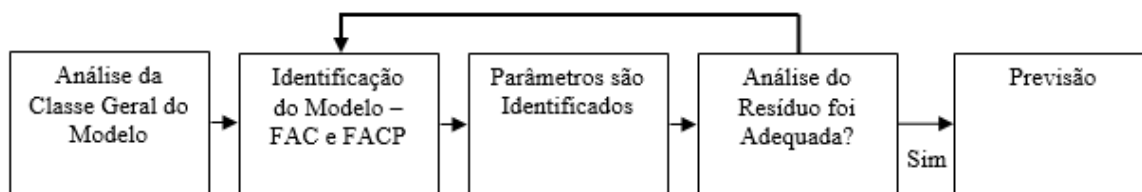


Figura 5.1 Metodologia Box-Jenkins.

Fonte: MORETTIN e TOLOI, 2006.

5.2.3 Análise da Classe Geral dos Modelos da Família ARIMA

Os modelos Autoregressivos (AR) de Médias Móveis (MA) partem da combinação dos processos AR e MA denominados $ARMA(p,q)$, como está sendo descrito na equação 1. Onde $\phi_p(B)$ representa o operador AR (p), z_t é a série temporal observada, $\theta_q(B)$ consiste no operador MA (p) e α_t , o choque aleatório numa distribuição normal com zero de média e variância no tempo.

$$\phi_p(B)z_t = \theta_q(B)\alpha_t \quad (1)$$

O processo de seleção dos modelos por meio da metodologia box-jenkins é iniciado o com a identificação dos parâmetros AR e MA da série temporal. No entanto, os

processos $AR(p)$, $MA(q)$ e $ARMA(p,q)$ são estacionários. No caso de processos não estacionários, é necessário que seja feita a diferenciação para torná-los estacionários, então é acrescentado o parâmetro d , formando o $ARIMA(p,d,q)$ como exposto na equação 2. A equação $\Delta^d Z_t = (1-B)^d Z_t$, refere-se à ordem de diferenciação (LEE e KO, 2011).

$$\phi_p(B)\Delta^d Z_t = \theta(B)\alpha_t \quad (2)$$

Para modelos com a presença de sazonalidade de uma série temporal deve ser acrescentado um “S”. Assim, chegando ao $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$, que representa o modelo $ARIMA$ sazonal multiplicativo (3). A equação $\Delta_s^D Z_t = (1-B^s)^D Z_t$ diz respeito à ordem de diferenciação sazonal, sendo definida pelo parâmetro D . O $\Phi_p(B^s)$ representa $AR(p)$ sazonal e $\Theta_q(B^s)$, o $MA(q)$ sazonal, esses são definidos nas equações 4 e 5, respectivamente. Os parâmetros sazonais de $AR(p)$ são descritos por $\Phi_1 \dots \Phi_p$, já $MA(q)$ por $\Theta_1 \dots \Theta_q$ (LEE e KO, 2011).

$$\phi_p(B)\Phi_p(B^s)\Delta^d \Delta_s^D Z_t = \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\alpha_t \quad (3)$$

$$\Phi_p(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps} \quad (4)$$

$$\Theta_q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_q B^{qs} \quad (5)$$

5.2.4 Identificação por Meio da FAC e da FACP

Segundo Gujarati (2006), a Função de Autocorrelação (FAC) é dada por k defasagens, com denotação de ρ_k (6). O termo γ_k representa a covariância com k defasagens e γ_0 representa a variância, caracterizando que quando a defasagem $k = 0$, temos que $\rho_0 = 1$, considerando que ρ_k é um número puro que se situa entre ± 1 para qualquer coeficiente de correlação. O cálculo da função de autocorreção amostral é representado pela covariância com defasagem k (7), e pela variância amostral (8), em que n representa o tamanho da amostra e $\bar{Y}$ é considerada a média amostral. Chegando à equação de

autocorrelação amostral (9), cujo gráfico é correlograma amostral. Assim, é possível concluir que uma série temporal pode ser considerada estacionária quando se assemelha ao correlograma de uma série temporal de ruído branco.

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (6)$$

$$\hat{\gamma}_k = \frac{\sum (Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{n} \quad (7)$$

$$\hat{\gamma}_0 = \frac{\sum (Y_t - \bar{Y})^2}{n} \quad (8)$$

$$\hat{\rho}_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_0} \quad (9)$$

A Função de Autocorrelação (FAC) denota a autocorrelação *versus* as defasagens, e auxilia a identificação do processo de Médias Móveis de Ordem $q - MA(q)$, tendo uma participação bastante importante na estimação de séries temporais. Considerando a equação 10, em que ε_t representa ruído branco, e y_t depende do erro ε_t , seguidamente do erro do passado, temos um processo denominado Médias Móveis de Ordem 1 – $MA(1)$, no entanto, se o processo depende de ε_{t-2} , passamos a chamá-lo de Médias Móveis de Ordem 2 – $MA(2)$. Já a Função de Autocorrelação Parcial (FACP), é caracterizada por um processo de filtragem da FAC, demonstrado por um Processo Autorregressivo de Ordem $p - AR(p)$, ou seja, temos um processo de filtragem, no qual são excluídas as correlações implícitas, conservando as relações puras entre as observações. A FACP denota $\hat{\phi}_{j,j}$, *versus* j , onde se extrai a regressão de y_t em detrimento de y_{t-1} , obtendo $\phi_{1,1}$, e, por conseguinte, y_t *versus* y_{t-1} e y_{t-2} , assim conseguimos $\phi_{2,1} \phi_{2,2}$, como mostra a equação 11 (BUENO, 2011).

$$y_t = \mu + \varepsilon_t + \theta \varepsilon_{t-1} \quad (10)$$

$$y_t = \phi_{j,1}y_{t-1} + \phi_{j,2}y_{t-2} + \dots + \phi_{j,j}y_{t-j} + e_{t,j} = 1, 2, \dots \quad (11)$$

5.2.5 Teste de Estacionariedade

Para Gujarati (2006), a equação do modelo de passeio aleatório (12), onde u_t é um termo de ruído branco chamado de raiz unitária para $\rho = 1$ e consiste em uma situação de não estacionariedade. Se $|\rho| \leq 1$ é uma situação de estacionariedade, a série temporal Y_t é estacionária. Para que seja observada a transformação de uma série não estacionária em uma série estacionária, deve-se subtrair Y_{t-1} de ambos os lados da equação 12, desta maneira, é obtida a equação 13. A nova equação consiste em $\delta = (\rho - 1)$, com Δ representando a primeira diferença, para uma série estacionária.

