

revista brasileira de
ENERGIA



Sociedade Brasileira de
Planejamento Energético

Volume 25, Nº 3, 2º Semestre de 2019

Diagramação

Kelly Fernanda dos Reis

Revisão

Célio Bermann e Kelly Fernanda dos Reis

**Revista Brasileira de Energia
Vol. 25 - nº 3**

Itajubá, 2019 - SBPE

Editor: Célio Bermann
84 p.

1 - Energia - artigos

2 - Publicação científica

ISSN: 2317-6652

É permitida a reprodução parcial ou total da obra, desde que citada a fonte.

revista brasileira de
ENERGIA

A Revista Brasileira de Energia tem como missão:

“Divulgar trabalhos acadêmicos, estudos técnicos e resultados de pesquisas relacionadas ao planejamento energético do país e das suas relações regionais e internacionais.”

Editor Responsável

Célio Bermann

Comitê Editorial

Annemarlen Gehrke Castagna

Edmilson Moutinho dos Santos

Edmar Luiz Fagundes de Almeida

Edson da Costa Bortoni

Eduardo Mirko V. Turdera

Elizabeth Cartaxo

Ivo Leandro Dorileo

Jamil Haddad

Luiz Augusto Horta Nogueira

Mauro Donizeti Berni

Sergio Valdir Bajay

Virginia Parente

A Revista Brasileira de Energia (RBE) é uma publicação da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE), editada trimestralmente.

Diretoria da SBPE

Presidente: Ivo Leandro Dorileo

Vice-Presidente: Edson da Costa Bortoni

Diretora de Eventos: Annemarlen Gehrke Castagna

Diretor de Publicações: Célio Bermann

Diretor Administrativo: Mauro Donizeti Berni

Conselho Fiscal

Edmilson Moutinho dos Santos

Jamil Haddad

Sérgio Valdir Bajay

Conselho Consultivo

Afonso Henriques Moreira Santos

Célio Bermann

Edmilson Moutinho dos Santos

Ivan Marques de Toledo Camargo

Jamil Haddad

José Roberto Moreira

Luiz Pinguelli Rosa

Maurício Tiommo Tolmasquim

Oswaldo Lívio Soliano Pereira

Sergio Valdir Bajay

Secretaria Executiva da SBPE

Kelly Fernanda dos Reis e Lúcia Garrido Rios

Endereço: Av. BPS, 1303 – Pinheirinho

Itajubá – MG – CEP:37.500-903

E-mail: exec@sbpe.org.br

Os artigos podem ser enviados por meio do site da SBPE

www.sbpe.org.br

EDITORIAL

A Revista Brasileira de Energia complementa com este terceiro número de 2019 a publicação dos artigos que haviam sido submetidos à RBE e que aguardavam a oportunidade de serem publicados.

O esforço empreendido na modernização da RBE que ocorreu ao longo do ano de 2019, finalmente, se consolida no presente número. Entretanto, esse esforço não se esgota com a criação de uma plataforma digital que hoje possibilita o controle de todas as etapas que envolvem a publicação de um artigo, tornando mais célere o processo e com a disponibilização do DOI (Digital Object Identifier) para cada um dos artigos publicados.

Os leitores da Revista Brasileira de Energia podem aguardar novos esforços no sentido de alcançar um alto e devido reconhecimento científico e acadêmico deste tradicional meio de divulgação da temática energética.

Para este terceiro número da RBE em 2019 são apresentados quatro artigos. O primeiro deles foi elaborado por Marcio Zamboti Fortes, Leandro Braz Sousa, Bruno Soares Moreira Cesar Borba, da Universidade Federal Fluminense, e tem o título de “Análise do impacto econômico no setor industrial com a utilização de motores de alto rendimento”, onde os autores propõem uma análise comparativa das normas e políticas de eficiência energética de motores de indução trifásicos.

No segundo artigo “Extraction of geometrical information used in photovoltaic potential estimation from UAV optical images”, Caisse Amisse, Alvaro Muriel Lima Machado e Jorge Antonio Silva Centeno, da Universidade Federal do Paraná, sendo a primeira autora também vinculada à Universidade Rovuma de Moçambique, apresentam uma metodologia para extração de informação geométrica usada para estimativa do potencial fotovoltaico e coleta da água de chuva utilizando câmeras a bordo de plataformas UAV para aerofilmagens e a utilização de algoritmos SfM para o processamento das informações coletadas.

Também abordando a energia solar fotovoltaica, o terceiro artigo “Photovoltaic solar energy production for brazilian buildings in climate change scenarios, de Carolina Sgarbossa, da Universidade de São Paulo, e Jorim Sousa das Virgens Filho, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, realizam uma estimativa da produção de energia solar fotovoltaica para residências unifamiliares em oito localidades selecionadas para o Estado do Paraná em cenários de possíveis mudanças climáticas projetadas até o final do século XXI, utilizando o software PGECLIMA_R para a simulação dos cenários climáticos.

Por fim, Bruno Camargo , da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e Sâmique Kyene de Carvalho Camargo, da Universidade Estadual Paulista, autores do artigo “Uma revisão sistemática da produção de pellets provenientes de resíduos agroflorestais para fins energéticos”, realizam um levantamento e identificação dos artigos mais relevantes no tema do aproveitamento energético de resíduos florestais a partir da produção de pellets, utilizando as bases Web of Science e Scopus no período 2012-2016. Certamente este artigo é um convite para a atualização para os pesquisadores envolvidos nesta temática.

Boa leitura!

Célio Bermann

Editor Responsável da Revista Brasileira de Energia

SUMÁRIO

ANÁLISE DO IMPACTO ECONÔMICO NO SETOR INDUSTRIAL COM A UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO.....08

Marcio Zamboti Fortes, Leandro Braz Sousa, Bruno Soares Moreira Cesar Borba

EXTRACTION OF GEOMETRICAL INFORMATION USED IN PHOTOVOLTAIC POTENTIAL ESTIMATION FROM UAV OPTICAL IMAGES.....25

Caisse Amisse, Alvaro Muriel Lima Machado, Jorge Antonio Silva Centeno

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY PRODUCTION FOR BRAZILIAN BUILDINGS IN CLIMATE CHANGE SCENARIOS.....42

Carolina Sgarbossa, Jorim Sousa das Virgens Filho

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA PRODUÇÃO DE PELLETS PROVENIENTES DE RESÍDUOS AGROFLORESTAIS PARA FINS ENERGÉTICOS.....71

Bruno Camargo, Sâmique Kyene de Carvalho Camargo

ANÁLISE DO IMPACTO ECONÔMICO NO SETOR INDUSTRIAL COM A UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Marcio Zamboti Fortes¹
Leandro Braz Sousa¹
Bruno Soares Moreira Cesar Borba¹

¹Universidade Federal Fluminense

DOI: 10.47168/rbe.v25i3.461

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de realizar uma comparação entre as normas e políticas de eficiência energética de motores de indução trifásicos. Inicialmente apresenta-se um cenário mundial onde é possível comparar as políticas de eficiência energética do Brasil. A metodologia proposta baseia-se na aplicação da norma brasileira NBR 17094-3, Máquinas Elétricas Girantes. As devidas comparações são realizadas entre os limites mínimos de eficiência aceitos pela norma NBR 17094-1 e IEC 60034-30-1. A NBR apresenta níveis de eficiência IR2 e IR3 enquanto a IEC apresenta níveis de IE1 até IE4. Criou-se um cenário para uma análise técnica econômica de um planejamento do setor industrial determinando o consumo de energia de motores de indução durante um período de 10 anos. Este estudo mostra que os países em que são exigidos maiores níveis mínimos de eficiência conseguem ter uma redução da demanda e conseqüentemente um melhor controle da eficiência energética, possivelmente apresentando menores perdas além de aliviar a sobrecarga das usinas geradoras, desta forma acarretando menores custos operacionais.

Palavras-chave: Impacto econômico, Motores de alto rendimento, Planejamento energético, NBR 17094-1, IEC 60034-30-1.

ABSTRACT

This article aims to compare energy efficiency standards and policies for three-phase induction motors. Initially, a world scenario is presented where it is possible to compare Brazil's energy efficiency policies. The proposed methodology is based on the application of the Brazilian standard NBR 17094-3 Rotating Electric Machines. Comparisons are made between the minimum efficiency limits accepted by NBR 17094-1 and IEC 60034-30-1. The NBR presents levels of efficiency IR2 and IR3

while the IEC presents levels from IE1 to IE4. A scenario was created to carry out a technical-economic analysis of an industrial sector planning determining the energy consumption of induction motors for 10 years. This study shows that the countries that demand higher minimum levels of efficiency can have a demand reduction and, consequently, better control of energy efficiency, possibly presenting lower losses in addition to relieving the overload of the generating plants, thus resulting in lower operating costs.

Keywords: Economic Impact, High Efficiency Motors, Energy Planning, NBR 17094-1, IEC 60034-30-1.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem intuito de avaliar a economia de energia com a utilização de motores de alto rendimento, onde o valor mínimo de rendimento da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 17094-1:2018 siga o padrão da IEC 60034-30-1:2014 e, incentivar os órgãos competentes a exigir maiores valores mínimos de eficiência de motores de indução no Brasil. A eficiência energética é frequentemente o meio de menor custo para atender a nova demanda por energia. Além de reduzir o consumo global de energia, também incentiva o desenvolvimento nacional e conseqüentemente maiores oportunidades de empregos.

A eficiência energética é particularmente importante, tendo em vista que a demanda global por energia teve um aumento significativo nos últimos anos. O consumo mundial total de energia primária aumentou mais de 50 % entre 1973 e 2015. Em 2015, o mundo consumiu 13.647 milhões de toneladas equivalente (Mtoe), das quais carvão, petróleo, hidro e gás natural forneceram 82,3% (IEA, 2017). Estima-se que a demanda global por energia deve crescer outros 28 % até 2040 (EIA-US, 2017).

O Boletim Internacional de Eficiência Energética de 2016 examinou as políticas de eficiência energética e o desempenho de 23 dos principais países consumidores de energia do mundo, onde o Brasil obteve a 22ª colocação a frente apenas da Arábia Saudita, analisando de forma global, esses países representam 75% de toda a energia consumida no planeta (ACEEE, 2016). O consumo de energia elétrica no Brasil mostra que o setor industrial é o maior consumidor de toda a energia elétrica produzida, consumindo 44% da energia elétrica do país. Dentro do setor industrial, os motores são responsáveis por aproximadamente 55% deste consumo (Freitas, 2008).

O motor de indução trifásico standard é o mais utilizado pelas indústrias, pois é robusto, de alta confiabilidade, reage bem a variações de carga e tem baixo custo. Por ser muito utilizado pelas indústrias,

calcula-se que esses motores consomem 25% de toda a energia produzida no Brasil (Bortoni, 2006). Se o rendimento destes motores aumentar em 0,5%, a economia equivalerá à energia produzida por uma usina geradora de 120 MW, ou seja, um investimento em torno de duzentos milhões de dólares por ano (Haddad, 2007).

Estas pesquisas e outros indicadores levam a uma grande parcela de empresários a viabilizar estudos no intuito do combate ao desperdício de energia com a utilização dos motores de alto rendimento. Através de órgãos como: PROCEL com o Programa Nacional ao Combate ao Desperdício de Energia, CEPEL (Centro de Pesquisa de Energia Elétrica), a canadense CIDA (*Canadian International Development Agency*) entre outros (Ramos, 2005).

Os motores que possuem maiores níveis de eficiência vêm ganhando seu espaço nos setores industriais onde seu projeto é desenvolvido de forma que seu rendimento seja superior ao de um motor convencional standard. Com estes novos projetos reduz-se o consumo de energia através da potência de entrada e entrega-se a mesma potência útil na ponta do eixo. Esta melhoria de rendimento é possível devido ao desenvolvimento das características construtivas no início do projeto do motor, gerando menores perdas, sendo elas: nos enrolamentos do estator e rotor, onde essas variam através da temperatura do motor; perdas no núcleo, que corresponde a soma das perdas por histerese e perdas causadas por correntes parasitas no ferro; perdas por atrito e ventilação que são as perdas mecânicas, devidas ao atrito dos mancais e à própria ventilação e, as perdas suplementares que são as perdas adicionais no ferro e em outras partes metálicas introduzidas pela carga e perdas nos condutores do enrolamento do estator e do rotor causadas por correntes parasitas dependentes da pulsação do fluxo desta forma reduzindo a temperatura e aumentando a vida útil do motor (Bortoni, 2006).

Desta forma este trabalho tem como objetivo realizar uma comparação entre duas normas de eficiência energética de motores que determinam diferentes valores mínimos de rendimento a plena carga, a primeira: NBR 17094-1:2018, máquinas elétricas girantes - motores de indução trifásicos, representando o cenário nacional e a segunda representando o cenário internacional onde utilizaremos a IEC 60034-30-1:2014 *Rotating electrical machines -Efficiency classes of line operated AC motor (code IE)*. Desta forma, é possível efetuar uma comparação da eficiência das máquinas com motores de 2 a 8 polos e verificar o afastamento (diferenças) entre os rendimentos encontrados, analisando-se o impacto econômico que a divergência dessas normas representa no setor industrial Brasileiro.

2. METODOLOGIA

A principal característica dos motores de alto rendimento é a melhoria em determinados pontos onde se concentram a maioria das perdas. Sendo eles: o aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, incluindo o projeto otimizado das ranhuras e o superdimensionamento das barras do rotor para diminuir as perdas por efeito Joule; diminuição da intensidade de campo magnético e utilização de chapas magnéticas de melhor qualidade para reduzir as perdas no ferro e a corrente de magnetização; emprego de rolamentos adequados e otimização do projeto dos ventiladores para diminuir as perdas por atrito e ventilação; e, finalmente, regularidade do entreferro, melhoria no material utilizado no isolamento e tratamento térmico das chapas do estator e rotor para reduzir as perdas adicionais. Estas medidas podem acarretar uma redução de até 30% das perdas quando comparado com o motor standard, o que significa uma real economia de energia (ANEELa, 2012). Apresentando algumas vantagens, além da economia no consumo de energia é possível obter um maior fator de potência, temperaturas de operação mais baixas devido a redução das perdas, vida útil maior devido ao menor stress térmico, rendimento maior e mais constante mesmo com cargas abaixo da nominal, entre outros (Bortoni, 2006).

Cerca de dois milhões e quinhentos mil motores de indução trifásicos foram vendidos no mercado brasileiro no ano de 1992 a 2012. Onde é relatado a distribuição percentual da venda destes motores por faixa de potência. Sendo que quase 90% dos motores vendidos estão na faixa de potência entre 0 e 10 CV, onde 33% possuem potência no máximo de até 1CV e 56% com potências de 1,5 a 10 CV, seguindo pelos motores com potências de 12,5 até 40 CV com 8%, motores de 50 até 100 CV com 2% e por fins motores com potência de 125 até 300 CV contribuindo com 1% da venda total do mercado (Centrais Elétricas Brasileiras S.A, 2016). A Figura 1 detalha a quantidade de motores vendidos por faixa de potência.

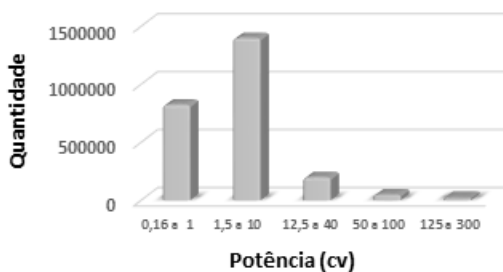


Figura 1 - Venda de motores no Brasil

Diante deste cenário comercial a norma NBR17094-1:2018 torna-se de suma importância, onde a partir da revisão do ano 2000 foram incluídos os valores de rendimentos mínimos para motores de indução trifásicos. Na versão de 2013 a norma expande o universo de motores elétricos normalizados. Nesta revisão de 2013 foram excluídos os motores elétricos da linha padrão, em coerência com a portaria interministerial nº 553 de 2005, e incluídos rendimentos mínimos para a linha da classe IR3 ou premium, pela primeira vez no texto da referida norma (Centrais Elétricas Brasileiras S.A, 2016).

Em 2018 a ABNT apresentou uma nova versão, onde foram incluídos pela primeira vez valores mínimos de rendimento para motores de indução trifásicos com potências menores que 1 CV. As potências desses motores não tinham valores de rendimento normalizados nem método de ensaio estabelecido, cabendo ao fabricante marcar o rendimento na placa de identificação e indicar o método de ensaio. Na Tabela 1, apresentam-se os rendimentos mínimos exigidos para a classe IR3 no Brasil a partir de março de 2018 (ANBT, 2018).

Tabela 1 - Menores valores de rendimento nominal a plena carga, para motores da classe IR3 ou rendimento "Premium"

Potência nominal		Número de polos			
		2	4	6	8
kW	CV	Rendimento nominal			
0,12	0,16	62	66	64	59,5
0,18	0,25	65,6	69,5	67,5	64
0,25	0,33	69,5	73,4	69	68
0,37	0,5	73,4	78,2	75,3	72
0,55	0,75	76,8	79	79,5	74
0,75	1	80,5	83,5	82,5	75,5
1,1	1,5	84	86,5	87,5	78,5
1,5	2	85,5	86,5	88,5	84
2,2	3	86,5	89,5	89,5	85,5
3,7	5	88,5	89,5	89,5	86,5
5,5	7,5	89,5	91,7	91	86,5
7,5	10	90,2	91,7	91	89,5
11	15	91	92,4	91,7	89,5
15	20	91	93	91,7	90,2
18,5	25	91,7	93,6	93	90,2
22	30	91,7	93,6	93	91,7
30	40	92,4	94,1	94,1	91,7

Tabela 1 - Continuação.

Potência nominal		Número de polos			
		2	4	6	8
kW	CV	Rendimento nominal			
37	50	93	94,5	94,1	92,4
45	60	93,6	95	94,5	92,4
55	75	93,6	95,4	94,5	93,6
75	100	94,1	95,4	95	93,6
90	125	95	95,4	95	94,1
110	150	95	95,8	95,8	94,1
150	200	95,4	96,2	95,8	94,5
185	250	95,8	96,2	95,8	95
220	300	95,8	96,2	95,8	95
260	350	95,8	96,2	95,8	95
300	400	95,8	96,2	95,8	95
330	450	95,8	96,2	95,8	95
370	500	95,8	96,2	95,8	95

Em 2008, a Comissão Internacional de Eletrotécnica - (IEC) criou uma norma internacional (IEC 60034-30) para eficiência de motores, apresentando classes mínimas de eficiência de IE1 na qual tem-se menores índices de eficiência, até a IE4 que apresentam maiores valores de rendimentos mínimos que devem ser seguidos na fabricação de motores de indução trifásicos. A norma IEC 60034-30: 2008 foi substituída pela IEC 60034-30-1: 2014, que ampliou o escopo da norma, cobrindo motores com uma faixa de potência entre 0,12 kW e 1000 kW (European Commission, 2014).

As Normas Internacionais da IEC classificam os motores de acordo com as suas classes de eficiência energética e possuem um sistema IECEE (Sistema da IEC para os Esquemas de Avaliação da Conformidade para equipamentos e componentes eletrotécnicos) que buscam realizar a avaliação da conformidade da IEC, colocando em operação um programa global de ensaios de motores elétricos. Desta forma é possível verificar se os índices de eficiências prometidos pelos fabricantes são atendidos (IECa, 2018). Na tabela 2 são apresentados os valores mínimos de eficiência da norma IEC classe IE4 (IECb, 2014).

