SISPRED 2023
XV SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS
BOAS PRÁTICAS, INOVAÇÃO, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE
19 E 20 DE OUTUBRO DE 2023 - JOINVILLE - SC

CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM ORGANIZAÇÕES MILITARES COMO FERRAMENTA DE SUPORTE AO USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

Characterization of electric energy consumption in military organizations as a support tool for the use of alternative energy sources

Larissa Barroso dos Santos[1]; Daniel Setrak Sowmy[2]

Recebido em 28 de abril de 2023, aprovado em 11 de julho de 2023, publicado em 19 de outubro de 2023

Palavras-chave:
Organização militar
Consumo de energia
Energia alternativa

Keywords:
Military organization
Energy consumption
Alternative energy

RESUMO: Este estudo apresenta uma análise do padrão de consumo de energia elétrica de dezesseis organizações militares do Exército Brasileiro localizadas no Estado de São Paulo, sendo o intuito principal desse levantamento auxiliar o processo decisório de implementação de fontes alternativas de energia. Dessa forma, são avaliados os dados de consumo e demanda de energia elétrica dessas organizações no ano de 2019, associados a informações de efetivo de militares, área e tipologia de cada quartel. Os resultados obtidos com auxílio do conhecimento de regressão linear múltipla possibilitam estimar o consumo e a demanda de energia de organizações militares ainda na fase de projeto, antes de sua implementação. Esses dados são relevantes no dimensionamento de sistemas de geração a partir de fontes alternativas de energia.

ABSTRACT: This study presents an analysis of the electric energy consumption pattern of sixteen military organizations of the Brazilian Army located in the State of São Paulo, with the main purpose of this survey being to assist the decision-making process for the implementation of alternative energy sources. In this way, data on electric energy consumption and demand from these organizations in 2019 are evaluated and associated with information on the number of military personnel, area and typology of each barracks. The results obtained with the aid of knowledge of multiple linear regression make it possible to estimate the energy consumption and demand of military organizations still in the design phase, before its implementation. These data are relevant in designing generation systems from alternative energy sources.

CONTATO DOS AUTORES:

[1] **SANTOS, Larissa Barroso dos**: Engenheira eletricista, Estudante de mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, larissabarroso@usp.br.
[2] **SOWMY, Daniel Setrak**: Engenheiro civil, Doutor, Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, dss@usp.br.

1 INTRODUÇÃO

Apesar das fontes renováveis de energia já possuírem um papel significativo na matriz elétrica brasileira e da adoção de mecanismos para conservação e recuperação de vegetações nativas (ATHAYDE; CABRAL, 2020), são necessárias medidas complementares para combater o impacto das mudanças climáticas. Entre as quais é possível citar a proposta do governo brasileiro em 2016 de expandir a contribuição de fontes renováveis de energia, além das hidroelétricas, para um percentual entre 28% e 33% da matriz elétrica até 2030 (BRASIL, 2016).

Dessa forma, em consonância com o esforço nacional para garantir o fornecimento de energia de maneira sustentável e a preservação ambiental, é de grande relevância avaliar a viabilidade de sistemas de geração distribuída a partir de energias renováveis em instituições públicas, em razão do importante papel do Estado na promoção de tecnologias por meio de investimentos em pesquisas, impulsionando o desenvolvimento de recursos ou serviços, estabelecendo padrões e normatizações, adquirindo produtos e serviços. Essa capacidade do Estado de fomentar e disseminar tecnologias pode dar suporte ao setor industrial para aprimorar os sistemas de aproveitamento de energias renováveis.

Todavia, para garantir os benefícios que a aplicação desses sistemas em órgãos públicos pode proporcionar, é essencial o desenvolvimento do projeto de energia renovável em consonância com os padrões de consumo e de demanda de energia elétrica.

No dimensionamento de sistema de geração de energia a partir de fontes alternativas, a potência instalada da usina é limitada à potência disponibilizada à unidade consumidora pela concessionária (ANEEL, 2021). Portanto, essa restrição precisa ser considerada para avaliar a possibilidade de solicitação de adequações à concessionária ou limitação da potência instalada. Ainda, o conhecimento da energia consumida em uma edificação possibilita adotar a melhor solução de projeto sobre o aspecto da energia a ser compensada pela geração.

No caso de uma organização existente, o consumo e a demanda de energia elétrica estão disponíveis nas faturas mensais. Entretanto, nos projetos de construção de novas edificações, não é possível se valer dessas informações para determinar o padrão de consumo e de demanda, impossibilitando o dimensionamento de um sistema mais adequado.

Considerando essa limitação e como forma de contribuir para futuros estudos, foi realizada uma pesquisa com organizações militares a fim de obter indicadores que possam nortear a estimativa de consumo de energia elétrica em novas instalações.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é caracterizar o consumo de energia elétrica em organizações militares do Exército Brasileiro por meio da análise de dados de 16 quartéis localizados no Estado de São Paulo, possibilitando a estimativa de consumo e demanda de energia para novas organizações.