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t \quad -1 \leq \rho \leq 1 \quad (12)$$

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \mu_t \quad (13)$$

Para a comprovação formal da estacionariedade de uma série temporal, é necessária a consulta a alguns testes, como, por exemplo, o teste *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF), desenvolvido por Dickey e Fuller (1981), o teste *Phillips-Perron* (PP); desenvolvido por Phillips e Perron (1988) e o teste *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS); desenvolvido por Kwiatkowski e outros (1992). Esses testes confirmam se a série Y_t possui ou não raiz unitária, com isso, podendo ser comprovada ou não a sua estacionariedade.

5.2.6 Análise dos Resíduos e Escolha do Modelo

Após identificação dos parâmetros da série, ela pode ser representada por um modelo ARIMA (p,d,q) ou SARIMA (p,d,q)(P,D,Q)_s caso haja indícios de sazonalidade. O processo parte para verificação das funções de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP), assim como os testes ADF, PP e KPSS, para verificação da raiz unitária da série. Logo após, são escolhidos os modelos pretendentes utilizando o *Akaike Information Criterion* (AIC), seguindo o princípio da parcimônia, então é feita a análise dos resíduos da série ajustada, verificando a existência de ruído branco.

Na interpretação de Bueno (2011), os critérios de informação são importantes para balancear a redução do erro, fornecendo os parâmetros aceitáveis para um modelo, como exposto na equação 14.

$$AIC(p, q) = \ln \hat{\sigma}^2 + n \frac{2}{T} \quad (14)$$

O *Portmanteau Test*, de acordo com Tsay (2005), pode ser definido pela equação 15, em que é rejeitada a hipótese de H_0 se $Q(m) > \chi_\alpha^2$. A análise permite reforçar a existência de ruído branco no modelo escolhido por meio da verificação dos resíduos. Em outras palavras, a constatação de ruído branco pelo teste *box-pierce* ocorre quando onde $Q(m) < \chi_\alpha^2$, isso que não há quebra de comportamento de ruído branco.

$$Q(m) = T(T+2) \sum_{t=1}^m \frac{\hat{\rho}_t^2}{T-\ell} \quad (15)$$

Foi verificado o Erro Quadrático Médio (EQM) das previsões obtidas, permitindo a comparação dos valores previstos e observados da série ajustada (16), sendo escolhido possibilitando a escolha do modelo que apresentar o menor EQM (MORETTIN e TOLOI, 2006).

$$EQM = \frac{\sum (y_t - y_t^e)^2}{n} \quad (16)$$

5.3 RESULTADOS

A Figura 5.2 apresenta o comportamento dos valores médios da Série em nível (original) da Radiação Solar Global (SRSG), sendo a série logaritimizada definida por [Ln (SRSG)] em kWh/m² no período de julho de 2007 a dezembro de 2013. A SRSG em nível possui média estimada em 5,82, mediana de 5,89, variância de 0,48, valor mínimo de 4,29 e valor máximo de 7,02. A logaritimização neperiana foi necessária para estabilização da variância, preservando as propriedades dos dados da série. A variância da série foi de 0,002.

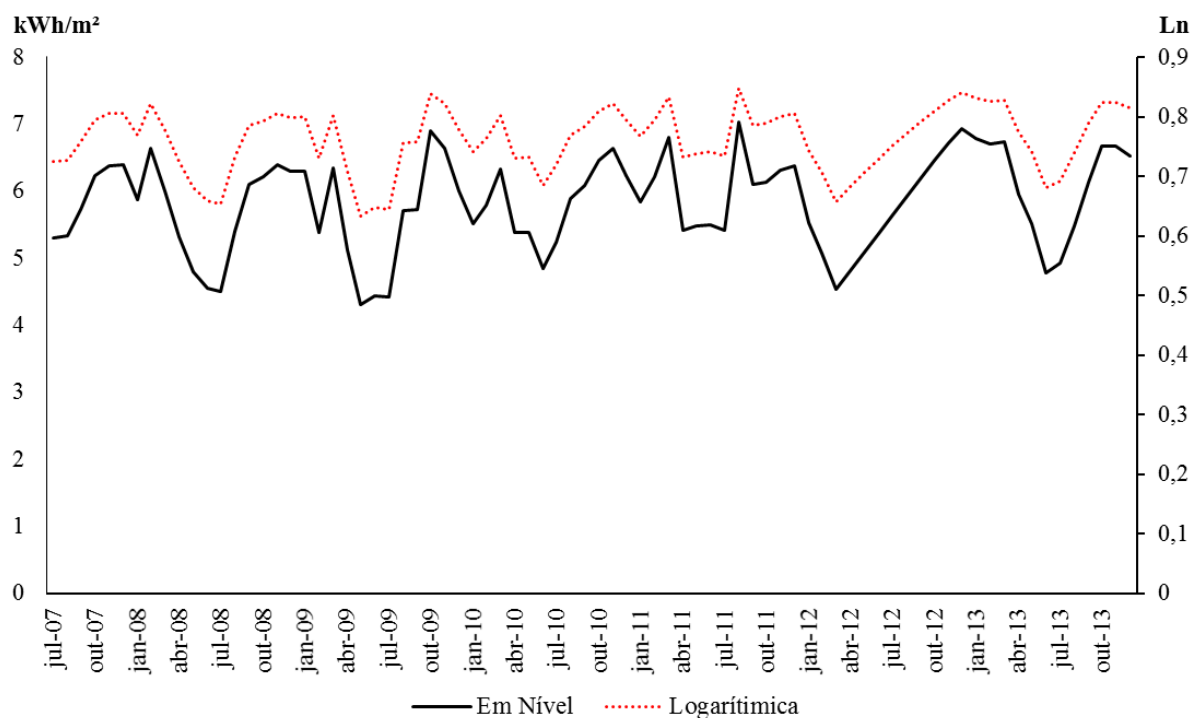


Figura 5.2. Série em Nível (original) da Radiação Solar Global em Nível e Logarítmica de Julho de 2007 a Dezembro de 2013 em kWh/m².

Fonte: Elaboração própria.

A análise visual da SRSG e Ln (SRSG) não apresenta nenhuma tendência ao longo do tempo, fornecendo indícios de que ela pode ser estacionária. A Figura 5.3 expõe a FAC para o Ln (SRSG) em nível (5.3.a) e em primeira diferença (5.3.b), além da FACP em nível (5.3.c) em primeira diferença (5.3.d). Verificou-se que a FAC e FACP em nível apresentam *lags* que decaem rapidamente, isso indica a possibilidade de a série temporal ser estacionária. Para verificar a existência de sazonalidade, foi necessário fazer a primeira diferenciação do Ln (SRSG). A FAC em primeira diferença, demonstra *lags* significativos a cada 12 passos à frente, fornecendo indícios de que o Ln (SRSG) pode apresentar o componente sazonal. No entanto, foi feita a decomposição da série para uma posterior constatação.