Tabela 2 - Menores valores de rendimento nominal a plena carga, para motores da classe IE4 ou rendimento “Super Premium”

	PN	Velocidade síncrona / Numero de polos			
		RPM			
CV	kW	3600/2	1800/4	1200/6	900/8
0,16	0,12	66	70	68	64
0,25	0,18	70	74	72	68
0,33	0,25	74	77	75,5	72
0,5	0,37	77	81,5	78,5	75,5
0,75	0,55	80	84	82,5	77
1	0,75	82,5	85,5	84	78,5
1,5	1,1	85,5	87,5	88,5	81,5
2	1,5	86,5	88,5	89,5	85,5
3	2,2	88,5	91	90,2	87,5
5	3,7	89,5	91	90,2	88,5
7,5	5,5	90,2	92,4	91,7	88,5
10	7,5	91,7	92,4	92,4	91
15	11	92,4	93,6	93	91
20	15	92,4	94,1	93	91,7
25	18,5	93	94,5	94,1	91,7
30	22	93	94,5	94,1	93
40	30	93,6	95	95	93
50	37	94,1	95,4	95	93,6
60	45	94,5	95,4	95,4	93,6
75	55	94,5	95,8	95,4	94,5
100	75	95	96,2	95,8	94,5
125	90	95,4	96,2	95,8	95
150	110	95,4	96,2	96,2	95
200	150	95,8	96,5	96,2	95,4
250	185	96,2	96,5	96,2	95,4
300	220	96,2	96,8	96,5	95,4
350	250 até 1000	96,2	96,8	96,5	95,8

Após apresentado os máximos valores mínimos de rendimento nacional e internacional é possível realizar uma comparação na qual pode-se observar que para motores de 0,25 kW, 6 polos, o rendimento da norma IEC apresenta uma diferença significativa de 6,5% quando comparado ao rendimento da NBR, essas diferenças de rendimento se

estendem para todas as potências para os motores de 2 a 8 polos na qual a IEC sempre apresenta maiores valores.

Dados relatam que setor industrial é líder no ranking dos maiores consumidores de energia elétrica no Brasil com a aplicação de 192.616 GWh em 2007(ANEELb, 2008). E com o passar dos anos o consumo de energia vem crescendo de forma surpreendente e tende a exigir investimentos pesados na expansão da oferta de energia elétrica, ainda assim poderá não ser o suficiente para atender a demanda em 2030 (Bronzatti, 2008).

Desta forma se os órgãos competentes como INMETRO, PROCEL e ABNT avaliassem as referências internacionais e aplicassem os mesmos valores de rendimentos mínimos que a IEC 60034-30-1:2014 adota, a norma brasileira apresentaria uma grande redução do consumo de energia com o passar dos anos. Na figura 2 é apresentado a comparação entre os valores mínimos de rendimento das normas mencionadas para motores de 2 a 8 polos, na qual a análise foi realizada aplicando a comparação entre as potências compatíveis dentre as duas normas.

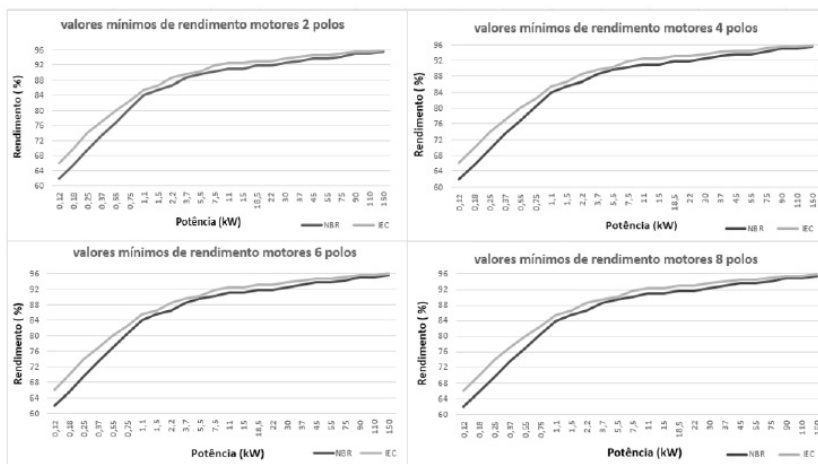


Figura 2- Comparação de valores mínimos de rendimento

É notório que os motores de menores potências regidos pela NBR apresentam valores de rendimentos bem inferiores do que a IEC, sendo que os motores de 1 a 10 CV são os mais vendidos no mercado, desta forma apresentando impactos negativos quando se trata de eficiência energética.

Com o objetivo de avaliar a economia de energia usando motores de alta eficiência as seguintes formulações matemáticas foram utilizadas, obtendo a economia anual de energia (EAE), que é dada pela substituição de um motor eficiente IR3 ou premium por um motor IE4 de alta eficiência energética. Esta avaliação pode ser estimada usando as seguintes equações (ABDELAZIZ, 2010):

$$CEA = \frac{P_S \cdot Q_M \cdot H_O}{\eta} \quad (1)$$

$$EAE = CEA_{NBR} - CEA_{IEC} \quad (2)$$

Onde:

EAE = Economia anual de energia;

CEA = Consumo de energia anual;

P_S = Potência de saída (kW);

Q_M = Quantidade de motores;

H_O = Horas de operação durante o ano;

η = Rendimento.

Para a sequência desta pesquisa utilizaram-se dados coletados pela ANEEL onde o valor do MWh em horários fora ponta para o setor industrial modalidade verde e azul, subgrupo A1 a A4 é de R\$ 258,65 reais (ANEEL, 2018), considerando o aumento da tarifa conforme o IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo) de 2,5%, é aplicada a Equação 3 para determinar o valor futuro da energia durante um período de 10 anos assim podendo obter com maiores detalhes o impacto econômico causado (IBGE, 2018 – PROCEL, 2009).

$$VF = VP \cdot (1 + i)^{n_1} \quad (3)$$

Onde:

VF = Valor futuro;

VP = Valor presente;

I = taxa de juros;

n₁ = Período.

Por fim, conforme Equação 4 torna-se necessário calcular a economia de energia a cada ano onde é possível ver de forma detalhada as potências que causam um maior impacto em eficiência energética na economia nacional.

$$EE_{ano\ presente} = (EAE \times VF) + EE_{ano\ anterior} \quad (4)$$

Onde:

EE = Economia de energia;

EAE = economia anual de energia;

VF = valor futuro da tarifa.

3. ESTUDO DE CASO

Neste trabalho consideram-se que as perdas dos motores IR3 e IE4 aumentam com o passar dos anos e os rendimentos apresentam valores reduzidos de 0,5 % ao ano para motores da classe IR3 e 0,3 % ao ano para a classe IE4.

Neste estudo considera-se que os motores possuem um regime de trabalho no chão de fábrica atuando a plena carga, com temperaturas ambientes máximas de até 40°C, operam com frequência de 60 Hz, regime S1, fator de serviço 1,15, classe de isolamento F e H e as empresas operam em dois turnos sendo eles de 23h às 8h e 8h às 17h, 6480h por ano, e a análise foi realizada para um período de 10 anos levando em consideração o tempo de vida útil dos motores conforme referência (AGOSTINHO, 2017).

Este trabalho tem intuito de analisar o setor industrial pois representa o maior impacto referente a consumo de energia nacional, prevendo que em 2030 é estimado um consumo de energia elétrica entre 950 e 1.250 TWh/ano, sabendo que o consumo em 2006 era em torno de 405 TWh, se o fornecimento dessa energia depender apenas de usinas hidrelétrica, mesmo com um acréscimo de 80% nas instalações de novas usinas que equivaleria a 120 mil MW instalados, ainda sim poderia não ser o suficiente para atender a demanda em 2030 (ANEELb, 2008 – Bronzatti, 2008). Sabe-se que novas fontes de energia estão se apresentando como solução para um possível déficit energético, mas nesta análise as considerações estão baseadas no cenário descrito.

Considerando-se que grande parte dos motores vendidos estão instalados nas indústrias, obtendo valores de vendas iguais por faixas de potências conforme demonstrado na Tabela 3, considera-se na

simulação que os valores mínimos de rendimento da NBR se igualem com o da IEC e que entraram em vigor a partir de 2018.

Tabela 3 - Quantidade motores instalados nas indústrias

Quantidade de motores nas indústrias					
Potência (CV)	0,16 a 1	1,5 a 10	15 a 40	50 a 100	125 a 300
Quantidade	68.750	116.667	16.667	4.167	2.083

Inicialmente calcula-se o consumo de energia anual para os motores IR3 e IE4 com estes operando 6480 horas por ano conforme o modelo de 0,25 kW, 6 polos, dado como exemplo, assim demonstrando os cálculos para as demais potências.

$$CEA_{NBR} = \frac{250 \times 68750 \times 6480}{0,69 \times 0,95} = 169.908 \text{ MWh}$$

$$CEA_{IEC} = \frac{250 \times 68750 \times 6480}{0,755 \times 0,97} = 152.079 \text{ MWh}$$

Obtidos os valores do consumo de energia anual das normas IEC e NBR é calculado a economia anual de energia e o valor futuro da tarifa para um período de 10 anos, desta forma se torna possível obter o valor da economia de energia em reais sendo que o valor da economia do ano anterior é de R\$ 41.891.280,00.

$$EAE = 169.908 - 152.079 = 17.829 \text{ MW h/a no}$$

$$VF = 258,65 \times (1 + 0,025)^{10} = \text{R\$ } 331,09/\text{a no}$$

$$EE_{10 \text{ anos}} = (17.829 \times 331,09) + 41.891.280,00 = \text{R\$ } 47.794.283,61$$

4. RESULTADOS

Para as potências de 0,16 a 300 CV citadas na norma NBR 17094-1 são aplicados os cálculos mencionados, nos quais os resultados apontam para uma economia por motores de 2 a 8 polos entre determinadas faixas de potências. Os motores de 1,5 a 10 CV apresentam um maior impacto com uma economia de aproximadamente 5,7 bilhões de reais durante um período de 10 anos, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Economia com a utilização de motores Super Premium em milhões de reais período 10 anos

Economia período 10 anos milhões (R\$)				
Potência (CV)	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
0,16 a 1	216,848	212,094	208,524	240,660
1,5 a 10	1415,000	1261,940	1230,383	1861,285
15 a 40	886,751	744,689	796,671	934,841
50 a 100	402,099	335,413	382,990	421,554
125 a 300	517,736	534,557	561,467	602,807

É também verificada uma redução do consumo de energia em MWh, considerando o mesmo período, sendo a soma total desse consumo, levando em consideração as potências e o número de polos apresentados, totalizam uma redução de 41.584.309 milhões de MWh. Esta redução é uma referência para o potencial de alívio na sobrecarga das usinas geradoras de energia ou custo evitado com o despacho de fontes geradoras de muito valor por MWh como as centrais termelétricas. Os dados são apresentados conforme tabela 5.

Tabela 5 - Economia de energia período de 10 anos

Economia MWh período 10 anos				
Potência (CV)	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
0,16 a 1	654945	640586	629804	726864
1,5 a 10	4273711	3811427	3716114	5621624
15 a 40	2678246	2249178	2406178	2823493
50 a 100	1214457	1013046	1156742	1273216
125 a 300	1563712	1614519	1695793	1820653

Desta forma reiterasse a importância dos diversos segmentos do setor industrial realizarem uma análise econômica visando a substituição dos motores instalados em sua empresa. Neste trabalho apresenta-se o período do retorno simples do investimento que é a razão entre o custo do investimento e economia gerada, considerando um fluxo de caixa de 10 anos. Como exemplo, para os motores super premium da linha W22 da WEG nas potências de 40 a 250 CV foram realizados os cálculos, pois poucos fabricantes de motores produzem o motor da linha super premium IE4 no Brasil. Os valores dos motores estudados estão disponíveis no site da WEG, conforme referência (WEGa, 2018). Entre os motores analisados encontrou-se uma grande variação para o retorno do investimento, mostrando que a maioria das potências analisadas são viáveis a instalação, por outro lado, os motores de maiores potências apresentam períodos de retornos mais longos, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Retorno do investimento

Potência (CV)	Payback (anos)		
	2 polos	4 polos	6 polos
40	4,7	5,2	10,0
50	4,2	4,8	9,2
60	6,6	10,4	8,9
75	5,7	9,1	7,4
100	5,2	5,4	8,9
125	10,1	6,9	7,6
150	9,2	10,1	11,4
200	9,7	11,0	10,7
250	11,6	10,6	14,2

Como a crescente demanda por energia elétrica necessita de grandes investimentos em geração de energia para sustentar o desenvolvimento global, hoje a melhor estratégia para manter o fornecimento de energia adequado a curto prazo é evitar o desperdício e aumentar a eficiência energética (WEGb, 2017). A aplicação de maiores valores mínimos de rendimento demonstrados neste trabalho apresenta uma redução significativa da demanda por faixa de potência durante todo o período de 10 anos avaliado. É possível observar através dos dados da tabela 7, que para a faixa de potência entre 0,16 a 10 CV continuam apresentando um maior impacto devido a essa faixa de potência ser mais comercializada no Brasil e, os valores mínimos de eficiência da NBR

apresentarem valores inferiores ao da IEC, apresentando uma redução na demanda de 464.146 kW. A aplicação dos rendimentos mínimos em referência aos praticados internacionalmente comprova-se ser de grande importância, não só no Brasil, mas sim no mundo pois a demanda tende a crescer cada vez mais. É relatado que em 2014, 45,8 milhões de motores de baixa tensão foram vendidos globalmente. Foi estimado que o volume aumentaria para 51,6 milhões em 2019, representando uma taxa de crescimento anual de 2,5% (REINE, 2015).

Tabela 7 - Redução da demanda período de 10 anos

Redução da demanda (kW)				
Potência (CV)	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
0,16 a 1	13352	13016	12867	14684
1,5 a 10	101228	92648	91048	125303
15 a 40	63254	55457	58288	65932
50 a 100	30081	26432	28987	31157
125 a 300	42818	43617	45089	47436

Na Figura 3 inclui-se na análise os motores com potências de 350 a 500 CV, apresentando-se uma redução da demanda para o ano de 2028, embora sua comercialização seja bem inferior aos motores de menores potências. Para os motores de 2 polos é obtido uma redução de 322 MW, 308 MW para os motores de 4 polos, 316 MW para os motores de 6 polos e com uma maior redução os motores de 8 polos com uma potência de 368 MW.

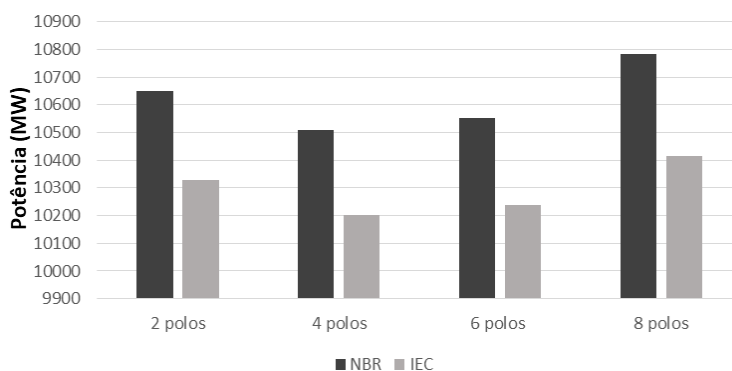


Figura 3 - Redução da demanda ano de 2028

5. CONCLUSÃO

Neste artigo apresentou-se uma análise comparativa entre as normas NBR 17094-1 e a IEC 60034-30-1, brasileira e europeia, e suas respectivas políticas energéticas de motores de indução trifásicos. Com esta análise torna-se possível realizar uma análise técnica econômica para um planejamento do setor industrial determinando o consumo de energia em um período de 10 anos, partindo do princípio que a NBR passaria a adotar os mesmos valores mínimos de eficiência que a IEC adota em sua classe IE4.

Neste cenário visualiza-se no aspecto macroeconômico vantagens ao Brasil no contexto de ações de eficiência energética, visto que a melhor estratégia para manter o fornecimento de energia adequado a curto prazo é evitar o desperdício e aumentar a eficiência.

É maior o impacto na economia e eficiência energética dos motores de menor potência devido a sua maior comercialização e também por possuírem valores de rendimentos mais divergentes que os de maiores potências, sabendo que é comum imaginar que motores com potência inferior a 10 CV são pequenos demais para viabilizar a sua substituição em larga escala e estratégias como sucateamento ou troca quando avariados. Porém, deve-se ter sempre em mente que esses motores contam com uma fatia de 89% dos motores instalados e que a melhoria de eficiência em um motor de pequeno porte pode ser de 4 a 6,5 pontos percentuais, enquanto que o ganho para grandes motores é da ordem de apenas 1 a 2 pontos percentuais aproximadamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELAZIZ, E.A.; Saidur, R.; Mekhilef, S. A review on energy saving strategies in industrial sector, Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia, 2010.

ABNT NBR 17094-1 – Máquinas Elétricas girantes – Motores de Indução Parte 1: Trifásicos. Rio de Janeiro, 2018.

ACEEE- American Council for an Energy-Efficient Economy -Chetana Kallakuri, Shruti Vaidyanathan, Meegan Kelly, Rachel Cluett” The 2016 International Energy Efficiency Scorecard” July 2016.

AGOSTINHO, F. R.; Rocca, G.A.D.; Ferreira, F.C.S.; Stefenon, S.F. Estudo sobre a viabilidade financeira naatualização tecnológica de uma planta abril: Utilização de motores elétricos de alta eficiência e iluminação LED, Espacios, 2017.

ANEELa - Agência Nacional de Energia Elétrica – Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações 1ª edição, Elektro, Universidade Federal de Itajubá, Excen Fupai, São Paulo 2012.

ANEELb- Agência Nacional de Energia Elétrica “Atlas de Energia Elétrica do Brasil”, 3ª edição, Brasília, 2008.

BORTONI, E. C.; SANTOS, A. H. M. HADDAD, Jamil. Acionamento com motores de indução trifásicos. Conservação de energia: 2ª Edição Procel/Eletrobrás 2006. [pp 36-41].

BRONZATTI, F. L.; IAROZINSKI NETO, A. Matrizes Energéticas no Brasil: cenário 2010-2030, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. – Eletrobras - Motor Elétrico Premium 1ª edição, Rio de Janeiro 2016.

EIA - U.S. Energy Information Administration” International Energy Outlook 2017” September, 2017.

EUROPEAN COMMISSION. Guidelines accompanying: Commission Regulations (EC) No 640/2009 of 22 July 2009 implementing Directive 2005/32/EC with regard to ecodesign requirements for electric motors and No 4/2014 of 6 January 2014 amending Regulation (EC) No 640/2009 2014.

ENEL - Concessionaria de Energia Elétrica, “Tarifas, Taxas e Impostos” [online]. Disponível em: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/go/TaxasETarifasCorporativo.aspx>>. Acesso em: jun. de 2018.

FREITAS, P. C. F.; SILVA, V. P.; FILHO, A. G. M.; BISPO, D.; DELAIBA, A. C. Comparação dos rendimentos dos motores da linha padrão e de alto rendimento sob o enfoque da eficiência energética, Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

HADDAD, J.; VENTURINI, O. Eficiência Energética- Teoria e Prática: 1a Ed. Itajubá: 2007 [pp 87-109].

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Concessionária de Energia Elétrica, “Tarifas, Taxas e Impostos”. [online]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1737#resultado>>. Acesso em: jun. de 2018.

IEA - International Energy Agency “Key world energy statistics “Secure Sustainable Together, Paris 2017.

IECa. Ações da IEC para a eficiência energética. Disponível em: <http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/energy/IEC_Brochure_Energy_Efficiency_A4_Pt_LR.pdf>. Acesso em: 27 mai. de 2018.

IECb . 60034-30-1: 2014”Rotatingelectrical machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)”.

PROCEL, Análise Econômica de Investimento Guia Básico, Edição seriada, Rio de Janeiro, 2009.

RAMOS, M. C. E. S. Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos: Estudo de caso. Dissertação (Instituto de Eletrotécnica e Energia) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2005.

REINE, P. Industrial Motors and Drives: Global Market Update. EEMODS’15 Conference”. Helsinki, September 2015.

WEGa Empresa Multinacional Brasileira [online]. Disponível em: <<http://www.weg.net/see+/pages/regua.jsp>>. Acesso em: jun. de 2018.

WEGb Empresa Multinacional Brasileira “Regulamentações Globais de Eficiência para Motores Elétricos de Baixa Tensão”, 2017.