3 MÉTODO

A pesquisa foi conduzida com base nas informações de organizações militares localizadas no Estado de São Paulo, entre as quais: número de militares, área construída, área do terreno, tipologia e faturas de energia elétrica do ano de 2019.

Com o intuito de caracterizar o consumo de energia elétrica nessas organizações militares, foram avaliados indicadores anuais de consumo e de demanda de energia com base nos dados obtidos. Em seguida, foi desenvolvido um modelo para predição de consumo e demanda de energia elétrica em projetos de novas organizações.

Para a predição, aplicou-se o método de Regressão Linear Múltipla (RLM) apresentado por Montgomery e Ranger (2021) para avaliar as variáveis preditoras mais adequadas para estimativa do consumo de energia anual de novas organizações militares. A partir da ferramenta de análise de dados do software Microsoft Excel, foi desenvolvida a equação 1 a seguir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \varepsilon \quad \text{(Eq.1)}$$

A equação representa a predição do valor da variável dependente (y) a partir das variáveis preditiva (x_i), enquanto os coeficientes de regressão (β_i) e o erro (ε). Sendo o consumo estimado de energia a variável dependente, enquanto as variáveis preditoras são: Tipo de OM, Número de militares, Área total construída e (Número de militares) $^{-1}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No total, 16 organizações militares (OM) concordaram em participar do estudo e foram nomeadas como OM1 a OM16. As identificações foram intencionalmente suprimidas para preservar a segurança dessas unidades.

As OM1, OM2, OM3, OM4, OM5 são classificadas unidades não operacionais, nas quais são desempenhadas funções de coordenação e apoio. A OM6 também é uma unidade não operacional, entretanto nesta são desenvolvidas atividades de ensino e capacitação. As demais OMs são Organizações Militares do Corpo de Tropa (OMCT), onde predominam atividades operacionais.

As informações obtidas das unidades militares estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 - Dados de 2019 das organizações militares

Código da OM	Número de militares	Área construída (m²)	Área do terreno (m²)	Demanda máxima media de energia elétrica (kW)	Consumo total de energia elétrica (kWh)
OM1	139	4884	11156	78	256561
OM2	79	1300	7910	-	78538
OM3	247	14386	120484	171	569953
OM4	407	14039	31243	388	954721
OM5	77	1505	3130	-	46240
OM6	1029	31798	555176	239	1132820
OM7	623	5173	20145	83	232690
OM8	646	10805	1003283	108	293758
OM9	516	12629	2105923	-	234434
OM10	486	17878	2229935	61	196479
OM11	591	13189	159150	117	390237
OM12	485	28942	426695	93	356580
OM13	547	11909	727924	99	282410
OM14	2600	44045	2719934	-	3628024
OM15	600	13598	291669	-	483149
OM16	372	16350	334977	-	219426

Fonte: Autores (2023).

A demanda máxima média de energia elétrica foi obtida a partir da média dos valores máximos de demanda medidos em cada mês nas faturas de energia de 2019 para

consumidores do grupo A. Enquanto o consumo total de energia reflete a soma dos valores faturados no mesmo ano.

4.1 Análise dos dados de consumo e demanda de energia

Com base nessas informações, a primeira análise realizada foi sobre indicadores de consumo de energia, representados no Quadro 2.

Quadro 2 - Indicadores anuais de consumo de energia elétrica das OMs analisadas

Código da OM	Consumo de energia elétrica por militar (kWh/militar/ano)	Consumo de energia elétrica por área construída (kWh/m²/ano)	Consumo de energia elétrica por área do terreno (kWh/m²/ano)
OM1	1846	53	23,0
OM2	994	60	9,9
OM3	2308	40	4,7
OM4	2346	68	30,6
OM5	601	31	14,8
OM6	1101	36	2,0
OM7	373	45	11,6
OM8	455	27	0,3
OM9	454	19	0,1
OM10	404	11	0,1
OM11	660	30	2,5
OM12	735	12	0,8
OM13	516	24	0,4
OM14	1395	82	1,3
OM15	805	36	1,7
OM16	590	13	0,7

Fonte: Autores (2023).

Os dados obtidos foram coerentes com a realidade das OMCT que, em geral, ocupam terrenos extensos, proporcionalmente pouco edificados e não possuem uma quantidade significativa de equipamentos elétricos. Embora, a maior divergência nesse padrão foi identificada na OM14 que, na verdade, é um complexo com diversas unidades militares e onde são exercidas atividades operacionais altamente especializadas e de capacitação, o que justificaria o distanciamento dos indicadores em relação aos das demais.

Enquanto, nas unidades não operacionais, onde são desempenhadas mais atividades administrativas, há um consumo de energia proporcional ao número de militares comparativamente maior com equipamentos e iluminação de escritórios, o que ficou evidente no Quadro 2.