Foi delimitada a ordem de no máximo 3 defasagens para o modelo em processos autoregressivos [AR ($p = 3$ e $P = 3$)] e de 3 defasagens para os processos de médias móveis [MA ($q = 3$ e $Q = 3$)], seguindo o princípio da parcimônia. Foi constituído um espaço amostral de 324 modelos SARIMA (p,d,q) (P,D,Q)₁₂, dentre os quais foi utilizado o Akaike

Information Criterion (AIC) como fonte de seleção dos modelos , além da análise residual do teste de *Ljung-box statistic* e *box-pierce*..

A identificação dos parâmetros AR e MA, de acordo com Meyler (1998), pode ser realizada por meio da interpretação dos gráficos de Autocorrelação (FAC) e Autocorrelação Parcial (FACP), esse processo pode ser difícil e a identificação dos modelos por meio da metodologia box-Jenkins envolve certa subjetividade.

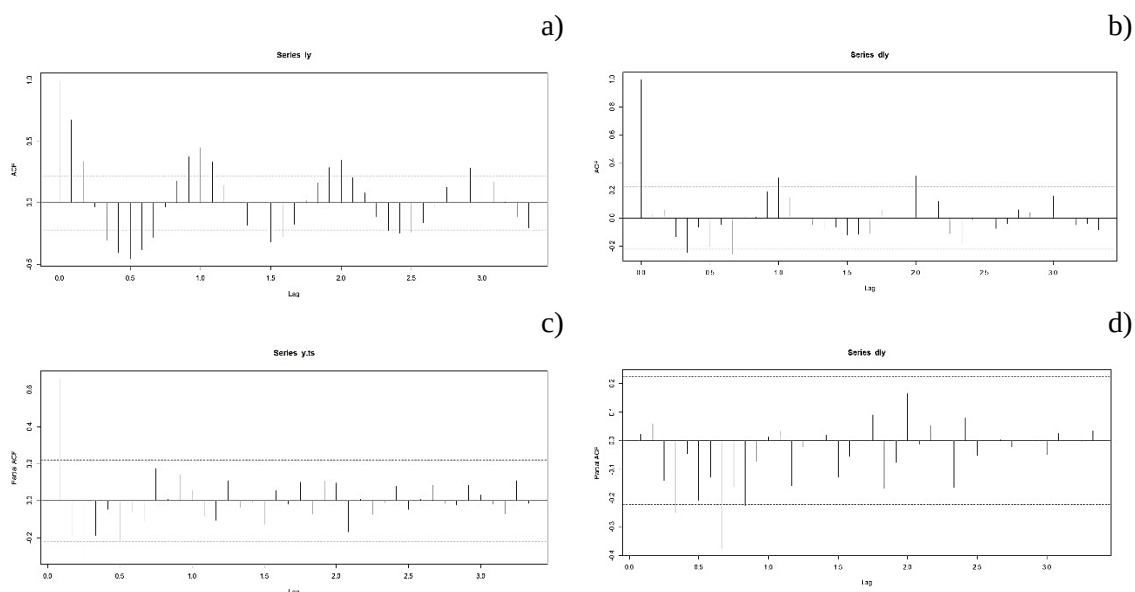


Figura 5.3. Função de Autocorrelação (FAC) da Ln (SRSG) em nível (a), Primeira Diferença (b). Função de Autocorrelação Parcial (FACP) da Ln (SRSG) em Nível (c) e em Primeira Diferença (d).

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5.4 apresenta os efeitos sobre a variação nos dados, tendência, sazonalidade e resíduos do Ln (SRSG). Foi verificado por meio da decomposição da série temporal que a variação dos dados é o componente com maior destaque. Em seguida, vem o comportamento dos resíduos; indicado pelas flutuações estocásticas, presença de sazonalidade e tendência. As maiores características são expostas pelo tamanho das barras cinza, quanto menores elas forem, mais predominante é o componente, quanto maior, menos predominante é o componente da decomposição do Ln (SRSG).

Apenas com a verificação visual e da decomposição da série não se pode afirmar se a série Ln (SRSG) é estacionária ou não. Para uma constatação formal, foram utilizados os testes *Dickey-Fuller* Aumentado (ADF), o teste *Phillips-Perron* (PP) e o teste

Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS), para verificação da presença de raiz unitária, como exposto na Tabela 5.1.

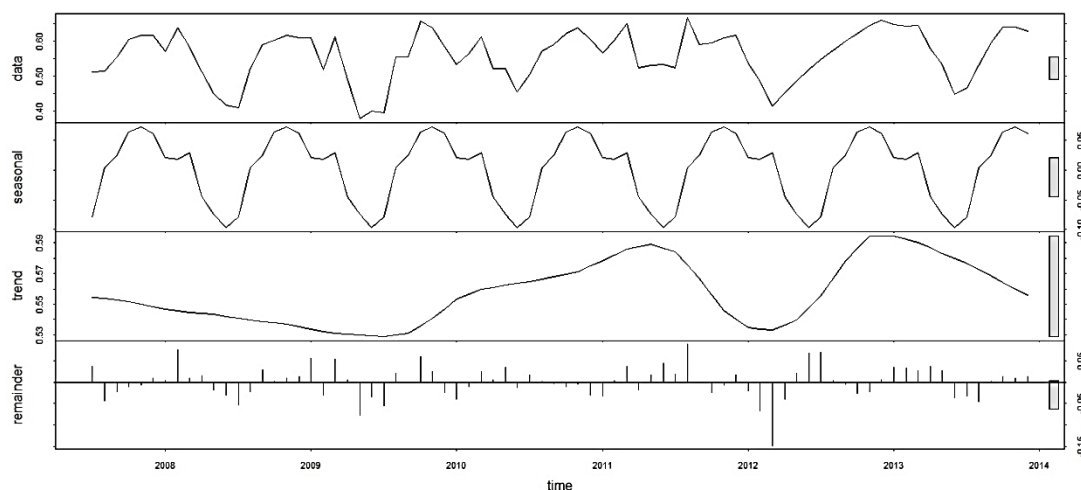


Figura 5.4. Decomposição da SRSR.

Fonte: Elaboração própria.