EXTRACTION OF GEOMETRICAL INFORMATION USED IN PHOTOVOLTAIC AND RAINWATER HARVESTING POTENTIAL ESTIMATION FROM UAV OPTICAL IMAGES

Caisse Amisse^{1 2}

Alvaro Muriel Lima Machado¹

Jorge Antonio Silva Centeno¹

¹*Universidade Federal do Paraná*

²*Universidade Rovuma - Moçambique*

DOI: 10.47168/rbe.v25i3.460

ABSTRACT

Photovoltaic and rainwater harvesting assessment on rooftop has been studied extensively. Detailed methodologies are available over large study areas and designed to use data that are usually difficult and expensive to acquire. However, much less attention has been paid to the use of low-cost data for the estimation of photovoltaic parameters and rainwater collection in individual buildings. In this study, a workflow for extraction of geometrical information used in Photovoltaic and rainwater harvesting potential estimation from UAV optical images used to estimate photovoltaic and rainwater harvesting potential is presented. The optical images captured by the DJI Phantom 4 Unmanned Aerial Vehicle (UAV) were used to compute a point cloud, using state of the art Structure from Motion (SfM) algorithms. The modeling of the roof planes was made based on the spatial relationships between points using a Delaunay triangulation. From the generated model, roof geometrical parameters such as area, slope, and orientation were extracted and compared with reference measurements of Light Detection And Ranging (LiDAR) of the same scene. Statistical results from the experiments show that the SfM and LiDAR extracted parameters are very similar. The geometric parameters derived from UAV optical images can be used to support the analysis of the photovoltaic and rainwater harvesting potential in individual buildings. This method has the advantage to achieve results through the combination of low-cost technologies for data acquisition and processing, resulting in an easily reproducible methodology.

Keywords: Geometrical information, Photovoltaic, Rainwater.

RESUMO

Neste artigo é apresentada uma metodologia para extração de informação geométrica usada para estimativa do potencial fotovoltaico e coleta da água de chuva. A abordagem proposta usa câmeras a bordo de plataformas UAV para aerofilmagens e o processamento visando a geração de nuvem de pontos é feito usando algoritmos SfM. A modelagem dos planos do telhado é feita com base na relação espacial entre pontos vizinhos usando a triangulação de Delaunay. Do modelo gerado é extraída a informação geométrica do telhado (área, inclinação e orientação) e essa é comparada com as medidas de referência de uma nuvem de pontos LiDAR da mesma cena. Resultados estatísticos dos experimentos mostraram uma similaridade entre os parâmetros extraídos nas nuvens SfM e LiDAR. Os parâmetros geométricos derivados de imagens ópticas podem ser usados para tomada de decisão na análise de potencial fotovoltaico e coleta de água pluvial em telhados de edificações singulares. A principal vantagem do método é que o resultado é alcançado por meio da combinação de tecnologias de baixo custo para aquisição e processamento de dados, tornando a metodologia facilmente reprodutível.

Keywords: Informação geométrica, Fotovoltaico, Água pluvial.

1. INTRODUCTION

The growing energy demand has reinforced the research and use of alternative energy sources to reduce climate changes and avoid environmental problems. Solar energy is a valid alternative, which can be collected and converted into electric energy or heat for residential energy supply. This can be done by installing solar panels on the roof of buildings. Nevertheless, not all roofs are economically viable for solar energy, because of its size, orientation or slope. Information about the geometry of the roof is necessary to verify if it is suitable for solar energy collection. The size of a roof is also useful to compute the volume of rainwater intercepted by the roof, another alternative and environmental correct solution for water supply. Therefore, 3D information on the roof is needed for the evaluation of the potential photovoltaic production and/or rainwater harvesting. Economical and logistical constraints restrict the measurement of the extension and shape of the roof. Available methods include the use of aerial imagery, airborne LiDAR, and conventional topography. Nevertheless, buying an aerial survey or airborne LiDAR data of a building is too expensive. A topographic survey would be a viable option, but it may also be restricted by the available space around a high building. It also does not allow obtaining data of the rooftop. Recently, a new option became available and interesting, because of its lower cost and capacity to collect data of the rooftop. The use of UAV

enables collecting data that can be used to compute a point cloud of the roof applying photogrammetry and image processing. Analyzing the point cloud, it becomes possible to model the geometry of the roof.

To date, a number of representative surveys concerning roof modeling methods have been published in the literature, as summarized in various surveying articles (Brenner, 2005; Wang et al., 2018). Roof modeling methods can be divided on two main groups: a model-based and data-driven. Most of them are applied to LiDAR data but can be adapted to point clouds derived from images. The model-based methods aim at fitting a pre-defined template to the data, based on a collection of possible shapes stored in a library (Maas and Vosselman, 1999; Tarsha-Kurdi et al., 2007). In the data-driven method, segmentation algorithms are used to extract roof parts or edges in a previous step to shape modelling. There is no need for a specific library (Tarsha-Kurdi et al., 2007; Oude Elberink, 2008). One advantage of data-driven approaches is the capacity to adapt to different roof shapes. Examples can be found in the literature. For example, Joachim et al., (2009) detect roof planes in LiDAR data and then compute aspect, slope, and area of each roof facet. Then, it is carried out the photovoltaic potential analysis for each roof plane. Recent trends use a deep neural network method for roof segmentation (Pohle-Fröhlich, et al., 2019).

Some authors also rely on the combination of LiDAR data and other information sources. For example, Hujebri et al., (2013) or Awrangjeb et al., (2013) proposed the integration of LiDAR data and aerial imagery for roof modeling. Image segmentation algorithms were applied to extract the roof borders and break lines and then LiDAR data are used to extract the roof planes.

The use of aerial imagery instead of LiDAR data is a matter of research in recent literature. López-Fernández et al., (2015) describe an example, where RGB aerial images enable generating a 3D point cloud through photogrammetric and image processing algorithms. In a second step, segmentation is applied to the 3D point cloud for detection, extraction, and classification of roof planes. The roof planes are classified according to their theoretical productivity derived from their geometric characteristics (area, slope, and orientation). They also include thermographic information to locate obstacles for the installation of solar panels.

We propose an approach for the extraction of geometrical parameters used in photovoltaic and rainwater harvesting potential estimation that is cost-effective. To achieve this, we combine low-cost technologies for data acquisition with free software for data processing. The method is based on the use of unmanned aerial vehicles and the structure from motion approach and has great potential because of its lower cost when an individual building is analyzed within a project to

install solar panels and rainwater harvesting systems. An approach conceptually similar to ours has earlier been reported by lopes López-Fernández et al., (2015), but have not focused on low-cost sensors/software and/or individual buildings. In the next section, the proposed method is introduced. Then, experiments with real data are presented to verify the proposed approach. Finally, conclusions and recommendations are outlined for further research.

2 METHODOLOGY

The methodology is summarized in four main steps presented in Figure 1: (1) Data collection (2) Pre-processing; (3) Point cloud processing, and (4) 3D modeling of roof elements and computation of geometric parameters used in the estimation of photovoltaic and rainwater harvesting potential.

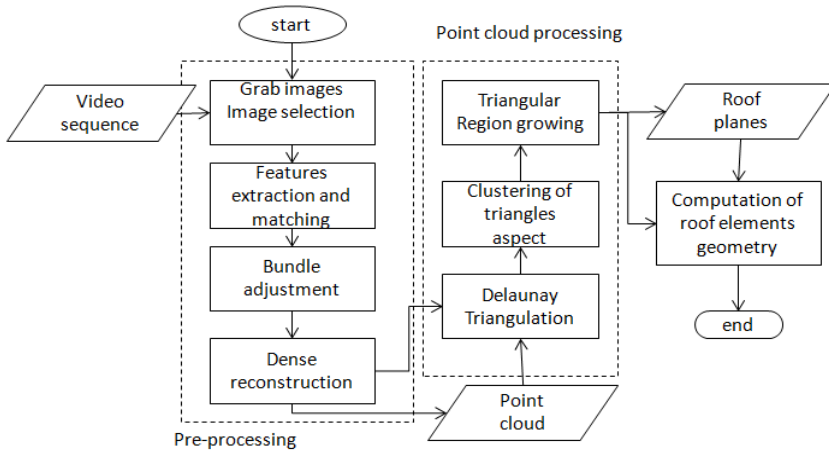
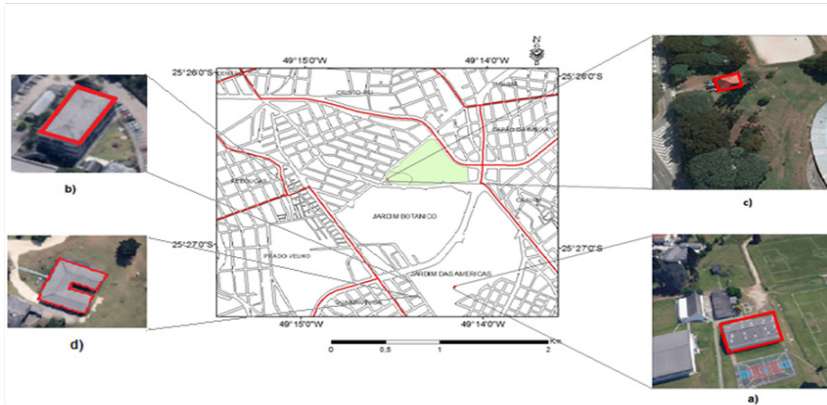


Figure 1 - Methodological flowchart

2.1 Data Collection and Pre-Processing

The aerial survey over the study area (Figure 2a) was carried out using the built-in camera of the small-sized four-axis DJI Phantom 4 quadrotor (Figure 2b). The DJI Phantom 4 is equipped with an onboard autopilot system, a compass, GPS and IMU sensors and a transmitter, a set that provides the position and altitude of the platform.



(a)



(b)

Figure 2 - (a) Location of the Study Area and (b) DJI Phantom 4 Quadcopter

The flight parameters were defined from the Equation 1:

$$GSD = \frac{H}{f} * \mu \quad (1)$$

where GSD is Ground Sample Distance, H is the flight height (m), f the focal length (mm), and μ is the pixel size (mm). Flight planning was carried out using the Pix4D capture (available for IOS and Android systems), to define the route of the UAV for the data collection. The average flight height ranged between 20–40 meters (resulting in a mean GSD of 0.82 centimeters) and planned overlap of 80% lateral and 70% longitudinal. The images were visually inspected to discard poor images (i.e., blurred images).

2.2. Point cloud processing

It was computed a point cloud applying the structure from motion (SfM) approach, available in the VisualSfM (Wu, 2011) software, using the collected images. The pipeline includes:

(i) Features extraction and matching: In this step, homologous points are identified in neighboring images using the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm (Lowe, 2004). The idea is to detect significant regions in the image and describe them with parameters that are invariant to scale rotation and illumination. The significant points, described by their parameters, are then compared to points detected in another image and similarity compatibility evaluated. If a point is detected in two images, the pair is matched. The Random SAMpling Consensus (RANSAC) algorithm (Fischler and Bolles, 1981) is applied to select the best matches and discard false pairs.

(ii) Bundle adjustment: The bundle adjustment is solved iteratively to reconstruct and refine the model starting with the pair of images with the largest number of good matches, and sequentially adding new images. The bundle adjustment adjusts a “bundle” of light rays that are leaving each 3D point towards each camera center and vice-versa (Ullman, 1979). It starts with an approximate solution for the camera pose and position and refines this solution by minimizing a cost function based on the difference between the projection of the feature points and the tracked features descriptors on the images (Triggs et al., 2000). The minimization is performed numerically using a non-linear least squares method, such as the Levenberg-Marquardt algorithm (Hartley and Zisserman, 2003). As a result, “correct” camera orientation (interior and exterior) and sparse 3D point cloud are obtained.

(iii) Dense reconstruction: In this step, it is increased the density of the point cloud based on the results of the bundle adjustment and the Patch-based Multi-view Stereo Software (PMVS), developed by Furukawa et al., (2010) and based on an algorithm for multiview stereopsis, that outputs a dense set of small patches covering the

visible surfaces in the images. This allows the PMVS algorithm (Furukawa and Ponce, 2010) to run dense reconstruction cluster-by-cluster and merge the results into a dense 3D point cloud. It must be taken into account that the point cloud generated by the Structure from Motion approach can fail on edge detection or present variations in density. This due to the repetitive effect of patterns and symmetries in the architecture of the scene (Wilson; Snavely, 2013; Cohen et al., 2012; Kosecka; Zhang 2010). Nevertheless, it allows computing a point cloud with a relatively low cost.

2.2.1 Quality assessment

The result was evaluated compared to a reference dataset, a cloud derived from an aerial LiDAR survey with an accuracy of 0.60 m. The computed point cloud was transformed into the same reference system as the reference point cloud (WGS-84), applying a 3D affine transform Equation 2. For this purpose, homologous points were selected in the reference and the computed point clouds. The parameters of the transform were estimated applying the Least Squares Method (LSM):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

where a_{11} , a_{12} , a_{13} , ..., a_{34} are the parameters to be determined; X_0 , Y_0 , Z_0 the coordinates in the original system and X , Y and Z the coordinates in the reference system. A direct point-to-point comparison is not possible, because the sets of points are different. Therefore, a triangulation was computed from the LiDAR point cloud and used as a reference surface. For each point in the SfM derived point cloud, the X , Y coordinates were used to find the triangle that encloses the point. Then, the height of this location in the triangulation was interpolated. The difference between the Z coordinate of the point and the interpolated Z coordinate of the triangulation was computed. Finally, the average and the root mean square error (RMSE) of the differences between the two models were obtained.

2.3 Roof modeling

The approach used to identify the roof planes is based on the analysis of local slope within the Delaunay triangulation computed from the point cloud. The triangulation is composed by vertices and edges, being the vertices the set of original points. The edges build up a triangle that links three neighboring points. Larger regions, composed of different contiguous triangles, are identified detecting neighboring triangles with similar gradient. The normal vector of each triangle is computed according to Equation 3:

$$ax+by+cz+d=0 \quad (3)$$

a , b and c are the components of the normal vector to the plane, and d is the independent term.

We call aspect the relative orientation of the surface in relation to the north direction, which can be computed from the two first components of the normal vector, as shown in Equation 4 (López-Fernández, et al., 2015).

$$asp = \text{atan} \left(\frac{b}{a} \right) \quad (4)$$

Although the aspect can assume any value between 0-360 degrees, it is expected that some angles are more frequent when a roof is composed by plane surfaces. Therefore, it is computed the relative frequency of the aspects to detect the most frequent angles. Each triangle is represented in a bi-dimensional space, representing the horizontal components of the normal vector (a , b). A clustering algorithm detects the most frequent directions according to a frequency threshold. In the end, each triangle is labelled according to the group in which it is included.

In the next step, adjacent triangles with the same label are grouped to build up a plane of the roof, applying the region growing algorithm. The process is summarized as follows: starting from a “seed” triangle, it is verified if at least one neighbor belongs to the same cluster of the seed. If yes, the region grows and the search repeated until the borders of the region are reached when no more neighboring triangles of the same cluster are found. A new seed triangle is chosen as the region stops growing. The region growing stops when all triangles are

grouped as roof faces.

2.3.1 Roof geometry

The set of neighboring triangles grouped in one region build up a plane, as described in the previous step, and are analyzed to compute geometric parameters that are necessary to study photovoltaic and rainwater catchment potential: slope, orientation, and area.

Orientation: Considering one group of triangles, as shown in figure 3, it is possible to compute the normal vector of each triangle, which has three components (a, b, c). The surface orientation is computed as the mean aspect of the set of triangles Equation 5.

$$ORIENT = \sum_{i=1}^n asp(i) \tag{5}$$

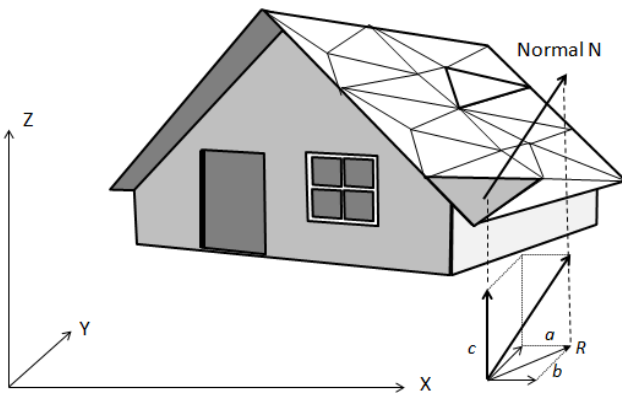


Figure 3 - Triangulation of a group of pixels representing a plane of the roof

Slope: The slope is the angle between the normal vector and the horizontal plane and is computed according to equations 6 and 7 (López-Fernández, et al., 2015). R stands for the size of the projection of the normal vector on the horizontal plane, as displayed in figure 3, and S for the slope

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6)$$

$$S = \arctan\left(\frac{c}{R}\right) \quad (7)$$

In the final step, geometric analysis and classification were carried out considering the photovoltaic and rainwater harvesting potential. Roofs with areas smaller than the area needed for the installation of solar panels and areas facing the south are discarded because they are not well suited in the southern hemisphere. Ideal roofs for photovoltaic production are those with north orientation or that accept an angular variation of 45° to the east or west.

To estimate the rainwater harvesting potential, all the roofs were taken as potentials, as the roof orientation is not decisive for the rainwater harvesting assessment.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the results obtained in our experiments. Figure 4 illustrates an example of the UAV trajectory and the camera pose during the flight as color triangles.



Figure 4 - Point clouds with camera poses

A dense point cloud is obtained (figure 5) applying the SfM method. Spurious points were filtered out to eliminate points that do not belong to the roof, such as points on antennas, chimneys, ground or trees.

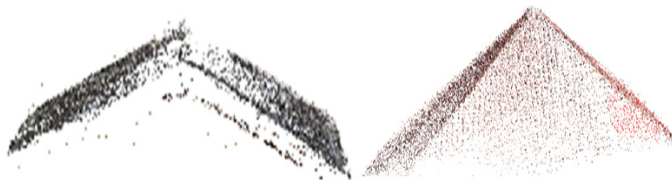


Figure 5 - Filtered point clouds for the experiments 1 (a) and 2 (b)

Based on the filtered point clouds, roof planes were modelled based on the triangulation and slope/aspect variations. Figure 6 shows the results of the region growing on four roof examples. The first one is very simple, with two planes. The second and third have four planes and the last six. When dealing with the second example, Figure 6b, it was noticed that the method fails at the top of the roof. This fact can be explained by the lack of points in such regions, as it can be seen in figure 5b and by the difficulty to determine the right aspect. In the third example, figure 6c, and 6d, some errors in the reconstruction at the edges of the roof planes are visible. As most errors are located at the borders, it was considered that they would not influence the result significantly. It was also noticed that the sources of the main errors are blurred images and errors in the generation of the point cloud by SfM.

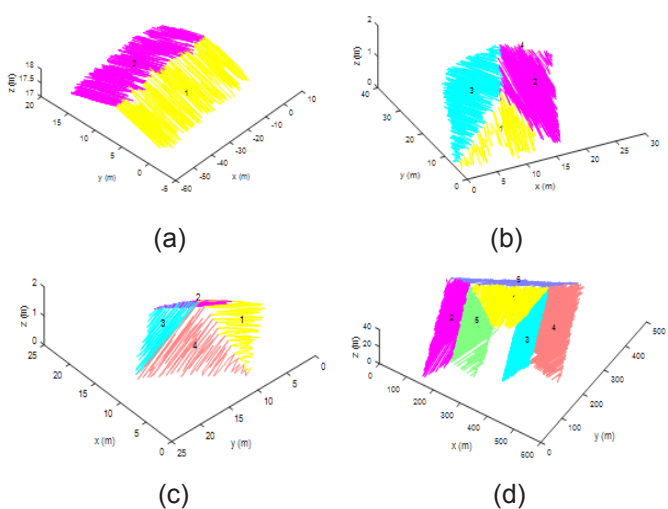


Figure 6 - Roof model showing the modelled roof planes for experiments 1(a), 2(b), 3(c) and 4(d)

For quality assessment the registration was conducted by using 3D affine coordinate transformation, equation (2). For experiment 1, six points were considered in the SfM and LiDAR point clouds; six, five and ten points for experiments 2, 3 and 4 respectively (an example is displayed in Figure 7). The solution of the transformation was obtained by adjustment using the LSM.

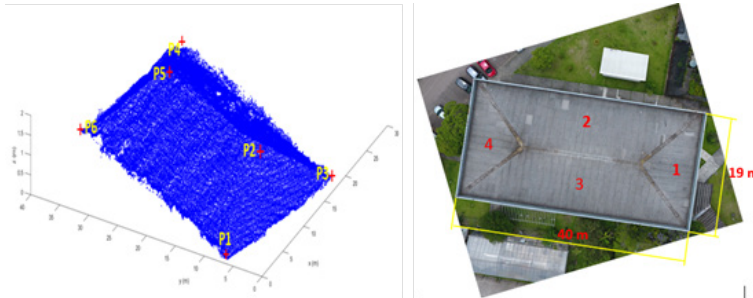


Figure 7 - Point cloud registration and reference dimensions

Figure 8 illustrates a comparison between the LiDAR and SfM derived point clouds. Although the results are very similar, errors can be noticed in the comparison. Nevertheless, the roofs are parallel and agree in dimensions. Errors are expected, because it is difficult to identify the corners in the point clouds. In some cases, especially in the first and second example, the SfM software produced a point cloud with height variations.

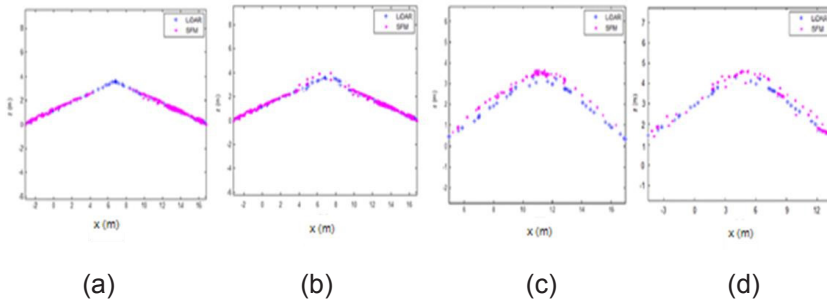


Figure 8 - Registry comparison between SfM and LiDAR point clouds

The discrepancies between the SfM point cloud and the reference point cloud were computed to assess the similarity between the point clouds (Figure 9). As the histograms illustrate, the most frequent differences are close to zero. The residual best fit was achieved in the first example (Figure 9a), with a mean of 0.02 m and a standard deviation of 0.15 m. In the second, third and fourth histograms (Figure 9b, c, d), the mean differences are 0.25 m, 0.01 m, and 0.04 m, and the standard deviation of 0.35 m, 0.58 m and 0.2 m respectively, which means that the fit was not as good as the first one. The larger differences can be explained by the texture variation in the point cloud derived using the UAV data.

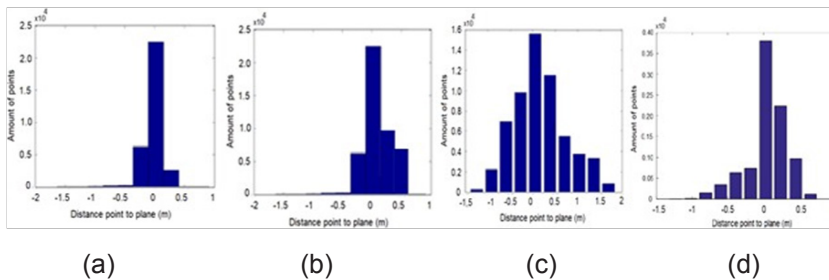


Figure 9 - Residues histogram

3.1. Area slope and orientation

The point clouds were segmented to separate the planes of the roofs and compute their Area, Slope and Orientation (aspect). The same parameters were obtained from the reference point cloud, by visual delineation of the roof planes. A comparison is shown in Table 1. Concerning the area, the comparison suggests that the errors can range, from 1.00 - 1.67%. The reason for the larger errors (1.67%) is the quality of the SfM point cloud, concerning to errors in edge detection (Kosecka; Zhang 2010; Cohen et al., 2012; Wilson; Snavely, 2013). As the point cloud of the fourth roof has less texture, the areas are correctly segmented. When there is texture (local height variation) in the point cloud, the region- growing algorithm fails to group the triangles of a plane.

Table 1 - Summary of extracted parameters (Area, Slope, Orientation) and Differences

		Parameters						Differences		
		Area (m ²)		Slope (o)		Orientation (o)				
	Roofing	Ref.	SfM	LIDAR	SfM	LIDAR	SfM	Area (%)	Slop (%)	Or (%)
Exp 1	Face 1	291	289.97	58.66	57.89	54	53.70	0.35	1.31	0.56
	Face 2	291	289.95	58.66	57.87	54	53.70	0.36	1.35	0.56
Exp 2	Face 1	75	74.62	16.4	16.17	52	51.75	0.51	1.40	0.48
	Face 2	125	124.3	16.5	16.31	52	51.75	0.56	1.15	0.48
	Face 3	125	124.4	16.5	16.31	52	51.75	0.48	1.15	0.48
	Face 4	75	74.58	16.4	16.18	52	51.75	0.56	1.34	0.48
Exp 3	Face 1	21.51	21.38	56.72	55.95	48	47.63	0.60	1.36	0.77
	Face 2	20.88	20.76	56.72	55.95	48	47.63	0.57	1.36	0.77
	Face 3	21.51	21.38	56.72	55.95	48	47.63	0.60	1.36	0.77
	Face 4	20.88	20.76	56.72	55.95	48	47.63	0.57	1.36	0.77
Exp 4	Face 1	30.56	30.41	15.24	15.08	43	42.71	0.49	1.05	0.67
	Face 2	64.03	63.87	15.47	15.28	55	54.62	0.25	1.23	0.69
	Face 3	38.07	37.99	15.28	15.11	55	54.62	0.21	1.11	0.69
	Face 4	64.03	63.87	15.15	14.98	55	54.62	0.25	1.12	0.69
	Face 5	38.07	37.98	15.46	15.28	55	54.62	0.24	1.16	0.69
	Face 6	60.06	59.83	15.11	14.94	43	42.71	0.38	1.13	0.67

On the other hand, the slope differences are lower (1.05-1.40%), which means that the method is well suited to estimate the slope. This is explained by the fact that the region growing method, even when it does not find the whole region, it can group triangles of the same plane with success. The same happens in the case of the orientation (aspect). The differences lie around 0.48 - 0.77%. It is worth noting that the discrepancies are related to errors in the segmentation of the roof planes at the edges. This is related to the lack of points at roof edges and on the ridge.

4. CONCLUSIONS

This study has demonstrated a simple method to extract geometric parameters used in photovoltaic and rainwater harvesting potential estimation of individual buildings based on 3D point clouds computed from UAV optical images. The method, while relatively simple, does yield a comparatively accurate estimation of the geometric parameters. The method provides a semi-automatic, quick and accurate evaluation of isolated roofs without the need of consulting the technical documentation of the building, avoiding subjective evaluations performed by a human operator.

The experimental results confirm that the proposed method can extract geometric parameters such as area, slope, and orientation. For the analysis of the photovoltaic potential, the method is promising, because slope and orientation were computed with relatively good accuracy in a cost-effective manner. The method failed to compute the area with enough accuracy because the segmentation of the roof planes failed. Nevertheless, this problem can be solved by computing the intersection of the detected planes, because, as the slope and orientation results show, the planes are estimated with enough accuracy. This step was not performed here. The area also affects the estimation of the available rainwater.

Further research is required to evaluate how point cloud registration using planar or linear features can improve the results and the effect that such steps can improve the computation of geometrical parameters.

5. ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to acknowledge Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) -Mozambique (72/DDCRHCT/MCT/2014) and Universidade Rovuma (UniRovuma) for the financial support provided.

REFERENCES

- AWRANGJEB, M.; ZHANG, C; FRASER, C S. Automatic extraction of building roofs using LIDAR data and multispectral imagery. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, v. 83, p. 1-18, 2013.
- BRENNER, C. Building reconstruction from images and laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 6, n. 3-4, p. 187-198, 2005.

COHEN, A., ZACH, C., SINHA, S. N., POLLEFEYS, M. Discovering and exploiting 3d symmetries in structure from motion. In: 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2012. p. 1514-1521.

FISCHLER, M. A.; BOLLES, R. C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, v. 24, n. 6, p. 381-395, 1981.

FURUKAWA, Y., CURLESS, B., SEITZ, S. M., SZELISKI, R. Towards internet-scale multi-view stereo. In: 2010 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. IEEE, 2010. p. 1434-1441.

FURUKAWA, Y; PONCE, J. Accurate, dense, and robust multiview stereo. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, v. 32, n. 8, p. 1362-1376, 2010.

HARTLEY, R; ZISSERMAN, A. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press, 2003.

HUJEBRI, B; SAMADZADEGAN, F; AREFI, H. Fusion of ALS Point Cloud and Optical Imagery for 3D Reconstruction of Building's Roof. *ISPRS Archives–Volume XL-1/W3*, 2013, v. 40, p. 197-201, 2013.

JAMES, M. R.; ROBSON, S. Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 39, n. 10, p. 1413-1420, 2014.

JOCHER, A., HÖFLE, B., RUTZINGER, M., PFEIFER, N. Automatic roof plane detection and analysis in airborne lidar point clouds for solar potential assessment. *Sensors*, v. 9, n. 7, p. 5241-5262, 2009.

KOŠECKÁ, J; ZHANG, W. Extraction, matching, and pose recovery based on dominant rectangular structures. *Computer Vision and Image Understanding*, v. 100, n. 3, p. 274-293, 2005.

LÓPEZ-FERNÁNDEZ, L., LAGÜELA, S., PICÓN, I., GONZÁLEZ-AGUILERA, D. Large scale automatic analysis and classification of roof surfaces for the installation of solar panels using a multi-sensor aerial platform. *Remote Sensing*, v. 7, n. 9, p. 11226-11248, 2015.

LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, v. 60, n. 2, p. 91-110, 2004.

MAAS, H. G., VOSSelman, G. Two algorithms for extracting building models from raw laser altimetry data. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, v. 54, n. 2-3, p. 153-163, 1999.

POHLE-FRÖHLICH, R.; BOHM, A.; UEBERHOLZ, P.; KORB, M.; GO-EBBELS, S. Roof Segmentation based on Deep Neural Networks. In: VISIGRAPP (4: VISAPP). 2019. p. 326-333.

ELBERINK, S. O. Problems in automated building reconstruction based on dense airborne laser scanning data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, v. 37, p. B3, 2008.

TARSHA-KURDI, F.; LANDES, T.; GRUSSENMEYER, P.; KOEHL, M. Model-driven and data-driven approaches using LIDAR data: Analysis and comparison. 2007.

TRIGGS, B.; MCLAUCHLAN, P. F.; HARTLEY, R. I.; FITZGIBBON, A. W. Bundle adjustment - a modern synthesis. In: *International workshop on vision algorithms*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1999. p. 298-372.

ULLMAN, S. The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, v. 203, n. 1153, p. 405-426, 1979.

WANG, R; PEETHAMBARAN, J; CHEN, D. LiDAR point clouds to 3-D Urban Models: a review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 11, n. 2, p. 606-627, 2018.

WILSON, K; SNAVELY, N. Network principles for sfm: Disambiguating repeated structures with local context. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*. 2013. p. 513-520.

WU, C. *VisualSFM: A visual structure from motion system*. 2011.

PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY PRODUCTION FOR BRAZILIAN BUILDINGS IN CLIMATE CHANGE SCENARIOS

Carolina Kratsch Sgarbossa¹
Jorim Sousa das Virgens Filho²

¹Universidade de São Paulo

²Universidade Estadual de Ponta Grossa

DOI: 10.47168/rbe.v25i3.476

ABSTRACT

Brazilian cities present a great potential for the use of photovoltaic solar energy. The use of this technology may be a strategy to mitigate the effects of regional climate change. This research aimed to determine the estimation of photovoltaic solar energy production for Brazilian single family residences in scenarios of possible climatic changes projected until the end of the 21st century. For the simulation of the climatic scenarios the software PGECLIMA_R was used. To estimate the electrical power produced by the system, daily data of global solar radiation were used. In order to evaluate the data, the Analysis of Variance (ANOVA), with comparison of means (Tukey's test) were used. The simulated global solar radiation data showed a decreasing trend in relation to historical data. All localities indicated annual rates of 98% of system service, which proves that the State of Paraná-Brazil has favorable climatic conditions for the installation of these systems.

Keywords: Global solar radiation; Photovoltaic solar energy; Climate changes; Brazilian single family homes.

RESUMO

As cidades brasileiras apresentam um grande potencial para o uso da energia solar fotovoltaica. O uso dessa tecnologia pode ser uma estratégia para mitigar os efeitos das mudanças climáticas regionais. Esta pesquisa teve como objetivo determinar a estimativa da produção de energia solar fotovoltaica para residências unifamiliares brasileiras em cenários de possíveis mudanças climáticas projetadas até o final do século XXI. Para a simulação dos cenários climáticos foi utilizado o software PGECLIMA_R. Para estimar a energia elétrica produzida pelo sistema, foram utilizados dados diários de radiação solar global. Para

avaliação dos dados, foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA), com comparação de médias (teste de Tukey). Os dados simulados de radiação solar global apresentaram tendência decrescente em relação aos dados históricos. Todas as localidades indicaram taxas anuais de 98% de serviço do sistema, o que comprova que o Estado do Paraná-Brasil possui condições climáticas favoráveis para a instalação desses sistemas.

Palavras-chave: Radiação solar global; Energia solar fotovoltaica; Mudanças climáticas; Casas unifamiliares brasileiras.

1. INTRODUCTION

The photovoltaic solar energy contributes less than 1% in the Brazilian electrical matrix. Despite of that, Brazilian cities exhibit great potential for the use of solar energy, due to the large area availability and the high incidence of global solar radiation. In addition, coverage of less than 0.04% of the territory with photovoltaic modules could generate more energy than the country's total annual electricity consumption, which is about 500 TWh/year (RÜTHER and SALAMONI, 2011; RÜTHER and ZILLES, 2011). It is estimated that Households represent approximately 21% of total electricity consumption, most part are used for the use of air conditioning, electric shower and refrigeration (ELTROTBRÁS, 2007).

The regulation for photovoltaic systems connected to the distribution network was defined by the National Electric Energy Agency (ANEEL) in 2012 and the mechanism for compensation of electric energy was foreseen, that is, a system can inject the surplus in the electric grid, with the possibility of accumulating credits to be compensated in kWh, when the amount of energy generated is lower than the one consumed (PEREIRA et al., 2017).

Furthermore, climate change can affect the energy sector because it is estimated that, by the year 2100, the average global temperature will increase between 1.3 and 4.8°C, which may lead to a tendency to decrease the demand for heating energy between 36 and 58%, and increase the demand for cooling between 223 and 1050% per year (MARENGO, 2001; FRANK, 2005; IPCC, 2014).

The State of Paraná holds 80.5% of its municipalities with annual average solar radiation above the Brazilian average (2 kWh/m²). From a comparative perspective, in terms of estimated productivity, the total annual average of Paraná is 58.75% higher than Germany, 1.97% to Spain, and 31.28% to France, certifying the viability of the implantation of photovoltaic systems in the State (TIEPOLO et al., 2014).

In view of the foregoing and considering the mitigating and adaptive environmental context for the State of Paraná, this research

aimed to determine the estimation of photovoltaic solar energy production for single family homes, in scenarios of possible climatic changes projected towards the end of the 21st century.

2. MATERIALS AND METHODS

Eight localities of the State of Paraná, Figure 1, were selected from climatological data of conventional meteorological stations, Table 1, which are available in the Meteorological Database for Teaching and Research (BDMEP) by the National Institute of Meteorology (INMET).

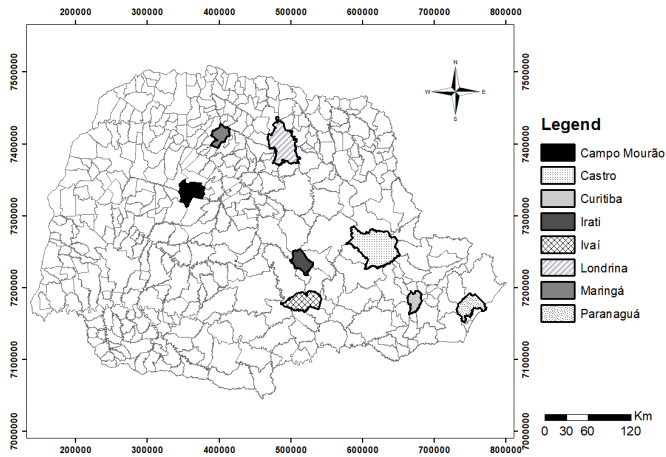


Figure 1 - Selected locations in the State of Paraná

Table 1 - Geographical coordinates of selected locations

ID	Locality	Latitude (S)	Longitude (W)	Elevation (m)
L1	Campo Mourão	-24°05'	-52°36'	616
L2	Curitiba	-24°78'	-50°00'	1009
L3	Castro	-25°43'	-49°26'	924
L4	Irati	-25°46'	-50°63'	837
L5	Ivaí	-25°00'	-50°85'	808
L6	Londrina	-23°31'	-51°13'	566
L7	Maringá	-23°40'	-51°91'	542
L8	Paranaguá	-25°53'	-48°51'	5

The State of Paraná belongs to the region of southern Brazil and is located between the parallels 22°30'58 "and 26°43'00" south latitude and between the meridians 48°05'37 "and 54°37'08" west longitude. According to Köppen's climate classification, the State has two types: Cfa - Subtropical climate and Cfb - Temperate climate.

The daily historical series of insolation and temperatures comprised a period of 31 years (1987-2017). For the simulation of climatic scenarios, the PGECLIMA_R software was used, whose daily climatic data were simulated for two scenarios.

Based on a tendency of decrease of the thermal amplitude for the South Brazil (Marengo and Camargo, 2008; Silva et al., 2015), the simulations projected were: increases of 2.1 °C in the minimum temperature and 1.3 °C in the maximum temperature, for the least pessimistic scenario (C1); and increases of 5.9 °C in the minimum temperature and 3.7 °C in the maximum temperature, for the most pessimistic scenario (C2).

The estimation method proposed by Chen et al. (2004), Equation 1, was adopted to predict projections for global solar radiation based on the daily temperature range and on the solar radiation at the top of the atmosphere.

$$R_G = R_A \times a \times \ln(\Delta T) + b \quad (1)$$

where,

R_G is global solar radiation;

R_A radiation at the top of the atmosphere;

" a " and " b " are coefficients of the regression equation;

" ΔT " is the thermal amplitude (difference between the maximum and minimum temperatures).

For the hypothetical residence, was defined the value of 75 m² of constructed area and an average monthly consumption of 300 kWh/month.

For the estimation of the electric power produced by a photovoltaic system in a residence, the methodology proposed by Marques et al. (2012) was used. The calculation of the energy generated, in kWh/m².month by the system (E_g) is expressed in Equation 2.

$$E_g = P_t \times \eta \times n_d \times R_{G \text{ month}} \quad (2)$$

where:

P_t is the nominal installation power, in kWp;

η is the efficiency of the inverter;

n_d is the number of days in the month;

$R_{G\text{ month}}$ is the monthly average of global solar radiation, in kWh/m².

In order to verify the availability of global solar radiation in the system implementation, the comparison between the observed averages (historical series) and the simulated averages (2018-2099) were performed by means of statistical analysis. The R_G data were segmented into three periods, P39 (2018-2039), P69 (2040-2069), and P99 (2070-2099).