O teste ADF mostra a presença da estacionariedade quando há rejeição da hipótese nula (H_0), ou seja, quando a série tem presença de raiz unitária. E para a hipótese alternativa (H_1) é a constatação da estacionariedade da série, não incorrendo na região de raiz unitária. O teste ADF rejeita H_0 para a $\ln$ (SRSR) nível, já que $t = -5,189$ é maior do que todos os valores críticos para os níveis de significância de 1%, 5% e 10%, pois não há presença de raiz unitária, ou seja, $\ln$ (SRSR) é estacionária. Aplicando o teste ADF à 1ª diferença da $\ln$ (SRSR), foi possível observar que $t = -5,622$, acima de todos os níveis de significâncias estudados. A $\ln$ (SRSR) já é estacionária em nível. O teste KPSS afirma que a hipótese nula é a não existência de raiz unitária, a $\ln$ (SRSR) em nível apresentou $t = 0,145$, sendo menor do que todos os valores críticos do teste. Isso aceita H_0 , ou seja, a $\ln$ (SRSR) em nível é estacionária. Em primeira diferença, $t = 0,028$, menor do que o valor inicial e do que todos os níveis críticos, mas, a estacionariedade foi comprovada para a $\ln$ (SRSR) em nível no teste. O teste PP tanto para a $\ln$ (SRSR) em nível quanto para a 1ª Dif [$\ln$ (SRSR)], comprova a estacionariedade, demonstrando $t = -3,820$ e $t = -8,45$, acima de qualquer valor crítico do teste.

Do espaço amostral constituído por 324 modelos, foi selecionada uma amostra dos 30 modelos que apresentaram AIC. Estes modelos, inicialmente, apresentaram auto correlação residual por meio do teste *Ljung-box statistic*, sendo excluídos. Desta forma,

prosseguiu-se com a seleção, utilizando o teste AIC, teste *box-pierce* para $K - 3$ graus de liberdade e $Q(10)$ e *Ljung-box statistic*. Apenas 30 modelos atenderam aos três critérios, não apresentaram autocorrelação residual, sendo considerados ruído branco para o teste *Ljung-box statistic* e *box-pierce*, desta forma, foram separados para realização das previsões.

Após a filtragem por meio do AIC, *Ljung-box statistic* e *box-pierce*, apenas 19 modelos apresentaram valores significativos a um nível de significância de 95%. A Tabela 5.2 demonstra os 5 modelos que obtiveram os melhores EQM das previsões. Além dos respectivos AIC e teste *box-pierce*.

Tabela 5.1. Testes de Raiz Unitária da Ln(SRSG) Nível e Primeira Diferença (1ª Dif [Ln(SRSG)]).

Testes	Ln(SRSG)				1ª Dif [Ln(SRSG)]			
	1%	5%	10%	t	1%	5%	10%	t
ADF	-3,510	-2,890	-2,580	-5,189	-3,510	-2,890	-2,580	-5,622
KPSS Test	0,739	0,463	0,347	0,145	0,739	0,463	0,347	0,028
Phillips-Perron	-3,516	-2,899	-2,587	-3,820	-3,516	-2,899	-2,587	-8,453

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.2. Modelos Pré-Selecionados.

	SARIMA	EQM	AIC	Test box-pierce	
	(p,d,q)(P,D,Q) ₁₂			Q (10)	$\chi^2_{7;0,05}$
1	(2,1,0) (2,1,2) ₁₂	0,46	-114,07	0,075	8,486
2	(2,1,0) (2,1,3) ₁₂	0,44	-112,69	0,039	8,338
3	(3,1,0) (0,0,2) ₁₂	0,62	-139,93	0,078	9,894
4	(0,1,1) (2,1,3) ₁₂	0,47	-115,08	0,058	9,114
5	(1,1,2) (0,0,2) ₁₂	0,61	-138,55	0,091	9,462

Fonte: Elaboração própria.

Com essa análise, a Tabela 5.3 mostra a previsão realizada para o modelo SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂, já que este apresentou o menor EQMP. As previsões de radiação global mensal em kWh/m² foram realizadas para o ano de 2014.

Sendo o modelo SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂ escolhido, a sua forma é demonstrada pela equação 17. Logo, o modelo com seus coeficientes assume a expressão da equação 18.

$$Y_t = \frac{(1 - \Theta_1 B^{12} - \Theta_2 B^{24} - \Theta_3 B^{36}) \alpha_t}{(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2)(1 - \Phi_1 B^{12} - \Phi_2 B^{24})(1 - B)(1 - B^{12})} \quad (17)$$

$$Y_t = \frac{(1 + 0,60B^{12} + 0,90B^{24} - 0,52B^{36}) \alpha_t}{(1 + 0,27B - 0,02B^2)(1 + 0,48B^{12} - 0,29B^{24})(1 - B)(1 - B^{12})} \quad (18)$$

Tabela 5.3. Valores Observados e Previsões pelos Modelos SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂ para 2014.

Período	Observado	(2,1,0) (2,1,3) ₁₂	Acerto (%)
jan/14	6,65	6,15	-7,6%
fev/14	6,27	6,13	-2,2%
mar/14	6,58	6,50	-1,2%
abr/14	6,19	5,49	-11,3%
mai/14	5,19	5,16	-0,5%
jun/14	4,83	5,02	3,9%
jul/14	5,15	5,12	-0,6%
ago/14	5,94	6,06	1,9%
set/14	5,88	6,12	4,1%
out/14	6,42	6,64	3,4%
nov/14	6,25	6,70	7,1%
dez/14	4,44	6,48	45,8%
Somatório	69,86	71,62	2,5%
Média	5,82	5,96	2,5%
EQM		0,44	

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5.5 apresenta os valores residuais do modelo SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂. O correlograma do teste *Ljung-box statistic* sugere independência dos resíduos para diversas defasagens, ou seja, não demonstrando autocorrelação.

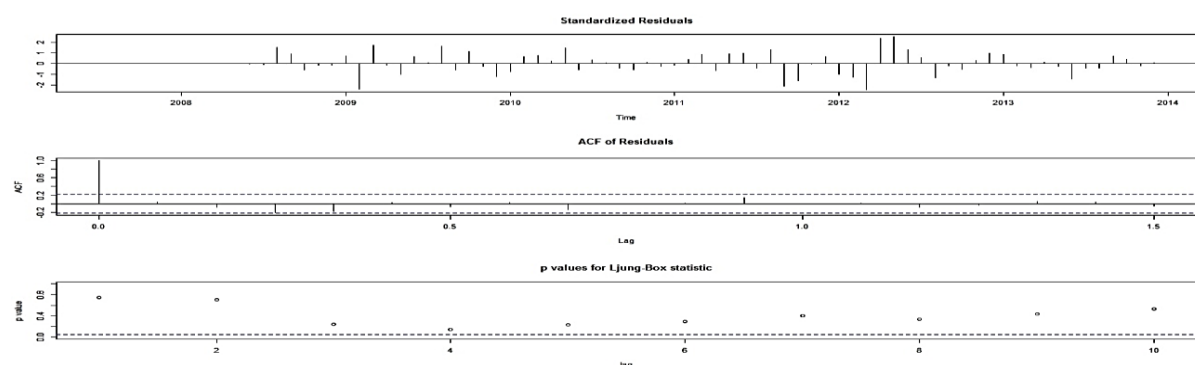


Figura 5.5. Resíduos do Modelo SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂ para a SRSG.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 5.6 demonstra o comportamento da previsão da radiação solar global em kWh/m² para a cidade de João Pessoa, considerando um intervalo de confiança de 95%, além dos valores observados para o ano de 2014 em meses.