In the sequence, the data normality was tested by means of the Shapiro-Wilk test. For data with normal distribution, the one-way ANOVA technique was used, with a significance level of 5%. For non-normal data sets, the Kruskal-Wallis test was used, which is a non-parametric one-way ANOVA for one factor.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows the average monthly values of RG for the historical period (Hist) and simulated periods P39, P69 and P99, in the scenarios C1 and C2 for the locality of Campo Mourão. It was observed that for C1, the months that presented significant differences during the year were February, April and December, whereas for C2, only the month of November did not present statistical significance in the comparison between the historical and simulated periods. It was found that, although impacted by climate change scenarios, the significant differences found in RG in P39, P69 and P99 were not very significant in magnitude, since the decrease in monthly energy availability was on average of 0.3 kWh/m² in C1 and 0.7 kWh/m² in C2.

Table 2 - Statistical analysis (ANOVA or KRUSKAL-WALLIS) of the means of RG (kWh/m²) for Campo Mourão-PR

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jan	0.0863	-	5.97a	5.78a	5.69a	5.53a
Fev	0.0059	-	5.91a	5.65ab	5.59ab	5.29b
Mar	-	0.1482	5.48a	5.33a	5.27a	5.20a
Apr	0.0354	-	4.68a	4.53ab	4.43ab	4.35b

Table 2 - Continuação

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
May	-	0.1604	3.69a	3.62a	3.49a	3.54a
Jun	0.2430	-	3.22a	3.07a	3.06a	3.19a
Jul	-	0.2720	3.59a	3.44a	3.35a	3.32a
Aug	0.5350	-	4.19a	4.15a	4.06a	4.19a
Sep	0.2980	-	4.85a	4.59a	4.59a	4.61a
Oct	0.8750	-	5.22a	5.24a	5.33a	5.23a
Nov	-	0.3613	6.15a	6.31a	6.19a	6.19a
Dec	0.0005	-	6.62a	6.26ab	6.17b	5.87b
C2						
Jan	0.0000	-	5.97a	5.74a	5.16b	4.93b
Fev	0.0000	-	5.91a	5.63a	5.03b	4.72b
Mar	0.0001	-	5.48a	5.26ab	5.08bc	4.74c
Apr	-	0.0003	4.68a	4.34ab	4.27ab	4.04b
May	0.0028		3.69a	3.63ab	3.28bc	3.25c
Jun	0.0000	-	3.22a	3.09ab	2.84bc	2.73c
Jul	-	0.0016	3.59a	3.32ab	3.40a	2.99b
Aug	0.0004	-	4.19a	4.20a	3.98ab	3.82b
Sep	0.0197	-	4.85a	4.55ab	4.33b	4.35b
Oct	0.0035	-	5.22a	5.20a	4.94ab	4.62b
Nov	0.0975	-	6.15a	6.21a	5.97a	5.84a
Dec	0.0000	-	6.62a	6.15ab	5.65bc	5.38c

Note: Values followed by lower case letters do not differ statistically from each other at the 5% level of significance by the Tukey test

In Figures 2A and 2C, it was observed that for this locality, both the historical and simulated R_G in C1 and C2, presented the same pattern of variation among the months of the year, although the simulated values show a tendency of decrease over of the reproduced periods of P39, P69 and P99, in relation to historical values.

Still looking at Figures 2A and 2B we observed the relationship between R_G , understood in this work as available solar energy, and the

generated electric energy (E_g) from RG. Those of R_G are presented with a more intense color hue, corresponding to the left axis in the graph, while the columns of less intense color refer to the data of E_g , related to the right axis. It was observed a tendency of decrease of E_g over the periods, as a consequence of the reduction of R_G . It was also observed that the values of R_G and E_g were a little higher in C1 when compared to C2, due to the higher temperature increase in C2. Mean values of R_G for Campo Mourão (Figures 2A and 2C) ranged from 2.7 to 6.6 kWh/m², with an annual average of 4.7 kWh/m², while E_g values were in the range between 184 and 389 kWh/month.

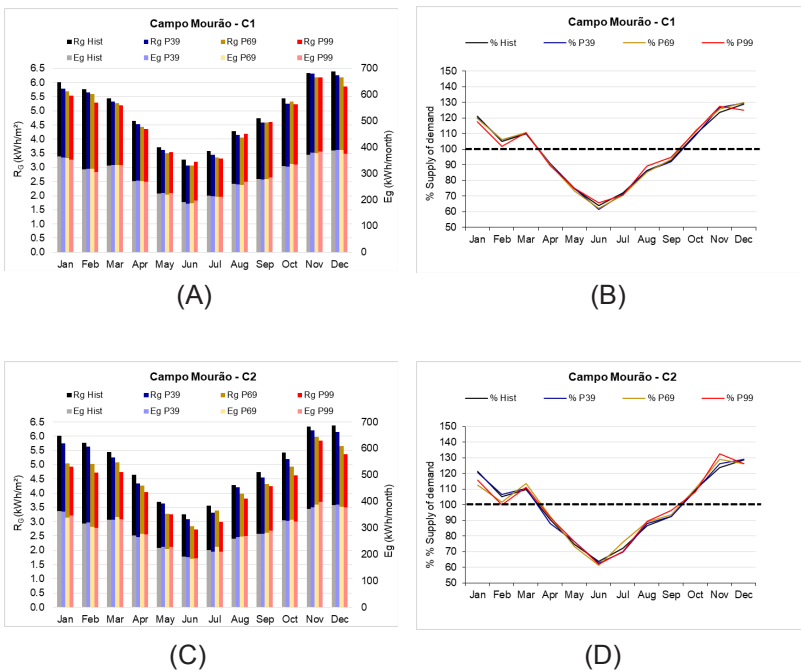


Figure 2 - Available solar radiation (R_G), Electric power generated from R_G (E_g) and Percentage serviced monthly for each residence in the historical period and up to 2099 in scenarios C1 and C2 for Campo Mourão-PR

In Figures 2B and 2D the percentages of energy service are verified in the residence for the historical periods, P39, P69 and P99, in scenarios C1 and C2, in which it was considered the service of 100% of

the month whose energy that was generated (Eg) was higher than the established consumption of 300 kWh/month. It was observed that the full attendance occurred in the months from October to March, due to the high RG indices in the period. However, the system deficit period was verified between April and September, and the month that reached the worst energy generation was June, with attendance rates above 60%, while in the best situation, the month of December, provided close service to 130%.

It is possible to consider the percentage of attendance as an annual efficiency metric. When analyzing the annual service, the system presents efficiency of 98%, both for historical periods, P39, P69 and P99 in C1 and for the same periods in C2. That is, in an annual perspective, the residence in this case needs to pay to the concessionaire only 2% of the consumed electric energy. Regarding the number of plates required, the hypothetical residence of the locality of Campo Mourão would require 9 photovoltaic plates in the considered periods and scenarios.

Table 3 - Statistical analysis (ANOVA or KRUSKAL-WALLIS) of the means of RG (kWh/m²) for Castro-PR

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jan	0.0001	-	4.94a	4.74a	4.67a	4.38b
Fev	0.0482	-	4.90a	4.67ab	4.61ab	4.53b
Mar	-	0.4626	4.43a	4.28a	4.36a	4.23a
Apr	0.3300	-	3.68a	3.83a	3.77a	3.71a
May	0.0679	-	2.92a	2.87a	2.85a	2.57a
Jun	-	0.5668	2.69a	2.71a	2.59a	2.61a
Jul	0.8310	-	2.94a	2.98a	2.94a	2.87a
Aug	0.2100	-	3.60a	3.66a	3.52a	3.47a
Sep	-	0.8385	3.91a	3.88a	3.80a	3.81a
Oct	0.8590	-	4.22a	4.19a	4.26a	4.14a
Nov	-	0.2113	5.12a	5.13a	5.10a	5.30a
Dec	0.0008	-	5.25a	4.75b	4.89ab	4.58b

Table 3 - Continuação

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C2						
Jan	0.0000	-	4.94a	4.47b	4.10bc	3.82c
Fev	0.0006	-	4.90a	4.62ab	4.38b	4.25b
Mar	0.0023	-	4.43a	4.18ab	3.86b	3.68b
Apr	0.0532	-	3.68a	3.75a	3.57a	3.51a
May	0.0046	-	2.92a	2.71ab	2.45b	2.33b
Jun	-	0.0079	2.69a	2.70ab	2.41ab	2.34b
Jul	0.1220	-	2.94a	3.00a	2.87a	2.73a
Aug	0.0015	-	3.60a	3.58a	3.49a	3.16b
Sep	0.1110	-	3.91a	3.69a	3.71a	3.58a
Oct	0.1480	-	4.22a	4.20a	4.07a	3.92a
Nov	0.0590	-	5.12a	5.26a	5.53a	5.51a
Dec	0.0000	-	5.25a	4.80b	4.59bc	4.40c

Note: Values followed by lower case letters do not differ statistically from each other at the 5% level of significance by the Tukey test

For the locality of Castro, Table 3, it was verified that the estimated values of R_{Gn} the periods P39, P69 and P99 exhibited significant differences in the C1 for the months of January, February and December, with a small trend of decreasing values, in a period considered of higher temperatures corresponding to the summer season. In the C2 scenario, the months that presented statistical significance were the majority, the months of April, July, September, October and November showing no significant differences in the available energy (R_G) among the periods P39, P69 and P99, demonstrating that the months related to summer tend to show decreases in R_G values throughout the century. However, in absolute terms, these differences with a mean decrease of 0.2 and 0.4 kWh/m² in C1 and C2, respectively, do not have a significant impact on energy availability.

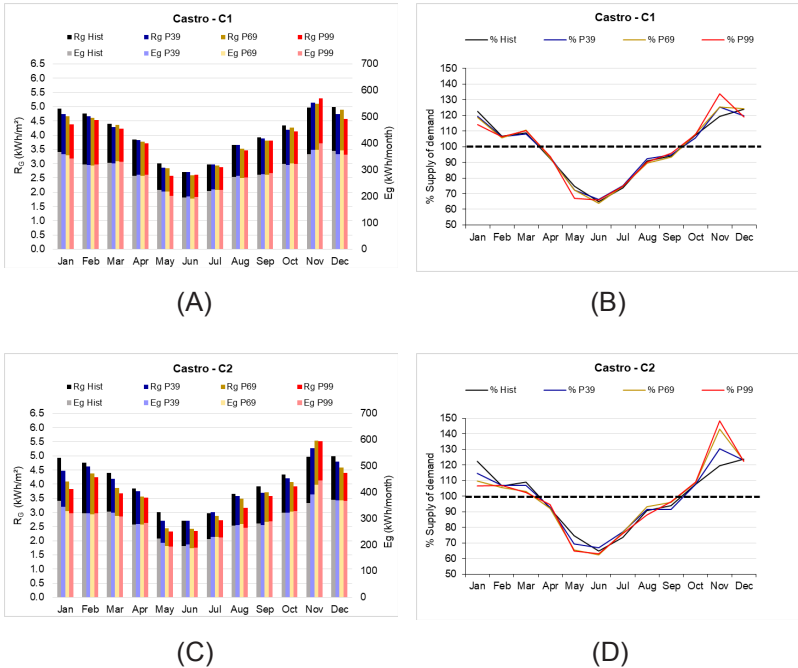


Figure 3 - Available solar radiation (R_G), Electric power generated from R_G (E_g) and Percentage serviced monthly for each residence in the historical period and up to 2099 in scenarios C1 and C2 for Castro-PR

Figures 3A and 3C show that the highest R_G values were between October and March, which comprises approximately the spring and summer seasons, with an average annual value of 3.8 kWh/m² in both scenarios. November has a tendency to increase, with values above 5 kWh/m² in all the evaluated periods. In relation to E_g , values fluctuated between 191 and 445 kWh/month, with the highest generation peak in November, coinciding with the high R_G values for the same month. In general, a trend was found in which values from E_g to C1 (Figure 3A) are higher than for C2 (Figure 3B) in the months between October and March, excluding November, whereas between April and September the values tend to be higher in C2.

In relation to the percentage of monthly attendance (Figures 3B and 3D), the values varied between 62 and 148%, considering the two scenarios (C1 and C2), with the lowest percentages obtained in June and the highest in November. It was observed that the fullness of consumption is supplied by the system in the period from October to March. In the annual scope, the system presented a percentage of attendance of 98% considering all periods and scenarios. As for the number of pla-

tes required, the hypothetical residence for the locality of Castro would require 11 plates considering the periods of C1 and 12 plates for C2.

Table 4 - Statistical analysis (ANOVA or KRUSKAL-WALLIS) of the means of RG (kWh/m²) for Curitiba-PR

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jan	0.0544	-	5.35a	5.09a	4.94a	4.86a
Fev	-	0.0031	5.39a	4.67b	4.74ab	4.58b
Mar	-	0.2630	4.67a	4.55a	4.37a	4.35a
Apr	-	0.0675	3.69a	3.62a	3.74a	3.38a
May	0.9640	-	3.10a	3.11a	3.07a	3.10a
Jun	-	0.2458	2.76a	2.76a	2.82a	2.73a
Jul	0.0323	-	3.20a	3.12ab	3.01ab	2.89b
Aug	0.7350	-	3.75a	3.76a	3.72a	3.66a
Sep	0.0128	-	4.11a	3.76ab	3.89ab	3.37b
Oct	0.7240	-	4.39a	4.27a	4.30a	4.22a
Nov	0.0548	-	5.26a	5.23a	5.26a	4.79a
Dec	0.2030	-	5.50a	5.33a	5.13a	5.10a
C2						
Jan	-	0.0000	5.35a	4.94a	4.59ab	3.96b
Fev	0.0000	-	5.39a	4.75b	4.46b	3.76c
Mar	0.0003	-	4.67a	4.40ab	4.10bc	3.76c
Apr	0.0027	-	3.69a	3.64a	3.34ab	3.18b
May	-	0.0018	3.10a	3.02a	2.90ab	2.74b
Jun	-	0.0512	2.76a	2.81a	2.71a	2.63a
Jul	0.0036	-	3.20a	2.99ab	2.77b	2.73b
Aug	-	0.0167	3.75a	3.71a	3.55ab	3.39b
Sep	0.0000	-	4.11a	3.83a	3.29b	3.12b
Oct	0.0034	-	4.39a	4.47a	4.16ab	3.94b
Nov	0.0000	-	5.26a	5.13ab	4.75bc	4.37c
Dec	0.0001	-	5.50a	5.03ab	4.64b	4.51b

Note: Values followed by lower case letters do not differ statistically from each other at the 5% level of significance by the Tukey test

Table 4 presents the values for the Curitiba locality, where there is a trend of decreasing the energy available until the end of the century. In C1, only the months February, July and September have statistical

significance, with an average decrease of 0.3 kWh/m² between the historical period and P99. Conversely, for C2, only the month of June did not show a significant decrease in R_G , and the mean reduction was 0.8 kWh/m² in absolute values between the historical period and P99.

The medium R_G values for Curitiba (Figures 4A and 4C) varied between 2.7 and 5.5 kWh/m², with an annual average of 3.9 kWh/m², and in C1 the values (darker hue) are higher compared to C2. The variation of the energy availability between the historical period and P99 was more accentuated in C.

The values of E_g , considering the two scenarios, were in the range between 192 and 391 kWh/month and are slightly higher in C2, however, comparing the monthly values, in the month of December in all periods of scenario C1, there was a higher power generation.

The attendance of the system in the two scenarios varied between 64 and 130% for this locality, and it was verified that this percentage increased about 5% in the worst month considered (June), in C2, when compared to C1. For the periods evaluated in scenario C1, 11 plates will be needed, while for C2, 12.

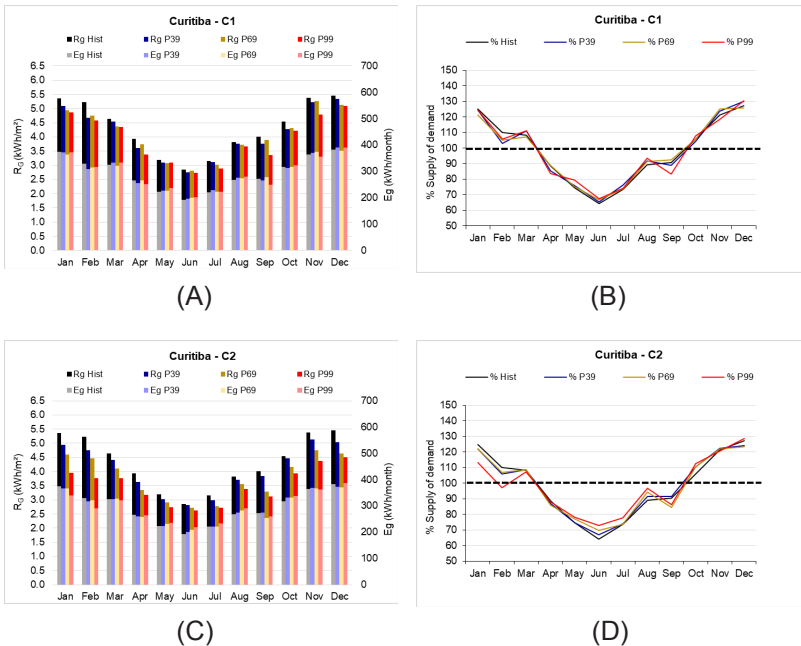


Figure 4 - Available solar radiation (R_G), Electric power generated from R_G (E_g) and Percentage serviced monthly for each residence in the historical period and up to 2099 in scenarios C1 and C2 for Curitiba-PR

About the monthly average values of RG or the historical period (Hist) and simulated periods P39, P69 and P99, in the scenarios C1 and C2, for the Irati locality (Table 5), it was observed that for C1, the months which presented significant differences during the year were February, June and December, whereas for C2, only the months of April and May did not present statistical significance in the comparison between the historical and simulated periods. It was found that the decline in monthly energy availability over the year in C1 and C2 was on average 0.2 and 0.6 kWh/m², respectively, and these differences in energy terms are not considered expressive.

Table 5 - Statistical analysis (ANOVA or KRUSKAL-WALLIS) of the means of RG (kWh/m²) for Irati-PR

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jan	-	0.3272	5.48a	5.26a	5.10a	5.18a
Fev	0.0087	-	5.29a	4.89ab	4.71b	4.63b
Mar	-	0.1282	4.64a	4.68a	4.38a	4.42a
Apr	0.0704	-	3.78a	3.80a	3.60a	3.54a
May	-	0.8994	3.07a	3.12a	3.09a	3.09a
Jun	0.0079	-	2.76ab	2.85a	2.66b	2.74ab
Jul	-	0.8351	3.12a	3.11a	3.08a	3.06a
Aug	0.6670	-	3.74a	3.77a	3.69a	3.68a
Sep	-	0.1511	4.09a	4.01a	4.16a	4.01a
Oct	0.7410	-	4.49a	4.56a	4.47a	4.38a
Nov	-	0.2651	5.37a	5.42a	5.28a	5.20a
Dec	0.0237	-	5.67a	5.52ab	5.35ab	5.31b
C2						
Jan	0.0001	-	5.48a	5.16ab	4.92bc	4.60c
Fev	0.0000	-	5.29a	4.52b	4.02bc	3.57c
Mar	-	0.0034	4.64a	4.52a	4.31ab	3.95b
Apr	0.0569	-	3.78a	3.79a	3.58a	3.49a
May	0.2730	-	3.07a	3.09a	3.00a	2.95a
Jun	0.0004	-	2.76a	2.67a	2.62ab	2.46b
Jul	0.0037	-	3.12a	2.82ab	2.71b	2.57b
Aug	-	0.0117	3.74a	3.67ab	3.70a	3.50b
Sep	0.010	-	4.09a	4.11a	3.89ab	3.74b
Oct	-	0.0115	4.49ab	4.54a	4.09ab	3.99b
Nov	-	0.0056	5.37a	5.24ab	5.12ab	4.88b
Dec	0.0000	-	5.67a	5.25b	5.14bc	4.84c

Note: Values followed by lower case letters do not differ statistically from each other at the 5% level of significance by the Tukey test

In Figures 5A and 5C, a downward trend over the reproduced periods of P39, P69 and P99 was observed for this locality, in relation to historical values. The average monthly RG for Irati ranged from 2.4 to 5.6 kWh/m², with the annual average being about 4.0 kWh/m².