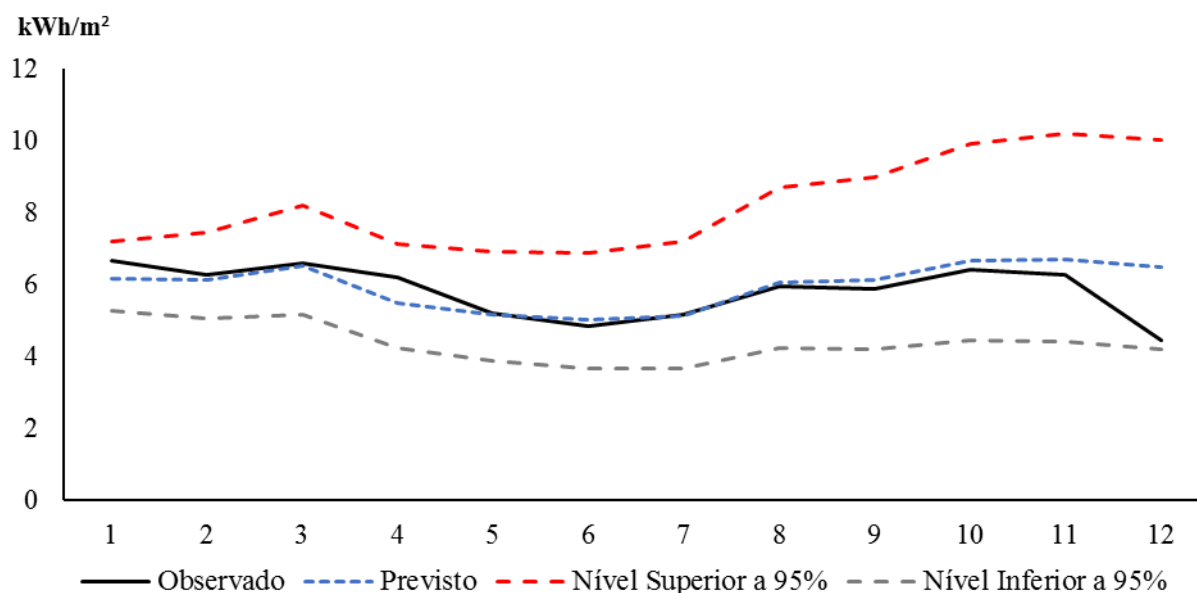


Figura 5.6. Previsão para o Ano de 2014 da Radiação Solar Global em João Pessoa (kWh/m²).

Fonte: Elaboração própria.

5.4 CONCLUSÕES

Para os resultados obtidos por este artigo, foi possível concluir que:

Foi fornecida uma melhor compreensão a respeito do comportamento da série de radiação solar global em João Pessoa.

Os dados da SRSG apresentaram comportamento estacionário ao longo do tempo, ou seja, sem tendência. Também apresentaram efeitos de sazonalidade anual.

Os modelos da família ARIMA apresentaram resultados satisfatórios para a previsão.

O modelo SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂ foi o que forneceu melhor ajuste da radiação solar global para 2014 do município de João Pessoa.

5.5 REFERÊNCIAS

BOX, G; JENKINS, G. **Time series analysis: forecasting and control**. rev. ed., Oakland, California: Holden-Day, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em 12 nov. de 2015.

BUENO, R.L.S. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

DICKEY, D. A; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrica**, n. 49, p. 1057-1071, 1981.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2015: ano base 2014**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em 15 nov. 2015.

FERRARI, S. et al. Statistical models approach for solar radiation prediction. In: **Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013 IEEE International**. IEEE, 2013. p. 1734-1739.

GUJARATI. D.N. **Econometria básica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HASSAN, J. ARIMA and regression models for prediction of daily and monthly clearness index. **Renewable Energy**, v. 68, p. 421-427, 2014.

HEJASE, H.; ASSI, A. Time-series regression model for prediction of mean daily global solar radiation in Al-Ain, UAE. **ISRN Renewable Energy**, v. 2012, 2012

HUANG, R. et al. Solar Generation Prediction using the ARMA Model in a Laboratory-level Micro-grid. In: **Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2012 IEEE Third International Conference on**. IEEE, 2012. p. 528-533.

KWIATKOWSKI, D; PHILLIPS, P. C. B; SCHMIDT, P; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. **Journal of Econometrics**, v. 54, p. 159-178, 1992.

LEE, C.; KO, C. Short-term load forecasting using lifting scheme and ARIMA models. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 5, p. 5902-5911, 2011.

MEYLER, A.; KENNY, G.; QUINN, T. **Forecasting Irish inflation using ARIMA models**. 1998.

MORETTIN, P. A; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

PHILLIPS, P. C. B; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, n. 75, p. 335–346, 1988.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **Software for computing and graphics**. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 20 out. 2015.

REIKARD, G. Predicting solar radiation at high resolutions: A comparison of time series forecasts. **Solar Energy**, v. 83, n. 3, p. 342-349, 2009.

SUN, H. et al. Empirical investigation on modeling solar radiation series with ARMA–GARCH models. **Energy Conversion and Management**, v. 92, p. 385-395, 2015.

TORGO, L. **A linguagem em R: Programação para análise de dados**. Lisboa: Escolar editora, 2009.

TSAY, R. S. **Analysis of financial time series**. 2. ed. New Jersey: John Wiley, 2005.
WU, Ji; CHAN, Calvin K. The Prediction of Monthly Average Solar Radiation with TDNN and ARIMA. In: **Machine Learning and Applications (ICMLA), 2012 11th International Conference on**. IEEE, 2012. p. 469-474.

YÜREKLI, K. et al. Simulating climatic variables by using stochastic approach. **Building and environment**, v. 42, n. 10, p. 3493-3499, 2007.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após as análises e resultados apresentados neste trabalho, foi possível chegar às seguintes conclusões:

O capítulo 1 permitiu constatar que na Paraíba, dos 17 maiores subsetores do setor de alimentos e bebidas, cerca de 56% apresentam processos potenciais de demanda de energia em forma de calor. Sendo esses segmentos potenciais distribuídos da seguinte forma: a mesorregião da Mata Paraibana mostrou predominância do subsetor de sorvetes, cerveja e de fabricação de sucos. O Agreste paraibano apontou a predominância do subsetor de fabricação de sorvete e de conservas de frutas. Na Borborema, se destacou o subsetor de água envasada e de fabricação de laticínios e no Sertão Paraibano, foi registrada a maior concentração do subsetor de laticínios, conserva de frutas e água envasada.

No capítulo 2 ficou explícito que o uso do SAS se comparado ao uso do queimador atmosférico por GLP, pode fornecer redução de 93% na emissão de CO₂-eq, proporcionando um menor impacto ambiental. Sendo considerado viável no aspecto ambiental.

O capítulo 3 mostrou que o estudo de séries temporais pode oferecer maiores conclusões sobre o comportamento de variáveis climáticas. Foi possível concluir que a série temporal de radiação solar global em João Pessoa demonstrou um comportamento estacionário ao longo do tempo, apresentando efeitos de sazonalidade. Com isso, para o fornecimento de previsões, o modelo SARIMA (2,1,0) (2,1,3)₁₂ foi o mais adequado.

O capítulo 4 expôs que é compatível a aplicação de um SAS no processo de pasteurização, por apresentar investimento menor quando comparado à instalação do queimador atmosférico de passagem à GLP, para uma vida útil de 10 anos. A marca de coletor A demonstrou resultados satisfatórios para os indicadores de VPC, B (C) PE e LCOE, despontando um custo 91% menor do que o sistema de aquecimento via queimador atmosférico de passagem à GLP, para a cidade de João Pessoa. Em relação ao custo de produção do kWh, o SAS demonstrou ter um valor 89% menor em relação ao queimador atmosférico. Caso a empresa adote uma poupança de 50% do consumo do GLP, reinvestindo essa poupança em um SAS, ela obterá o retorno do investimento em 2 anos, 5 meses e 20 dias. A mesorregião Sertão Paraibano, por apresentar altos índices de radiação solar global, demanda um SAS com valor de custo inferior, se comparado com outras

mesorregiões.

De modo geral, a implantação de SAS em indústrias do setor de alimentos e bebidas pode ser considerada um investimento viável do ponto de vista econômico, financeiro e ambiental, já que mais da metade dessas indústrias apresentam considerável demanda de energia em forma de calor. Desta forma, este trabalho pode servir como orientação para implantação de um SAS no setor industrial e para o desenvolvimento de políticas públicas. Isso por meio de metodologias que permitem analisar a distribuição territorial de empresa, verificação dos impactos ambientais em processos produtivos, previsões de índices climáticos e dimensionamento e viabilidade financeira de um SAS.

Podemos concluir que o uso de coletores solares térmicos no segmento da indústria de alimentos e bebidas na Paraíba é viável do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

7 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10185: Reservatórios térmicos para líquidos destinados a sistemas de energia solar — Determinação de desempenho térmico — Método de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 10899: Energia solar fotovoltaica -Terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 15569: sistema de aquecimento solar de água em circuito elétrico direto: projeto e instalação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 15747: Sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR ISO 14040/2009 - Gestão ambiental –avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014a.

_____. **NBR ISO 14044/2009 - Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014b.

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Produção de coletores solares para aquecimento de água e reservatórios térmicos no Brasil: ano de 2014.** São Paulo, 2015. Disponível em <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2015-0727/market_statistics_2014_brazil.pdf>. Acesso em 20 jul. 2015.

AL-SALAYMEH, A.; AL-RAWABDEH, I.; EMRAN, S. Economical investigation of an integrated boiler-solar energy saving system in Jordan. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 8, p. 1621-1628, 2010.

BANCO MUNDIAL. **GDP at market prices**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>>. Acesso em jan. 2016a.

_____. **Electric power consumption**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>>. Acesso em jan. 2016b.

_____. **CO₂ emissions per sector**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>>. Acesso em jan. 2016c.

BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica**. 6ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. C. M. D. **Geração de energia elétrica: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2012.

BOX, G; JENKINS, G. **Time series analysis: forecasting and control**. rev. ed., Oakland, California: Holden-Day, 1976.

BP – Petroleum British. **BP statistical review of world energy june 2015**. Disponível em: <<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em jan. 2016.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais - RAIS**. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/rais/>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

_____. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 267. **Regulamento técnico de boas práticas de fabricação para estabelecimentos industrializadores de gelados comestíveis**. Brasília, 2003. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/9f880600474595599d2edd3fbc4c6735/RDC_267_2003.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 09 out. 2015.

_____. INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações e dados**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> .Acesso em 01 set. 2015b.

_____. INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia. **Sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/ColetoresSolares-banho.pdf>>. Acesso em 10 set. 2015a.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em 12 nov. de 2015.

_____.MTE - Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação Anual de Informações Sociais - RAIS**. Disponível em: < <http://portal.mte.gov.br/rais/>>. Acesso em: 12 jul. 2015.

BROCKLEBANK, J.; DICKEY, D. A. **SAS for forecasting time series**. 2 ed. North Carolina: SAS institute, 2003.

BUENO, R.L.S. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

CARVALHO, M.; FREIRE, R. S. ; MAGNO, A. H. **Promotion of sustainability by quantifying and reducing the carbon footprint: new practices for organizations**. In: Global Conference on Global Warming, 2015, Atenas, Grécia. proceedings of the global conference on global warming, 2015.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

DASOL - Departamento Nacional de Aquecimento Solar. **Dados de mercado**. Disponível em : < <http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/> >. Acesso em 19 jan. 2016.

DGGE – Direção Geral de Geologia e Energia. **Utilização de Colectores Solares para a Produção de Calor de Processo Industrial**. Lisboa, 2004.

DICKEY, D. A; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrica**, n. 49, p. 1057-1071, 1981.

DINATO, R. M. **Sistematização dos métodos de contabilização de emissões de gases de efeito estufa sob a ótica do ciclo de vida**. 86 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

DINIZ, C. C.; CROCCO, M. Introdução – Bases teóricas e instrumentais da economia regional e urbana e sua aplicabilidade ao Brasil: uma breve reflexão. In: DINIZ, Clélio Campolina; CROCCO, Marco (Org.). **Economia regional e urbana: contribuições teóricas recentes**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 09 – 31.

REIS, L. B . **Geração de energia elétrica**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2011a.

_____. **Matrizes energéticas: conceitos e usos em gestão e planejamento**. Série Sustentabilidade. EDUSP, 2011b.

ECOINVENT. **The ecoinventdatabase**. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/>>. Acesso em 10 jul. 2015.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. 4 ed. New York: John Wiley and Sons, 2014.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional 2014: ano base 2013**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **Balanço energético nacional 2015: ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015.