It was found that the values of E_g were in the range between 187 and 394 kWh/month, with the peak of generation in the month of December. It was also observed that the values of RG and E_g are shown to be slightly higher in C1 when compared to C2 due to the higher temperature increase in C2.

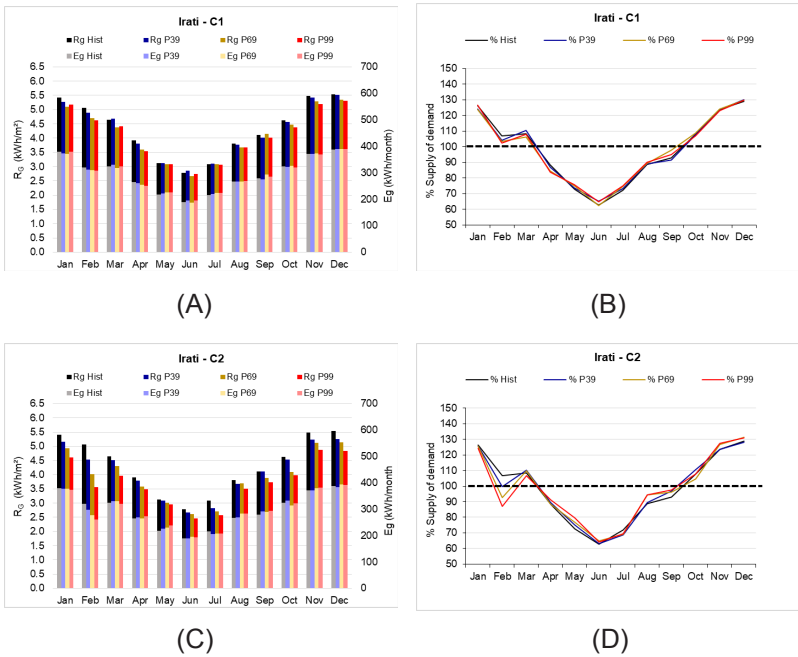


Figure 5 - Available solar radiation (R_G), Electric power generated from R_G (E_g) and Percentage serviced monthly for each residence in the historical period and up to 2099 in scenarios C1 and C2 for Irati-PR

Moreover, according to Figures 5B and 5D, it was observed that, for C1, the fullness of care occurred in the months of October to March, while the deficit period of the system was verified between April and September, being the month that reached the worst power generation was June, with average attendance percentages of 64%. However, in C2, the month of February did not reach this totality, with average E_g

values of 279 kWh/month, equivalent to 93%. When analyzing the annual service, the system presents efficiency of 98%, for all periods and scenarios. Regarding the number of plates required, the hypothetical residence of Irati locality requires 10 photovoltaic plates in the periods evaluated for scenario C1 and 11 plates for C2.

Table 6 shows the results for the locality of Ivaí, where the average monthly values of R_G for the historical period (Hist) and simulated periods P39, P69 and P99, in scenarios C1 and C2 tend to decrease over the period. It was observed that for C1, the months that presented significant differences were March and June, whereas for C2, the months of May, October and November did not present statistical significance in the comparison between the historical and simulated periods. It was found that this reduction in R_G values, in absolute terms, averaged 0.1 kWh/m² for C1, and 0.3 kWh/m² for C2.

Table 5 - Statistical analysis (ANOVA or KRUSKAL-WALLIS) of the means of R_G (kWh/m²) for Ivaí-PR

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jan	-	0.5585	5.62a	5.63a	5.56a	5.49a
Fev	0.8150	-	5.35a	5.43a	5.27a	5.31a
Mar	0.0098	-	5.26a	5.14ab	4.80b	4.82b
Apr	-	0.2014	4.21a	4.14a	4.05a	3.99a
May	0.9970	-	3.49a	3.48a	3.49a	3.49a
Jun	-	0.0191	2.79a	2.68ab	2.68ab	2.57b
Jul	0.0823	-	3.23a	3.03a	3.09a	2.91a
Aug	0.3560	-	4.04a	4.08a	3.90a	4.00a
Sep	0.9070	-	4.50a	4.48a	4.49a	4.43a
Oct	0.2410	-	4.74a	4.95a	4.94a	4.94a
Nov	0.9600	-	5.82a	5.86a	5.88a	5.89a
Dec	0.0500	-	6.02a	5.84a	5.78a	5.80a
C2						
Jan	-	0.0099	5.62a	5.45a	5.34ab	5.17b
Fev	0.0084	-	5.35a	5.28a	5.02ab	4.77b
Mar	0.0000	-	5.26a	4.85b	4.66b	4.18c
Apr	0.0361	-	4.21a	4.04ab	3.94ab	3.80b
May	0.8030	-	3.49a	3.49a	3.52a	3.54a
Jun	0.0101	-	2.79a	2.62ab	2.63ab	2.39b
Jul	-	0.0003	3.23a	2.98ab	2.66b	2.60b
Aug	0.0314	-	4.04a	3.98ab	3.94ab	3.79b

Table 5 - Continuação

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C2						
Sep	0.0392	-	4.50a	4.41ab	4.29ab	4.19b
Oct	0.3220	-	4.74a	4.95a	4.88a	4.80a
Nov	0.8780	-	5.82a	5.86a	5.90a	5.93a
Dec	0.0124	-	6.02a	5.79ab	5.78ab	5.72b

Note: Values followed by lower case letters do not differ statistically from each other at the 5% level of significance by the Tukey test

By means of Figures 6A and 6C, it was noted that monthly average values of R_G for Ivaí varied between 2.3 and 6.0 kWh/m², and that the annual average is about 4.4 kWh/m². It was found that the values of E_g were delimited between 164 and 408 kWh/month. It is important to note that it was during this period and scenario that both the worst (June of P99) and the best (November of P99) value of generation of E_g of the locality were recorded. Therefore, the monthly peak of energy generation was recorded in December when considering all periods and scenarios.

According to Figures 6B and 6D, the fullness of care was observed between the months of October to March, and the period of system deficit between the months of April and September. However, it was noted that, for C2, the month of March did not reach the total of service in P99, with E_g of 297 kWh/month, equivalent to a percentage of 98%. The month of June was the one that reached the worst generation of energy, with average attendance percentages of 57%. It is important to note that, for Ivaí in C2, the month of February did not present an expressive surplus generation, which occurred in the other localities, and this surplus was on average 5%

For all periods and scenarios, the annual efficiency of the system is 98%. In relation to the number of plates required, the hypothetical residence of the locality of Ivaí requires 9 photovoltaic plates in the periods of C1 and 10 plates in the scenario C2.

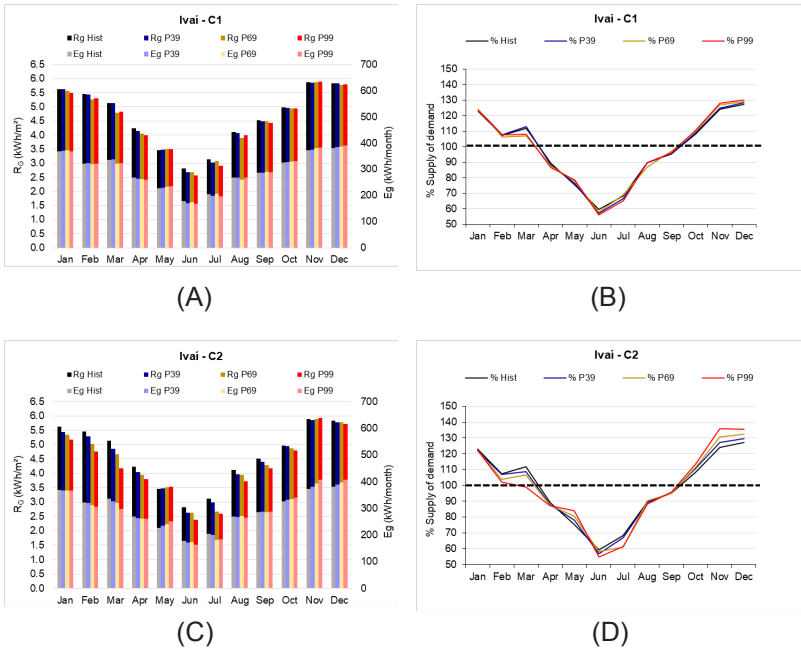


Figure 6 - Available solar radiation (R_G), Electric power generated from R_G (E_g) and Percentage serviced monthly for each residence in the historical period and up to 2099 in scenarios C1 and C2 for Ivai-PR

Table 7 shows the R_G values for the Londrina locality, where there is a downward trend towards the end of the century. In the C1, only the month of December has statistical significance, with an average decrease of 0.1 kWh/m² between the historical period and P99. For C2, January, February, May, June, November and December showed a significant decrease in R_G with a mean reduction of 0.3 kWh/m² in absolute values between the historical period and P99. For this scenario and locality, winter was the only season of the year in which no month obtained a significant decrease of R_G .

It was observed that, despite being impacted by climate change scenarios, the average reduction values of R_G in both C1 and C2 do not energetically represent a restriction to be considered.

Table 7 - Statistical analysis (ANOVA or KRUSKAL-WALLIS) of the means of R_G (kWh/m²) for Londrina-PR

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jan	-	0.1306	5.75a	5.70a	5.59a	5.40a
Fev	0.9640	-	5.98a	5.74a	5.71a	5.68a
Mar	0.8320	-	5.67a	5.59a	5.58a	5.58a
Apr	-	0.3658	4.76a	4.80a	4.76a	4.74a
May	0.1070	-	3.80a	3.57a	3.62a	3.51a
Jun	0.9680	-	3.54a	3.47a	3.49a	3.39a
Jul	-	0.2240	3.79a	3.78a	3.77a	3.76a
Aug	0.4400	-	4.54a	4.59a	4.58a	4.49a
Sep	-	0.9220	5.22a	5.12a	5.12a	5.12a
Oct	0.7490	-	5.48a	5.58a	5.61a	5.61a
Nov	0.5210	-	6.15a	6.11a	6.06a	6.01a
Dec	0.0019	-	6.30a	5.96b	5.89b	5.88b
C2						
Jan	0.0002	-	5.75a	5.71ab	5.22bc	4.93c
Fev	0.0003	-	5.98a	5.69ab	5.50b	5.38b
Mar	-	0.0500	5.67a	5.58a	5.57a	5.57a
Apr	-	0.0825	4.76a	4.74a	4.69a	4.65a
May	0.0017	-	3.80a	3.63ab	3.40bc	3.27c
Jun	-	0.0141	3.54a	3.46a	3.45ab	3.33b
Jul	-	0.3343	3.79a	3.75a	3.75a	3.73a
Aug	0.3170	-	4.54a	4.58a	4.48a	4.47a
Sep	0.8240	-	5.22a	5.12a	5.13a	5.14a
Oct	0.5030	-	5.48a	5.59a	5.66a	5.67a
Nov	0.0048	-	6.15a	6.05a	5.91ab	5.75b
Dec	-	0.0003	6.30a	5.98ab	5.78bc	5.67c

Note: Values followed by lower case letters do not differ statistically from each other at the 5% level of significance by the Tukey test

The average R_G values for Londrina (Figures 7A and 7C) varied between 3.2 and 6.3 kWh/m², with an annual average of 5.0 kWh/m², and in C1 the values are higher in comparison to C2. It was observed that the values of E_g were between 200 and 360 kWh/month, for the months of June and December, respectively. Therefore, the peak energy generation was registered in December for all the periods and scenarios, although the highest R_G values were in the month of November.

The system attendance (Figures 7B and 7D) varied between 67 and 120% for this location. The month of June was the one that reached the worst level of energy generation, with average attendance rates of 68% considering all the three periods and scenarios. It was observed that the integrality of the system is reached in the months between October to March. Despite the fact that February showed sufficient performance (above 100%), it was noticed that there was a decrease in generation of E_g and, consequently, a drop in attendance of around 9% in relation to January and March. It is important to note that this behavior was not verified in relation to R_G data.

For all periods and scenarios, the annual efficiency of the system was 98%. Likewise, considering the hypothetical defined residence, in the locality of Londrina the need for photovoltaic panels would be 8 considering all the analyzed periods and scenarios.

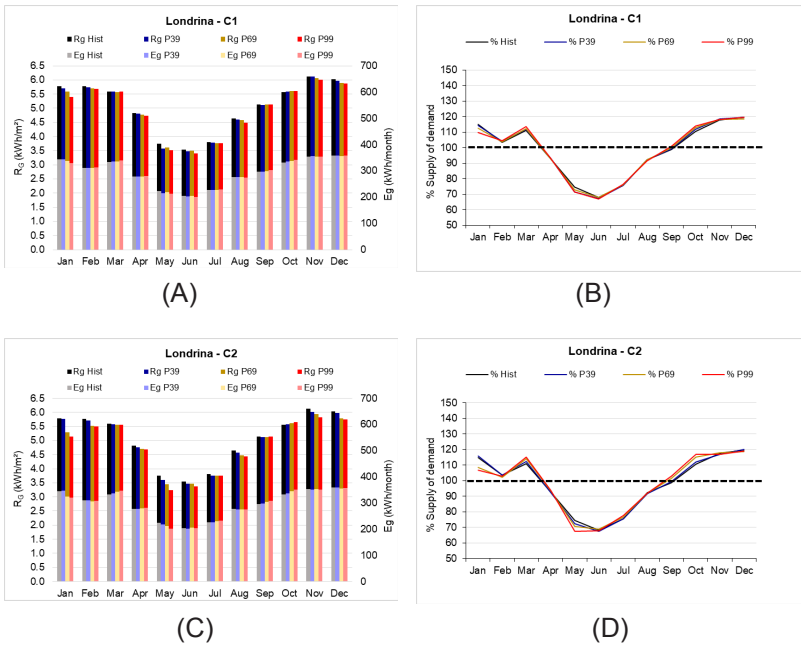


Figure 7 - Available solar radiation (R_G), Electric power generated from R_G (E_g) and Percentage serviced monthly for each residence in the historical period and up to 2099 in scenarios C1 and C2 for Londrina-PR

In the locality of Maringá, according to the results shown in Table 8, it was generally perceived that the average monthly values of

R_G for the historical period (Hist) and simulated periods P39, P69 and P99, in scenarios C1 and C2 tend to decrease throughout the century. A safeguard should be made only for the month of April, which, for both scenarios, showed a slight increase of an average of 0.06 kWh/m².

It was observed that for C1, the months that presented significant differences were in March, June and December, whereas in C2, every month presented statistical significance in the comparison between the historical and simulated periods. It was found that this reduction of R_G values, in absolute terms, averaged 0.4 kWh/m² for C1 and 0.8 kWh/m² for C2.

Table 8 - Statistical analysis (ANOVA or KRUSKAL-WALLIS) of the means of R_G (kWh/m²) for Maringá-PR

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jan	0.3090	-	5.99a	5.80a	5.82a	5.65a
Fev	-	0.1125	6.15a	5.89a	5.85a	5.76a
Mar	-	0.0247	5.63a	5.37ab	5.13ab	4.91b
Apr	-	0.1751	4.85a	4.84a	4.82a	4.88a
May	0.9150	-	3.86a	3.72a	3.65a	3.58a
Jun	-	0.00061	3.62a	3.32ab	3.28ab	3.00b
Jul	0.0701	-	3.96a	3.82a	3.77a	3.76a
Aug	0.1100	-	4.55a	4.35a	4.32a	4.19a
Sep	-	0.2892	5.09a	4.82a	4.53a	4.55a
Oct	0.5490	-	5.51a	5.40a	5.36a	5.23a
Nov	0.5750	-	6.30a	6.16a	6.21a	6.11a
Dec	0.0015	-	6.53a	6.07b	6.04b	6.03b
C2						
Jan	0.0002	-	5.99a	5.79ab	5.32bc	5.10c
Fev	0.0000	-	6.15a	5.86ab	5.54bc	5.38c
Mar	0.0000	-	5.63a	4.99b	4.68b	4.05c
Apr	-	0.0020	4.85b	4.85b	4.91ab	4.94a
May	0.0076	-	3.86a	3.60ab	3.51b	3.51b
Jun	0.0000	-	3.62a	3.29ab	3.15bc	2.93c
Jul	0.0002	-	3.96a	3.84ab	3.64bc	3.60c
Aug	0.0000	-	4.55a	4.28ab	4.10b	3.50c
Sep	-	0.0002	5.09a	4.38ab	4.34ab	3.74b

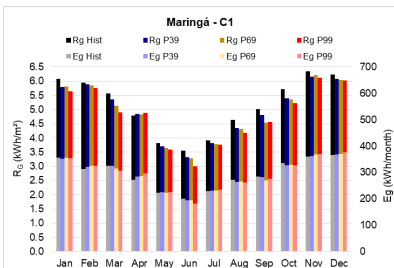
Table 8 - Continuação

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C2						
Oct	-	0.0001	5.51a	5.52a	4.89b	4.47b
Nov	0.0008	-	6.30a	6.12ab	5.82bc	5.66c
Dec	0.0000	-	6.53a	6.02b	5.72b	5.31c

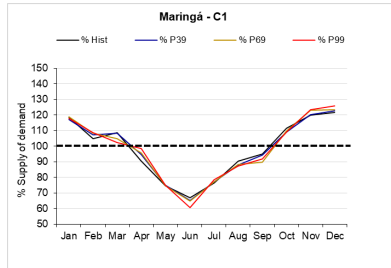
Note: Values followed by lower case letters do not differ statistically from each other at the 5% level of significance by the Tukey test

From Figures 8A and 8C, it was verified that mean monthly R_G values for Maringá ranged from 2.9 to 6.5 kWh/m², with the annual average being around 4.8 kWh/m², whose extreme values of interval refer to the months of June and December, respectively. It was observed that E_g values were between 182 and 379 kWh/month, which refer to the months of June and November, respectively. Generally speaking, peak power generation was recorded in December for all periods and scenarios, although the highlight month for this location for R_G was November.

According to Figures 8B and 8D, it was observed that the percentage of attendance varied between 60 and 126%, and the fullness occurred between October and March, with the system deficit period between April and September. However, it was found that for C2, the month of March did not reach the total service, in P99, with E_g of 280 kWh/month, equivalent to a percentage of 93%. On the other hand, the month of April, which in all localities was insufficient to generate energy, for this period and scenario (P99/C2), had full and surplus service, with E_g of 331 kWh/month, corresponding to 110% of service. The month of June was the one that reached the worst generation of energy, with average attendance percentages of 65%. For all periods and scenarios, the annual efficiency of the system was 98%. The number of plates required, for the hypothetical residence in the locality of Maringá is 10 photovoltaic plates in all the evaluated periods and scenarios.



(A)



(B)

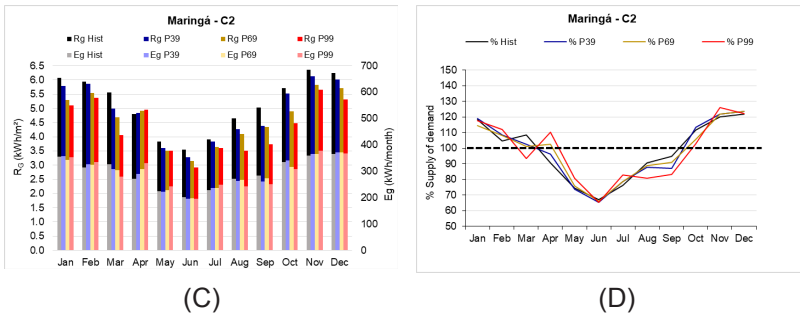


Figure 8 - Available solar radiation (R_G), Electric power generated from R_G (E_g) and Percentage serviced monthly for each residence in the historical period and up to 2099 in scenarios C1 and C2 for Maringa-PR

It was verified that the R_G values for the Paranaguá locality (Table 9) show a decreasing tendency until the end of the century, except for the months of January, April, May and December, that do not have or have a slight tendency of increase. For these months, the mean increase was 0.1 kWh/m² in C1 and 0.2 kWh/m² in C2, while for other months, the average reduction in R_G was 0.2 in C1 and of 0.3 kWh/m² in C2, between the historical period and P99. In C1, only the month of September presented statistical significance with decrease, in the monthly average of 0.33 kWh/m² between the historical period and P99. However, for C2, the months of January, March, May, August, September and December showed statistical significance of R_G . It was noticed that the mean values of both reduction and R_G increase were not expressive.