FERNANDES, C. L.L.; NOGUEIRA JÚNIOR, R. P. Desequilíbrios Regionais E Evolução Industrial: Uma Análise Para Minas Gerais No Período 1995-2000. In: **Anais do XI Seminário sobre a Economia Mineira [Proceedings of the 11th Seminar on the Economy of Minas Gerais]**. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

FERRARI, S. et al. Statistical models approach for solar radiation prediction. In: **Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013 IEEE International**. IEEE, 2013. p. 1734-1739.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de ciclo de vida dos produtos**. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FERRERA L.J.; PIACENTI, C. A.; ALVES, L. R. O perfil locacional do emprego setorial no Brasil. **Revista Econômica do Nordeste. Fortaleza**, v. 39, n. 3, p. 482-502, 2008.
FESER, E.J. BERGMAN, E.M. National industry cluster templates: a framework for applied regional cluster analysis. **Regional Studies**, 34 (1): 1-19, 2000.

FONSECA, M. W. Hierarquização econômica dos municípios: pólos, sub-Pólos e liderança setorial. In: PERIS, Alfredo Fonseca (Org.). **Estratégias de desenvolvimento regional: região Oeste do Paraná**. Cascavel: Edunioeste, 2003.

FREIRE, R. S. ; CARVALHO, M.; CARMONA, C. U. M. ; MAGNO, A. H. **Perspectives on the implementation of climate change public policies in Brazil**. In: Global Conference on Global Warming, 2015, Atenas, Grécia. proceedings of the global conference on global warming, 2015.

GAPMINDER. **GDP per capita**. <<http://www.gapminder.org/>>. Acesso em Jan 2016.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. B. V. **Ecologia Industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

GOMES, I. M. **Manual como elaborar uma pesquisa de mercado**. Belo Horizonte: SEBRAE/MG, 2013.

GUIMARÃES, B.; GONÇALVES, C. E. S. **Introdução à economia**. São Paulo: Elsevier, 2010.

GUINÉE, J. B. et al. **Handbook on life cycle assessment operational: guide to the ISO standards**. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.

GUJARATI. D.N. **Econometria básica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HADDAD, J. H. (Org.). **Economia regional: teoria e métodos de análise**. Fortaleza: BNB/ETIENE, 1989.

HAMILTON, J. D. **Time series analysis**. Princeton: Princeton university press, 1994.

HARRIS, R.; SOLLIS, R. **Applied time series modelling and forecasting**. New York: John Wiley and Sons, 2003.

HASSAN, J. ARIMA and regression models for prediction of daily and monthly clearness index. **Renewable Energy**, v. 68, p. 421-427, 2014.

HEJASE, H.; ASSI, A. H. Time-series regression model for prediction of mean daily global solar radiation in Al-Ain, UAE. **ISRN Renewable Energy**, v. 2012, 2012.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. **Energia e meio ambiente**. 5 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

HODGE, B. K. **Sistemas e aplicações de energia alternativa**. Grupo Gen-LTC, 2011.

HUANG, R. et al. Solar Generation Prediction using the ARMA Model in a Laboratory-level Micro-grid. In: **Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2012 IEEE Third International Conference on**. IEEE, 2012. p. 528-533.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE**. Disponível em: <http://www.cnae.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 dez. 2014.

_____. **Estados**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em : 15 mar. 2015a.

_____. **Malhas digitais**. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/pt/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em: 15 abr. 2015b.

IEA - International Energy Agency. **Key world energy statistics**. Paris, 2014b. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf> Acesso em: 22 ago. 2015.

_____. **Key World Energy Statistics**. Paris: IEA, 2015. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html>. Acesso em 02 fev. 2016.

IEA - International Energy Agency. **CO₂ emissions from fuel combustion**. Paris, 2014a. Disponível em: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO₂EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf) Acesso em: 22 ago. 2015.

IEA - International Energy Agency ; NEA - Nuclear Energy Agency. **Projected costs of generating electricity: 2010**. OECD/IEA, 2010.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

_____. **Anthropogenic and Natural Radiative Forcing**. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf>. Acesso em 24 mar. 2015.

IPEADATA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Dados macroeconômicos**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em jan. 2016.

JOLLIET, O. et al. **Environmentallife cycle assessment**. Florida: CRC Press, 2015.

JOLLIET, O. et al. The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 9, n. 6, p. 394-404, 2004.

KIRCHGÄSSNER, G.; WOLTERS, J.; HASSLER, U. **Introduction to modern time series analysis**. 2 ed. Berlin: Springer Science & Business Media, 2013.

KWIATKOWSKI, D; PHILLIPS, P. C. B; SCHMIDT, P; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. **Journal of Econometrics**, v. 54, p. 159-178, 1992.

LASSIO, J. G. G.; **Aplicação do programa Simapro na avaliação dos ciclos de vida dos materiais da construção civil: estudo de caso para um conjunto habitacional**. 96 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

LCA-FOOD. **The LCA-fooddatabase**. 2007. Disponível em: <<http://www.lcafood.dk/>>. Acesso em 23 jul. 2015. - 70

LEE, C.; KO, C. Short-term load forecasting using lifting scheme and ARIMA models. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 5, p. 5902-5911, 2011.

LEMES, A. B. J.; CHEROBIM, A. P. M. S.; RIGO, C. M. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. 2010.

LIMA JÚNIOR, V. B. Determinação da taxa de desconto para uso na avaliação de projetos de investimentos florestais. **Sc. Tesis. Imprensa Universitária. Viçosa, Brasil**, 1995.

LIMA, J. F. et al. Análise Regional das Mesorregiões do Estado do Paraná no Final do Século xx. **Análise Econômica**, v.24, n.46, 2006a.

LIMA, J. F. et al. O Comportamento Locacional Da Mao-De-Obra Na Região Sudeste Do Brasil: Notas Comparativas A Partir Dos Indicadores De Analise Regional. In: **44th Congress, July 23-27, 2006, Fortaleza, Ceará, Brazil**. Sociedade Brasileira de Economia, Administracao e Sociologia Rural (SOBER), 2006b.

LIMA, J. F. et al. O uso das terras no sul do Brasil: uma análise a partir de indicadores de localização. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 4, p. 677-694, 2006c.

LOPEZ, R. A. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

MACHADO, M. G. C. **Modelização do ciclo de vida do vinho verde e da rolha de cortiça natural por utilização do SimaPro recorrendo a vários métodos de avaliação de impactos ambientais**. 88 f. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L. Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. **Solar Energy**, v. 81, n. 4, p. 517-528, 2007.

MELQUIADES, T. F.; COELHO, I. M. A.; COELHO JUNIOR, L. M. ; CARVALHO, M. **Quantificação dos impactos ambientais do processo produtivo do pão francês**. In: 10º Congresso Internacional de Bioenergia, 2015, São Paulo. Anais do 10º Congresso Internacional de Bioenergia, 2015.

MENEZES, H. A. F. ; CARVALHO, M.; FREIRE, R. S. **Identificação de boas práticas para implementação da análise do ciclo de vida na Paraíba**. In: 10º Congresso Internacional de Bioenergia, 2015, São Paulo. Anais do 10º Congresso Internacional de Bioenergia, 2015.

MEYLER, A.; KENNY, G.; QUINN, T. **Forecasting Irish inflation using ARIMA models**. 1998.

MORETTIN, P. A; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

NASCIMENTO, M.V. et al. Energia eólica. In: TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. p. 207 – 237.

NGÔ, C. **Energia: o motor da humanidade**. São Paulo: SENAC, 2011.

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. São Paulo: Hemus, 2002.

PEREIRA, E.M.D. et al. Energia solar térmica. In: TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. p. 239 – 279.

PEREIRA, Mário Jorge. **Energia: eficiência e alternativas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

PHILLIPS, P. C. B; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, n. 75, p. 335–346, 1988.

PIACENTI, C. A. et al. Análise regional dos municípios lindeiros ao lago da Usina Hidroelétrica de Itaipu. In: Encontro brasileiro de estudos regionais e urbanos, 2,2002, São Paulo, **Anais...** São Paulo: ABER, 2002. 1 CD-ROM.

PIACENTI, C. A.; FERRERA DE LIMA, J. (Coord.). **Análise do impacto dos reservatórios das hidroelétricas no desenvolvimento econômico microrregional**. Toledo: UNIOESTE - Campus de Toledo, março/2001. 245 p. (Relatório de Pesquisa. UNIOESTE – Campus de Toledo/Fundação Araucária - Projeto 612.) projeto concluído,

2002.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. 7ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010.

PRÉCONSULTANTS. **SimaProDatabase Manual Methodslibrary**. PRéConsultants, 2014b.

_____. **Software SimaPro**. 2014a. Disponível em: <<http://www.pre.nl/simapro>>. Acesso em 02 jul. 2015.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **Software for computing and graphics**. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 20 out. 2015.

REIKARD, G. Predicting solar radiation at high resolutions: A comparison of time series forecasts. **Solar Energy**, v. 83, n. 3, p. 342-349, 2009.

REN21 – Renewable Energy Policy Network for The 21st Century. **Renewables 2015 global status report**. Paris: REN21 Secretariat, 2015.

REZENDE, José Luiz Pereira de; OLIVEIRA, A. D de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: UFV, 2001.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D de. Avaliação de projetos florestais. **Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária**, p. 47, 1993.

RIBEIRO, L. A. **Iniciação ao estudo da economia regional**. Fortaleza: UFC, 1981.

ROSA, A. Processos de energias renováveis. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SANTOS, M. **Espaço e sociedade**. 2 ed. Petrópolis: Vozes, 1979.

SCHNITZER, H.; BRUNNER, C.; GWEHENBERGER, G. Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13, p. 1271-1286, 2007.

SCHWEIGER, H. et al. **The Potential of Solar Heat in Industrial Processes**. Denmark: Copenhagen, 2000.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Ideias de negócios para 2014: fabricação de sorvetes e outros gelados comestíveis**. Brasília, 2012. Disponível em <<http://segmentos.sebrae2014.com.br/ideiasdenegocios/fabricacao-de-sorvetes-e-outros-gelados-comestiveis/?id=8784&t=-1>>. Acesso em 20 jul. 2015.

SICONGEL - Sindicato da Indústria Alimentar de Congelados, Supercongelados, Sorvetes, Concentrados e Liofilizados no Estado de São Paulo. **Dados estatísticos do setor 2014**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.sicongel.org.br/arquivos/Dadosestatisticosdosetor20142015.pdf>>. Acesso em 24 jul. 2015.

SILVA, R. P. **Simulação e avaliação econômica de um programa plurianual de reflorestamento para fins de planejamento da empresa florestal**. Viçosa: UFV, 1992. 56p.. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1992.

SIMÕES, R. Métodos de análise regional: diagnóstico para o planejamento. In: DINIZ, Clélio Campolina; CROCCO, Marco (Org.). **Economia regional e urbana: contribuições teóricas recentes**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. p. 269 – 297.

SOUZA, C. C. G.; ALVES, L. R. A Especialização E A Reestruturação Produtiva Das Atividades Econômicas Entre As Mesorregiões Do Brasil Entre 2000 A 2009. **revista. gepec**, v. 15, p.145-161, 2011.

SOUZA, N.J. Economia regional: conceitos e fundamentos teóricos. **Perspectiva Econômica**, v. 11, n. 32, p. 67-102, 1981.

SUN, H. et al. Empirical investigation on modeling solar radiation series with ARMA–GARCH models. **Energy Conversion and Management**, v. 92, p. 385-395, 2015.

THISSE, J. Geografia Econômica. In: CRUZ, Bruno de Oliveira. (Org.). **Economia regional e urbana: teorias e métodos com ênfase no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011.

TORGO. L. **A linguagem em R: Programação para análise de dados**. Lisboa: Escolar editora, 2009.

TSAY, R. S. **Analysis of financial time series**. 2. ed. New Jersey: John Wiley, 2005. USLCI. **Database**. 2013. Disponível em:< <http://www.gabi-software.com/databases/gabi-data-search/>>. Acesso em 10 jul. 2015.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: princípios básicos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

WEISS, W.; BERGMANN, I.; FANINGER, G. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2003**. Graz: Steinhuber infodesign, 2005.

_____. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2004**. Graz: Steinhuber infodesign, 2006.

_____. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2005**. Graz: Steinhuber infodesign, 2007.

_____. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2006**. Graz: Steinhuber infodesign, 2008.

_____. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2007**. Graz: Steinhuber infodesign, 2009.

WEISS, W.; FANINGER, G. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2008**. Graz: Steinhuber infodesign, 2010.

_____. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2009.**
Graz: Steinhuber infodesign, 2011.

_____. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2010.**
Graz: Steinhuber infodesign, 2012.

_____. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2011.**
Graz: Steinhuber infodesign, 2013.

_____. **Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2012.**
Graz: Steinhuber infodesign, 2014.

WU, Ji; CHAN, Calvin K. The Prediction of Monthly Average Solar Radiation with TDNN and ARIMA. In: **Machine Learning and Applications (ICMLA), 2012 11th International Conference on.** IEEE, 2012. p. 469-474.

YÜREKLI, K. et al. Simulating climatic variables by using stochastic approach. **Building and environment**, v. 42, n. 10, p. 3493-3499, 2007.