Table 9 - Statistical analysis (ANOVA or KRUSKAL-WALLIS) of the means of R_G (kWh/m²) for Paranaguá-PR

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jan	0.2290	-	4.92a	5.05a	5.10a	5.18a
Fev	0.3290	-	5.10a	4.91a	4.90a	4.89a
Mar	0.0571	-	4.48a	4.23a	4.16a	4.16a
Apr	-	0.3334	3.72a	3.72a	3.71a	3.72a
May	-	0.9623	2.94a	3.04a	3.04a	3.04a
Jun	-	0.4157	2.60a	2.58a	2.56a	2.52a

Table 9 - Continuação

Scenario/Month	p-Anova	p-KW	Hist	P39	P69	P99
C1						
Jul	0.9850	-	2.69a	2.67a	2.67a	2.67a
Aug	0.2520	-	3.04a	2.88ab	2.92ab	2.79b
Sep	0.0385	-	3.35a	3.12ab	3.09ab	3.02b
Oct	-	0.1224	3.75a	3.67a	3.68a	3.67a
Nov	0.9380	-	4.49a	4.50a	4.51a	4.45a
Dec	0.4940	-	5.18a	5.08a	5.18a	5.20a
C2						
Jan	-	0.0007	4.92c	5.15bc	5.36ab	5.42a
Fev	0.1910	-	5.10a	4.88a	4.86a	4.84a
Mar	0.0013	-	4.48a	4.12b	4.03b	3.99b
Apr	-	0.1136	3.72a	3.72a	3.72a	3.74a
May	-	0.0156	2.94a	3.04b	3.06ab	3.08a
Jun	0.2130	-	2.60a	2.54a	2.50a	2.44a
Jul	0.8590	-	2.69a	2.67a	2.65a	2.63a
Aug	0.0001	-	3.04a	2.90ab	2.71bc	2.57c
Sep	0.0000	-	3.35a	3.08ab	2.84bc	2.65c
Oct	-	0.1742	3.75a	3.67a	3.67a	3.66a
Nov	0.8070	-	4.49a	4.48a	4.45a	4.40a
Dec	-	0.0133	5.18a	5.17b	5.30a	5.39a

In Figures 9A and 9C, it was observed that the mean monthly RG values for Paranaguá varied between 2.4 and 5.4 kWh/m², and that the annual average was around 3.8 kWh/m², whose lower limit of interval belongs to the month of June, while the upper limit refers to the months of January and December. It was verified that the values of Eg were between 190 and 436 kWh/month, referring to June and January, respectively. Therefore, peak power generation was recorded in the months of January and December for the periods and scenarios analyzed, with values very close in these two months.

According to Figures 9B and 9D, it was observed that the percentage of attendance varied between 63 and 145% in this locality, where it was found that the totality of attendance of the system occurred between the months between November and March, and the month of October falls within the deficit period, along with the months of April to September. The average efficiency of the month of October for all

periods and scenarios is 97%. The month of June was the one that reached the worst generation of energy, with average attendance percentages of 65%.

It was noticed that for this locality, the autumn-winter months showed a tendency of decrease in E_g values and, consequently, in the percentage of attendance during the periods, within each scenario. On the other hand, the months belonging to the spring-summer period tended to increase these values, and the percentage of attendance for these months may exceed up to 40% of the consumption need. For all the periods and scenarios, the annual efficiency of the system was 98%. Regarding the number of plates required, the hypothetical residence for the locality of Paranaguá requires 11 photovoltaic plates in all the considered periods and scenarios.

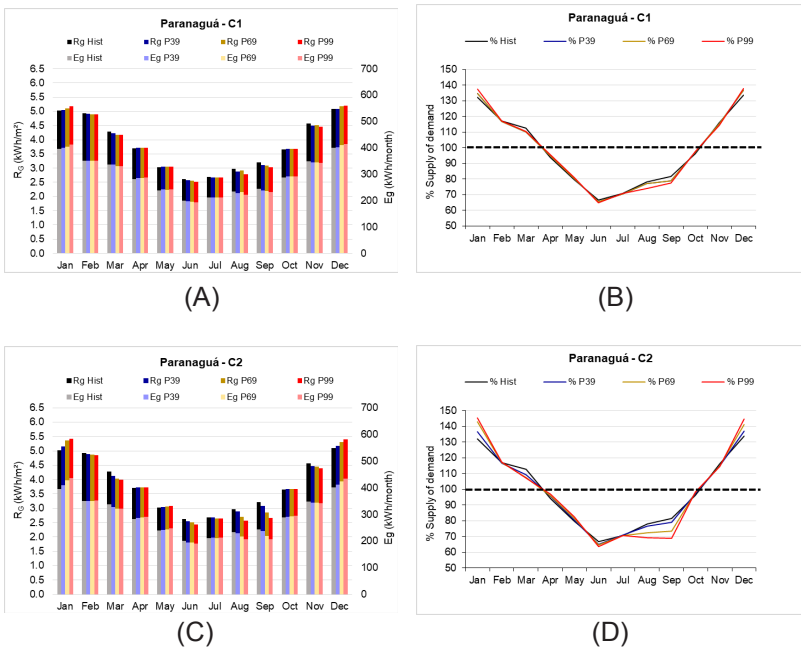


Figure 9 - Available solar radiation (R_G), Electric power generated from R_G (E_g) and Percentage serviced monthly for each residence in the historical period and up to 2099 in scenarios C1 and C2 for Paranaguá-PR

In general, for all localities, it was observed that the simulated R_G values showed a decreasing trend over the simulated periods of P39, P69 and P99, in relation to historical values. This pattern can be attributed to the model used for estimating R_G (CHEN et al., 2004), which is based on the daily thermal amplitude (ΔT), in which the climatic scenarios, with a minimum temperature increase of the maximum temperature, caused the decrease of this amplitude, which causes a reduction tendency of the R_G values.

Similarly, Bierhals et al. (2017) found that, for the State of Rio Grande do Sul, climate scenario models have shown that global solar radiation values tend to decline to 60% of the year through 2100. In addition, Huber et al. (2016) concluded that global solar radiation in the future (2035-2039) is likely to be reduced when compared to historical values (1995-1999), and that this decline is around 5% for regions in Africa. Similarly, Ohunakin et al. (2015) also observed a reduction of global solar radiation by the end of the century in Nigeria for the period from 2041 to 2070, whose range was in the range of 0.11 to 3.39%.

Tiepolo et al. (2014) found that even in winter periods of low solar intensity, the R_G values found in Paraná-Brazil (3.61 kWh/m²) were higher than those found in Germany (between 2.16 and 2,98 kWh/m²) and in Belgium (between 2.33 and 2.74 kWh/m²), and close to the values found in France (between 2.26 and 4.11 kWh/m²), which shows that even in this period, the State of Paraná has significant potential for the installation of photovoltaic systems.

On the other hand, Kopp and Lean (2011) warn of the complexity of establishing the magnitude of long-term changes in global solar radiation, or of alleviating the conflicting claims of radiation variations that have driven significant climate change in recent decades, since the current database is too short and inaccurate for this purpose.

It is important to note that the highest values of R_G verified in this research refer to the months between October and March, coinciding with the spring and summer seasons, when the sun's rays illuminate the southern hemisphere brighter. With similar justification, the lowest values refer to the months from April to September, belonging to fall and winter, when the days are shorter and the solar rays have lower intensity, due to the apparent movement of the sun in relation to the Earth, due to the solar declination.

As a consequence of the decrease in the simulated R_G values, a decrease trend of the values of E_G over the periods was observed, which confirms that the daily energy supplied by the panel is proportional to the solar radiation incident on the panel plane, also found by Gnoatto et al. (2008), to the city of Cascavel (PR). In all the localities, it was verified that there is a period of the year in which the attendance of the system does not reach the fullness, however, although in the period that includes the fall and the winter one has the impression to occur an

energy debt, this does not mean that the system does not meet the annual energy demand.

Because the system is connected to the public electricity grid and there is the mechanism of energy compensation, the surplus in the spring and summer months is made available to the network, which can be reimbursed by means of credits, to be redeemed when the attendance of the system is not full. That is, the credit available at intervals in which E_g is greater than the demand for the residence can be reversed in the period in which the system does not meet the total need.

It was noted that, despite the impacts of climate change, the efficiency of the system did not change over time, reaching 98% of service for all locations, or a subtle increase of service was observed over the period with increasing temperature. This behavior was also perceived by Michels et al. (2010), who verified, for the city of Medianeira-PR, that the temperature increase in a photovoltaic system can negatively alter its power and efficiency. This situation was also found by Gnoatto et al. (2008), who, when analyzing the efficiency of a photovoltaic system, in the city of Cascavel-PR, pointed out that the lowest energy production occurred in May, and the highest in March. Analyzing the seasonal mean, the highest energy production occurred in the summer and the lowest in the winter, while in the spring and autumn production was equivalent.

It is important to highlight that in systems installed in Florianópolis-SC, studied by Urbanetz et al. (2011), showed an annual efficiency of 88%, and the service only supplied the demand and generated surplus energy in the months from November to February, a behavior attributed to this locality, characterized as the Brazilian capital with the lowest incidence of solar radiation. On the other hand, Singh and Banerjee (2015) have found that a system installed on the roof of a residence in Mumbai, India, can provide 12-20% of average daily demand and 31-60% of peak morning demand for many different months.

In relation to climate, changes in solar radiation do not directly affect the regional and global climate but may affect changes in absorbed solar radiation, which directly influences energy production. However, contrary to Huber et al. (2016) argued that photovoltaic systems are unlikely to be affected by climate change.

From a Brazilian perspective, Monteiro et al. (2017) point out that since the South region of Brazil has a high energy consumption in the summer and imports energy from the southeast and center-west regions, where the solar energy supply is the highest among all Brazilian regions, the insertion of photovoltaic energy in the South region can result in great benefit to the national electricity system, as well as socioeconomic advantages, such as the generation of jobs in the area of renewable energy.

4. CONCLUSION

It was verified that the estimation of the production of solar energy in function of the regionality and possible scenarios of climate change are important aspects to evaluate the viability of installation of integrated systems of photovoltaic energy in the residences.

The popularization of solar systems in Brazilian homes can bring benefits to users, the environment, and government. On the other hand, there is a lack of public incentive policies, such as the reduction of taxes, in order to promote the adoption of solar energy systems for residential use.

REFERENCES

BIERHALS, E. E.; PEREIRA, F.; BRAZIL, C.; ROSSINI, E. Solar radiation projections of Cmp5 models for South of Brazil. *Contemporary Urban Affairs*, v. 1, n. 3, p. 1-6, 2017.

CHEN, R.; ERSI, K.; YANG, J.; LU, S.; ZHAO, W. Validation of five global radiation models with measured daily data in China. *Energy Conversion and Management*, v. 45, p. 1759-1769, 2004.

ELETOBRAS. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: classe residencial relatório Sul. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2007.

FRANK, T.H. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. *Energy and Buildings*, v. 37, p. 1175-1185, 2005.

GNOATTO, E.; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; FER-RUZI, Y. Eficiência de um conjunto fotovoltaico em condições reais de trabalho na região de Cascavel. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 30, n. 2, p. 215-219, 2008.

HUBER, I.; BUGLIARO, L.; PONATER, M.; GARNY, H.; EMDE, C.; MAYER, B. Do climate models project changes in solar resources? *Solar Energy*, v. 129, p. 65-84, 2016.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra: IPCC, 2014.

KOPP, G.; LEAN, J. L. A new, lower value of total solar irradiance: evidence and climate significance. *Geophysical Research Letters*, v. 38, p. 1-7, 2011.

MARENGO, J.A.; CAMARGO, C.C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. *International Journal of Climatology*, v. 28, p. 893-904, 2008.

MARQUES, D.D.; BRITO, A.U.; CUNHA, A.C.; SOUZA, L.R. Variação da radiação solar no Estado do Amapá: estudo de caso em Macapá, Pacuí, Serra do Navio e Oiapoque no período de 2006 a 2008. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, p. 127-138, 2012.

MICHELS, R. N.; GNOATTO, E.; SANTOS, J. A. A.; KAVANAGH, E.; HALMEMAN, M. C. A influência da temperatura na eficiência de painéis fotovoltaicos em diferentes níveis de incidência da radiação solar. *Revista Agrogeoambiental*, dez. 2010.

MONTEIRO, N.S.C.; MONTEIRO, R.A.B.; MARIANO, J.D.A.; URBANETZ JUNIOR, J.; ROMANO, C.A. Brazil market outlook for photovoltaic solar energy: A survey study. *British Journal of Applied Science & Technology*, v. 21, n. 5, p. 1-11, 2017.

OHUNAKIN, O.S.; ADARAMOLA, M. S.; OYEWOLA, O. M.; MATTHEW, O. J.; FAGBENLE, R. O. The effect of climate change on solar radiation in Nigeria. *Solar Energy*, v. 116, p. 272-286, 2015.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; GONÇALVES, A.R.; COSTA, R.S.; LIMA, F.J.L.; RÜTHER, R.; ABREU, S.L.; TIEPOLO, S.M.; PEREIRA, S.V.; SOUZA, J.G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

RÜTHER, R.; SALAMONI, I. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações. *Fórum Patrimônio*, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 84-94, 2011.

RÜTHER, R.; ZILLES, R. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. *Energy policy*, v. 39, n. 3, p. 1027-1030, 2011.

SILVA, W. L.; DERECZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, n.2, p. 181-194, 2015.

SINGH, R.; BANERJEE, R. Estimation of rooftop solar photovoltaic potential of a city. *Solar Energy*, v. 115, p. 589-602, 2015.

TIEPOLO, G.M.; URBANETZ JUNIOR, J.; CANGIOLIERI JUNIOR, O.; VIANA, T. Photovoltaic generation potential of Paraná State, Brazil – a comparative analysis with European countries. *Energy Procedia*, v. 57, p. 725-734, 2014.

URBANETZ, J.; ZOMER, C.D.; RÜTHER, R. Compromises between form and function in grid-connected, building-integrated photovoltaics (BIPV) at low-latitude sites. *Building and Environment*, v. 46, p. 2107-2113, 2011.

VIRGENS FILHO, J.S.; OLIVEIRA, R.B.; LEITE, M.L.; TSUKAHARA, R.Y. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 538-547, maio/jun. 2013.

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA PRODUÇÃO DE PELLETS PROVENIENTES DE RESÍDUOS AGROFLORESTAIS PARA FINS ENERGÉTICOS

Bruno Silva Camargo¹
Sâmique Kyene de Carvalho Camargo²

¹*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

²*Universidade Estadual Paulista*

DOI: 10.47168/rbe.v25i3.471

RESUMO

Os pellets são considerados biocombustíveis pertencentes a classe da biomassa vegetal, estes podem ser produzidos a partir de resíduos agroflorestais tais como: bagaço de cana, serragem, maravalha de madeira entre outros materiais lignocelulósicos. Este trabalho tem como objetivo realizar um levantamento de dados e informações necessárias para analisar pellets produzidos por resíduos agroflorestais pra fins energéticos. Para isso foi realizada uma revisão sistemática a fim de levantar e identificar os artigos mais relevantes encontrados na literatura. Foram utilizadas as bases *Web of Science* e *Scopus* para levantamento dos artigos mais relevantes dos últimos cinco anos.

Palavras-chave: Pellets, Resíduos agroflorestais, Potencial energético.

ABSTRACT

Pellets are considered biofuels and can be produced from agroforestry residues such as sugarcane bagasse, sawdust, and wood shavings among other lignocellulosic materials. The objective of this work is to carry out a survey of data and information necessary to analyze pellets produced from different compositions for energy purposes. For this, a systematic review was carried out in order to identify the most relevant articles found in the literature. The Web of Science and Scopus databases were used to survey the most relevant articles of the last five years.

Keywords: Pellets, Energy potential, Pellets composition.

1. INTRODUÇÃO

Uma das fontes de energia renováveis e com grande potencial de desenvolvimento para os próximos anos é a biomassa. Esta é considerada uma das principais alternativas para substituir fontes de energia e minimizar a dependência de combustíveis fósseis. A utilização racional da biomassa é de grande importância ambiental para reduzir a emissão de gases provenientes do efeito estufa e o consumo de outros combustíveis. Além disso, a biomassa vegetal pode ser considerada como uma infinidade de recursos, e um plano de gestão correto e sustentável é fundamental para preservar todos os produtos lenhosos e a multifuncionalidade das florestas (SACHELLI S, DE MEO e PALETTO, 2013).

Os resíduos de madeira são considerados biomassa de baixo custo e um combustível renovável, o que é uma fonte atraente de energia para os grupos de combustíveis de grande escala (GORI et al., 2013).

A Suécia e os Estados Unidos utilizam a biomassa vegetal em grande escala, por ser uma questão cultural de países desenvolvidos. Já em alguns países subdesenvolvidos é considerada como única fonte de energia disponível, como por exemplo, a Etiópia (GARCIA; CARASCHI; VENTORIM, 2017). Espera-se que em 2020, 42% de toda energia renovável mundial seja obtida de biomassa, incluindo eletricidade, aquecimento e resfriamento (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

Os pellets estão entre as fontes de energia de biomassa mais utilizadas no mundo (TOSCANO et al., 2013; ARRANZ et al., 2015). Os biocombustíveis apresentam características superiores aos outros produtos de biomassa, como por exemplo, bolachas de madeira e briquetes, especialmente em relação à densidade de massa e energia (ARRANZ et al., 2015). Essa densidade maior resulta em menores custos de transporte e maior eficiência em relação à conversão de energia, com propriedades adequadas para uso em escala residencial e industrial. A produção mundial de pellets teve um crescimento acelerado nos últimos anos, de 7 a 19 milhões de toneladas de 2006 a 2012 (FAO, 2012), principalmente devido ao aumento da demanda gerada pelo meio ambiente políticas e objetivos de uso de bioenergia na Europa (DUCA et al., 2014). É também um combustível estabelecido na UE (União Europeia) e nos EUA devido ao aumento dos preços dos combustíveis convencionais e ao aumento da demanda por combustíveis mais ecológicos (REED et al., 2012). O resíduo de madeira produz um material de combustível mais adequado que pode ser queimado diretamente como combustível de aquecimento e usado como co-combustível com carvão e outros combustíveis (MAGELLI et al., 2009). Além disso, não há produtos químicos adicionais como em

outros combustíveis fósseis convencionais (CAMBERO e SOWLATI, 2014).

Assim, para propor uma resposta com base na literatura existente utilizou-se a metodologia através da revisão sistemática de literatura, a fim de identificar, interpretar e avaliar as questões de pesquisa, e analisar as tendências sobre um tema específico, identificar possíveis falhas existentes na pesquisa, e propor ou fornecer uma estrutura visando auxiliar em novas pesquisas (KITCHENHAM, 2004). Assim, o objetivo da revisão sistemática é realizar um levantamento de dados, identificar, classificar e analisar entre outras variáveis quais os tipos de pellets produzidos a partir de resíduos agroflorestais de diferentes composições de pellets visando fins energéticos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia de pesquisa

2.1.1 Classificação da pesquisa

Para realização desta pesquisa a princípio realizou-se um levantamento qualitativo e quantitativo das publicações relacionadas ao tema “produção de pellets produzidos a partir de resíduos agroflorestais para fins energéticos”, assim pode-se definir que esta é considerada uma pesquisa do tipo exploratória. Do ponto de vista técnico, é classificada como pesquisa de revisão bibliográfica.

Segundo Brereton et al. (2005), uma revisão sistemática possibilita ao pesquisador uma análise criteriosa e confiável das pesquisas realizadas através de um tema específico. Esta ainda pode ser designada como uma forma de pesquisa baseada em literaturas como fonte de dados, assim apresentando resultados similares ou conflitantes, proporcionando assim base para futuras investigações (LINDE e WILLICH, 2003).

2.2 Procedimentos da pesquisa

Foi realizada uma revisão sistemática de literatura, através de uma análise bibliométrica, de acordo com a metodologia *Methodi Ordinatio*. Segundo Pagani, Resende e Kovaleski, (2015) a metodologia do *Methodi Ordinatio* é constituída a partir das etapas:

- 1 - Estabelecer o objetivo da pesquisa;
- 2 - Realizar pesquisa preliminar exploratória com as palavras-chave nas bases de dados;

- 3 - Definir e combinar as palavras-chave e bases de dados;
- 4 - Pesquisar nas bases de dados;
- 5 - Realizar filtragem;
- 6 - Identificar o fator de impacto, ano e número de citações;
- 7 - Ordenar os artigos por meio do InOrdinatio;
- 8 - Localizar os artigos em formato integral;
- 9 - Ler e analisar sistematicamente os artigos.

A princípio definiram-se as palavras-chaves sobre pellets de madeira (*wood pellets*), produção de pellets (*pellets production*) e potencial energético (*energy potential*), para selecionar os artigos na base de dados da CAPES. Foram utilizadas a *Web of Science* e *Scopus* como bases a serem consultadas, pois são bases multidisciplinares e possuem os periódicos com maior número de citações de acordo com suas áreas. Além de ser um índice de citações, informando, para cada artigo, os documentos por ele citados e os documentos que o citaram.

Para analisar os dados obtidos foram utilizados os *softwares Mendelej e Jabref*, já que, por meio destes, é possível selecionar os artigos e transportá-los para o excel para dar sequência a bibliometria junto com a inserção dos dados de JCR (*Journal Citation Reports*), qualis e citações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Feita a busca por artigos, foram encontrados 368 artigos nas bases *Web of Science* e *Scopus* e após eliminação das 33 duplicatas restaram 335 artigos. Em seguida foi realizada uma nova filtragem visando utilizar as publicações dos últimos 5 anos, assim foram eliminados 102 artigos, restando 233 artigos, destes foram selecionados os 10 artigos caracterizados como mais relevantes para esta pesquisa. Em outras bases foram encontrados artigos e teses relevantes para esta pesquisa. Esta pesquisa foi realizada em junho de 2017.

A partir dos dados levantados pela base *Web of Science* foi possível realizar um levantamento das variáveis relacionadas à publicação sobre pellets, tais como: Autores, Tipo de Publicação, Área e Ano de Publicação.

Na Tabela 1 consta o tipo de documento das publicações identificadas pela base *Web of Science* (2017).

Tabela 1 - Tipos de documentos publicados sobre pellets

Campo: tipos de documento	Contagem do registro	% de 368
Article	298	80.987%
Proceedings Paper	44	11.957%
Review	14	3.804%
Meeting Abstract	9	2.446%
Correction	7	1.902%
News Item	4	1.087%
Note	2	0.543%

Observa-se que o número de artigos é bem superior aos demais tipos de documentos.

A partir dos dados expressos na Tabela 2, obtidos no *Web of Science* (2017) é possível identificar quais autores mais publicaram a respeito de pellets, auxiliando assim futuros pesquisadores.

Tabela 2 - Autores que mais publicaram sobre pellets

Campo: autores	Contagem do registro	% de 368
SOKHANSANJ S	28	7.609%
LIM CJ	21	5.707%
MELIN S	21	5.707%
BI XT	11	2.989%
BI X	9	2.446%
BOMAN C	8	2.174%
LAU A	8	2.174%
JUNGINGER M	7	1.902%
STAHL M	7	1.902%
YAZDANPANA F	7	1.902%

Os artigos também foram classificados com relação a ano de publicação, conforme dados do *Web of Science* (2017), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Anos de publicação sobre pellets

Campo: anos de publicação	Contagem do registro	% de 368
2016	52	14.130%
2014	48	13.043%
2015	42	11.413%
2011	36	9.783%
2013	32	8.696%
2012	30	8.152%
2017	25	6.793%
2010	22	5.978%
2008	15	4.076%
2009	15	4.076%

A partir dos dados da Tabela 3, é possível verificar que atualmente o número de publicações tem aumentado, visto que o ano de 2016 foi o maior até o momento neste quesito. E as maiores publicações pertencem aos últimos 5 anos, visto que o ano de 2017 visto que o ano de 2017 refere-se ao primeiro semestre.

Para determinar as áreas de publicação dos artigos identificados nesta pesquisa foi elaborada a Tabela 4 a partir de dos dados do *Web of Science* (2017).

Tabela 4 - Áreas de publicação sobre pellets

Campo: áreas de pesquisa	Contagem do registro	% de 368
Energy fuels	182	49.457%
Engineering	143	38.859%
Agriculture	54	14.674%
Biotechnology applied microbiology	49	13.315%
Environmental sciences ecology	48	13.043%
Materials science	38	10.326%
Science technology other topics	34	9.239%
Forestry	28	7.609%
Chemistry	24	6.522%
Toxicology	22	5.978%

Por meio dos dados expressos na Tabela 4 é possível analisar que a área de engenharia e de combustíveis voltados para área energética, são as áreas mais relevantes se tratando de pellets.

Comparando as publicações de pellets a partir de suas respectivas áreas, foi elaborado o Gráfico 1 (SCOPUS, 2017).

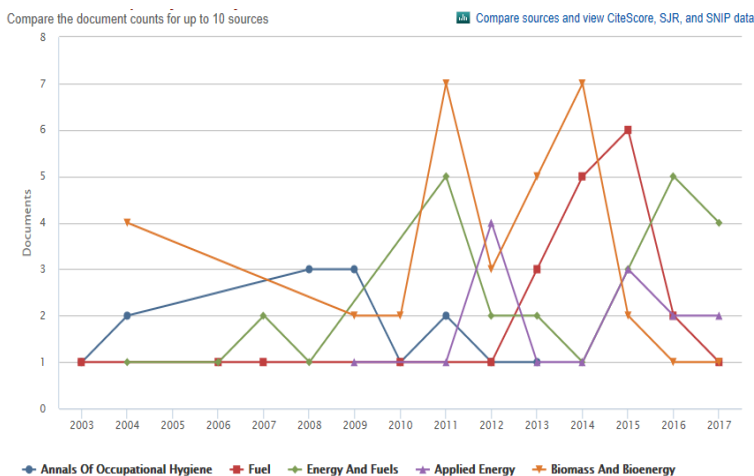


Gráfico 1 - Publicações por área sobre pellets

Observa-se que nos anos de 2011 e 2014, obteve-se maiores publicações na revista *Biomass e Bioenergy* e que esta é a que mais possui documentos na área de publicação.

Assim, após realizar todos os levantamentos necessários para identificação dos artigos mais relevantes, foi possível elencar os 10 artigos mais relevantes desta pesquisa, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Artigos mais relevantes

Artigos	Journal	Ano	JCR	Qualis	Autor
Determination of effective thermal conductivity and specific heat capacity of wood pellets	Fuel	2013	3,611	A1	Guo, W., Lim, C.J., Bi, X., Sokhansanj, S. and Melin, S.

Tabela 5 - Continuação

Artigos	Journal	Ano	JCR	Qualis	Autor
How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions	Atmospheric environment	2017	3,459	A1	Fachinger, F., Drewnick, F., Gieré, R. and Borrmann, S.
Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review	Renewable & Sustainable Energy Reviews	2017	6, 798	A1	Whittaker, C. and Shield, I.
Energy efficiency, greenhouse gas emissions and durability when using additives in the wood fuel pellet chain	Fuel Processing Technology	2016	3,847	A1	Ståhl, M., Berghel, J. and Williams, H.
Combustion and emission characteristics of a domestic boiler fired with pellets of pine, industrial wood wastes and peach stones	Renewable Energy	2013	3,404	A2	Rabaçal, M., Fernandes, U. and Costa, M.
Effects of thermal treatment on energy density and hardness of torrefied wood pellets	Fuel Processing Technology	2015	3,847	A1	Peng, J., Wang, J., Bi, X.T., Lim, C.J., Sokhansanj, S., Peng, H. and Jia, D.
Consumer knowledge, information sources used and predisposition towards the adoption of wood pellets in domestic heating systems	Renewable & Sustainable Energy Reviews	2016	6,798	A1	Garcia-Maroto, I., Garcia-Maraver, A., Munoz-Leiva, F. and Zamorano, M.
Direct measurements of thermal properties of wood pellets: Elevated temperatures, fine fractions and moisture content	Fuel	2014	3,611	A1	Sjöström, J. and Blomqvist, P.
Effects on Pellet Properties and Energy Use When Starch Is Added in the Wood-Fuel Pelletizing Process	Energy & Fuel	2012	2,835	A2	Ståhl, M., Berghel, J., Frodeson, S., Granström, K., & Renström, R.
Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal	Renewable Energy	2016	3,404	A2	Nunes, L.J.R., Matias, J.C.O. and Catalao, J.P.S

Guo et al. (2013) analisaram em sua pesquisa dois tipos de pellets de madeira macia (coníferas), e analisaram que os materiais apresentaram bom potencial térmico e elevado poder calorífico, resultando em grande potencial energético.

Segundo Fachinger et al. (2017) os pellets apresentam elevado potencial energético, e a durabilidade e teor de umidade variaram de acordo com o tipo de madeira utilizado.

Whittaker e Shield (2017) analisaram a durabilidade dos pellets produzidos a partir de madeira (Pinheiro Silvestre), gramíneas (*Miscanthus*) e palha (Trigo), que por vez apresentaram valores energéticos superiores ao da madeira. Após análise verificou-se que a durabilidade dos pellets avaliados pode sofrer variação por diversos fatores, tais como: tamanho das partículas, adição de aditivos, condições de peletização, resistência à compressão ou à abrasão, elasticidade, resistência à água, e atrito do material durante a peletização. Após análise dos resultados verificaram que os mesmos apresentaram alta durabilidade e que a mesma está diretamente relacionada com o tipo de material utilizado.

Stähl, Berghel, e Williams (2016) investigaram como os aditivos, amido de milho e melão afetam o consumo de energia na prensa de pellets, e as emissões equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) na produção de pellets de combustível de madeira. E, verificaram que a produção no processo de peletização é mais eficiente em termos de energia quando são utilizados aditivos, e que a quantidade de CO₂ emitida durante a combustão destes biocombustíveis pode ser minimizada se a quantidade de rejeitos for reduzida. A durabilidade dos pellets aumentou proporcionalmente com uma quantidade de aditivo.

Rabaçal, Fernandes e Costa (2013) estudaram as características de combustão e emissão de uma caldeira doméstica acionada com pellets de pinho, resíduos industriais de madeira e caroço de pêsego. Os resultados revelam que o tipo de pellets afeta significativamente as características das emissões da caldeira, com os pellets de pinho apresentando um desempenho significativamente melhor do que os pellets de resíduos industriais de madeira e caroço de pessegueiro.

Peng et al. (2015) analisaram três tipos de amostras de pellets de madeira, incluindo dois tipos de pellets comerciais e um tipo de pellets de controle fabricados em laboratório. Estes foram torrefados em uma unidade de cama fixa para estudar o efeito do pré-tratamento térmico sobre a qualidade dos pellets de madeira. A qualidade dos pellets de madeira foi caracterizada principalmente pela densidade do sedimento, densidade aparente, maior valor de aquecimento, dureza Meyer, absorção de umidade saturada, densidade de energia volumétrica e produção de energia. Os resultados mostraram que a torrefação diminuiu significativamente a densidade, a dureza, a densidade de energia volumétrica e o rendimento energético dos pellets. Recomenda-se portanto, que a biomassa seja submetida à torrefação e, em seguida, comprimida para produzir pellets fortes de alta hidrofobicidade e densidade de energia volumétrica.

Garcia et al. (2016) utilizaram uma abordagem baseada na percepção envolvendo um grupo focal e entrevistas pessoais para proporcionar uma compreensão mais holística para a adoção de sistemas

de aquecimento ou caldeiras à base de pellets de madeira. E observaram que a maioria dos entrevistados sabia muito pouco sobre pellets, principalmente devido à falta de informação e comunicação. Os amigos eram a principal fonte de informação, seguida pela família membros.

Sjöstrom, e Blomqvist (2014) concluíram em seu estudo que o calor específico e a condutividade térmica de pellets de madeira podem ser mensurados através da técnica de Fonte do Plano Transiente, e que os mesmos apresentaram temperaturas entre 22 e 120°C para pellets de madeira a granel.

Ståhl et al. (2012) investigaram em seu trabalho como a porcentagem de diferentes tipos de amido influenciam nas propriedades dos pellets, incluindo vida útil e uso de energia no processo de pelotização. O resultado mostra que o amido aumenta a durabilidade dos mesmos.

Nunes, Matias e Catalao (2016) demonstraram aos consumidores portugueses que os pellets de madeira são uma boa alternativa como combustível, já que é uma fonte de energia rentável no uso a longo prazo. Para isto, realizaram um levantamento de dados sobre produção, capacidade de produção e consumo de pellets. E demonstraram que os pellets são uma alternativa importante no mercado de energia português devido ao preço competitivo deste combustível em comparação com os combustíveis tradicionais.

4. CONCLUSÃO

Foi possível verificar através do levantamento de dados realizados a partir das bases *Web of Science* e *Scopus*, quais as fontes de publicações mais impactantes para a produção de diferentes tipos de pellets, realizando um processo de busca por palavras chave, e filtragem de artigos mais relevantes. Assim foram identificados os autores, países, áreas entre outros com a finalidade de auxiliar futuros pesquisadores e orientá-los sobre o potencial energético de pellets de diferentes composições. Assim perante a realização deste trabalho foi possível analisar e observar o número de publicações por países, idiomas, anos de publicação, autores e áreas de publicação, bem como selecionar os artigos de acordo com seu grau de relevância das publicações, considerando o JCR e quantidade de citações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRANZ, J. I., MIRANDA, M. T., MONTERO, I., SEPÚLVEDA, F. J., & ROJAS, C. V. Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. *Fuel*, v. 142, p. 199-207, 2015.

CAMBERO, C., SOWLATI, T. Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives - A review of literature. *Renew. Sust. Energy Rev.* 2014.

DUCA, D.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; TOSCANO, G. Wood pellet quality with respect to EN 14961-2 standard and certifications. *Fuel*, v. 135, p. 9-14, 2014.

EUROPEAN COMMISSION GREEN PUBLIC PROCUREMENT (GPP) TRAINING TOOLKIT. DG Environment-G2, B-1049. European Commission, Bruxelles, 2009.

FACHINGER, FRIEDERIKE ET AL. How the user can influence particulate emissions from residential wood and pellet stoves: Emission factors for different fuels and burning conditions. *Atmospheric Environment*, v. 158, p. 216-226, 2017.

FAO – Forest Products Statistics. Global Forest Products Facts and Figures. 2012.

GARCIA, Dorival Pinheiro; CARASCHI, José Cláudio; VENTORIM, Gustavo. O setor de pellets de madeira no Brasil. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, v. 8, n. 1, 2017.

GORI, M., BERGFELDT, B., REICHELT, J., SIRINI, P. Effect of natural ageing on volume stability of MSW and wood waste incineration residues. *Waste Manage.* 2013.

GUO, W., LIM, C. J., Bi, X., SOKHANSANJ, S., & MELIN, S. Determination of effective thermal conductivity and specific heat capacity of wood pellets. *Fuel*, v. 103, p. 347-355, 2013.

KITCHENHAM B.A., T. DYBÅ, M. JORGENSON. Evidence-Based Software Engineering Proceedings of ICSE 2004, IEEE Computer Society Press, pp. 273-281. 2004.

LINDE, Klaus; WILLICH, Stefan N. How objective are systematic reviews? Differences between reviews on complementary medicine. *Journal of the Royal Society of Medicine*, v. 96, n. 1, p. 17-22, 2003.

MAGELLI, F., BOUCHER, K., BI, H.T., MELIN, S., BONOLI, A. An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe. *Biomass Bioenergy*, 2009.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALAO, J. P. S. Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal. *Renewable Energy*, v. 85, p. 1011-1016, 2016.

PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PENG, Jianghong et al. Effects of thermal treatment on energy density and hardness of torrefied wood pellets. *Fuel Processing Technology*, v. 129, p. 168-173, 2015.

RABAÇAL M, FERNANDES U, COSTA M. Combustion and emission characteristics of a domestic boiler fired with pellets of pine, industrial wood wastes and peach stones. *Renew Energy* 2013. 220-226.

SACCHELLI S, DE MEO I, Paletto A. Bioenergy production and forest multifunctionality: a trade-off analysis using multiscale GIS model in a case study in Italy. *Appl Energy* 2013.

SJÖSTRÖM J, BLOMQUIST P. Direct measurements of thermal properties of wood pellets: elevated temperatures, fine fractions and moisture content. *Fuel*, 2014.

STÅHL, Magnus, BERGHEL, J., FRODESON, S., GRANSTRÖM, K., & RENSTRÖM, R. Effects on pellet properties and energy use when starch is added in the wood-fuel pelletizing process. *Energy & Fuels*, v. 26, n. 3, p. 1937-1945, 2012.

STÅHL M, BERGHEL J, WILLIAMS H. Energy efficiency, greenhouse gas emissions and durability when using additives in the wood fuel pellet chain. *Fuel Process Technol.* 2016.

TOSCANO, G.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; CORINALDESI, F.; MENGARELLI, C.; DUCA, D. Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements. *Journal Biomass and Bioenergy*, Barking, Inglaterra, v. 56, p. 317-322, 2013.

WHITTAKER, C.; SHIELD, I. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. *Renew sust energ rev*, 71, p. 1–11, 2017.

Informações para Autores

Propostas de publicações em consonância com o disposto na missão da Revista Brasileira de Energia (RBE) poderão ser enviadas ao Comitê Editorial para análise, através de link específico existente no site da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (www.sbpe.org.br).

A formatação final para publicação ficará por conta do departamento de diagramação da RBE, porquanto os artigos deverão ser enviados em formatação simples, conforme o disposto a seguir:

- Os trabalhos devem ser editados e enviados em arquivo Word.
- Papel A4, margens 20 mm, fonte Times New Roman tamanho 12, espaçamento simples.
- Figuras com resolução mínima de 300 dpi.
- O nome do autor ou autores, não devem ser abreviados, e as respectivas informações de instituição, endereço, cidade, cep, estado, telefone e e-mail devem ser apresentadas.
- Todos os itens devem ser numerados sequencialmente, exceto Resumo e Abstract. Não usar numeração automática do processador de texto. Serão aceitos no máximo 3 subníveis de numeração, a partir dos quais poderão ser usadas letras como único subnível adicional.
- Títulos de figuras e tabelas, abaixo e acima das mesmas, respectivamente, sem descrição de fonte, a qual deverá ser feita ao longo do texto, muito menos a existência do termo “autoria própria”.
- Referências a trabalhos deverão ser citadas no texto com nome do autor (ou autores) e ano de publicação, entre parêntesis [Ex.: (Autor 1, 1928); (Autor 1 e Autor 2, 1928)]. Na existência de mais de dois autores, escreve-se o nome do primeiro autor seguido da expressão et al. [Ex.: (Autor 1 et al, 1928)].

Referências Bibliográficas:

- Somente deverão ser citados autores ou trabalhos que estejam incluídos na lista de referências bibliográficas, assim como todos os trabalhos listados nas referências bibliográficas deverão ter sido citados no texto.
- Referências a autor(es) deverão ser citadas no texto com nome do autor (ou autores) sucedida do ano de publicação entre parêntesis [Ex.: Autor 1 (1928); Autor 1 e Autor2 (1928)].
- Na existência de mais de dois autores, escreve-se o nome do primeiro autor seguido da expressão et al. [Ex.:Autor 1 et al (1928)].