Como forma de validação desses dados, foram comparados os valores obtidos com indicadores de consumo de energia por área construída de edificações não residenciais no Brasil (GERALDI *et al.*, 2022) e organizações do Exército dos Estados Unidos (BOHLE *et al.*, 2017). Para as OMs em análise, os valores médios desse indicador foram de 48 kWh/m²/ano para as OMs não operacionais e de 30 kWh/m²/ano para as OMCTs. Nas edificações não residenciais, os índices variaram entre 38 kWh/m²/ano e 67 kWh/m²/ano (GERALDI *et al.*, 2022). Enquanto, nas organizações militares dos Estados Unidos, as médias verificadas foram de 31,3 kWh/m²/ano e 27,5 kWh/m²/ano para tipologias semelhantes das OMs brasileiras (BOHLE *et al.*, 2017). Dessa forma, é possível constatar a validade dos dados obtidos.

A mesma sistemática de análise de indicadores também foi adotada para a demanda de energia, como detalhado no Quadro 3.

Quadro 3 - Indicadores de demanda de energia

Código da OM	Demanda de energia por militar (W/militar)	Demanda de energia por área construída (W/m²)	Consumo de energia por demanda (kWh/kW)
OM1	564	16	3275
OM3	693	12	3331
OM4	953	28	2462
OM6	232	8	4740
OM7	133	16	2798
OM8	168	10	2714
OM10	126	3	3197
OM11	198	9	3335
OM12	191	3	3853
OM13	180	8	2861

Fonte: Autores (2023).

No Quadro 3, os valores obtidos reforçaram a evidência de que em organizações administrativas há uma demanda superior de energia em virtude da maior carga de equipamentos e iluminação de escritórios funcionando em conjunto e concentrados em uma área construída menor.

Também é interessante apontar que a relação entre o consumo de energia e a demanda máxima média apresentou valores próximos, sendo a mediana calculada de 3.197kWh/kW.

Ainda, ao compilar as porcentagens mensais do consumo de energia durante o período de ponta em relação ao respectivo consumo total do mês no ano de 2019 para consumidores do grupo A, ficou evidente uma considerável uniformidade nessa proporção. Assim, o menor percentual verificado foi de 6%, enquanto o maior foi de 14%, sendo a média geral igual a 10%.

4.2 Modelo de previsão de consumo de energia

Na sequência do estudo, foi aplicado o método de RLM para predizer o consumo de energia elétrica a partir de dados conhecidos da edificação, por meio da Equação 1.

Nesse modelo, para indicar se a OM é do tipo operacional ou não, foi utilizada a variável *dummy* Tipo de OM, tento sido atribuído o valor 0 para OM administrativa e valor 1 para OMCT. Ainda, o uso da variável (Número de militares) $^{-1}$ foi um artifício matemático utilizado para melhor ajuste do modelo, como proposto por Montgomery e Ranger (2021) na construção de modelos, os quais descrevem que a forma funcional de cada variável independente candidata é correta.

A análise dos parâmetros estatísticos também indicou a necessidade de suprimir os dados da OM16 do universo analisado, pois ajustes não foram possíveis para reduzir o valor do resíduo padronizado para essa amostra.

Ainda, a prévia avaliação dos indicadores de consumo teve um importante papel, indicando a possibilidade de realizar o ajuste do enquadramento da OM6, que, apesar de ser designada uma OM não operacional, o seu padrão de consumo e a avaliação das peculiaridades das atividades lá desempenhadas levaram a reclassificação para o valor 1 quanto ao Tipo de OM.

Então, com auxílio do software, foram realizadas diversas simulações até obtenção de um modelo mais adequado aos dados levantados, o que levou a um coeficiente de determinação múltipla ajustado de 0,993, indicando uma forte relação entre as variáveis independentes e dependente (MONTGOMERY; RANGER, 2021).

Dando continuidade ao estudo do modelo, foram realizados o Teste de ANOVA e o Teste T. Em ambos os procedimentos, o valor P foi inferior a 0,05, sugerindo que os coeficientes contribuem significativamente para qualidade do modelo (MONTGOMERY e RANGER, 2021).

A fim de concluir a análise apresentada, no Quadro 4, estão representados os coeficientes da equação gerada na regressão linear.

Quadro 4 - Relatório dos coeficientes do modelo de RLM

Coeficiente da regressão	Valor
Constante	189969,7
Tipo de OM	-822467,4
Número de militares	1450,2
Área total construída	11,1
(Número de militares) $^{-1}$	-20842392,1

Fonte: Autores (2023).

Os valores obtidos para os coeficientes de regressão são coerentes com os dados das organizações analisadas no estudo. O modelo indica que o consumo de energia aumenta com o número de militares e a área total construída, sendo mais influenciado pela primeira variável. Enquanto o valor é reduzido para organização classificada como OMCT, ou seja, variável Tipo de OM igual a 1. E, o termo (Número de militares) $^{-1}$ corrige o valor de consumo de energia para OMs com grande número de militares.

A partir do modelo de RLM é possível calcular o consumo de energia (CE) anual estimado para as organizações em estudo e os respectivos erros associados, os quais estão detalhados a seguir.

Quadro 5 - Comparativo entre valores reais e estimados de CE para o modelo da RLM

OM	CE total anual (kWh)	CE total anual estimado (kWh)	Erro (%)
OM1	256561	295694	15%
OM2	78538	55106	-30%
OM3	569953	623117	9%
OM4	954721	884477	-7%
OM5	46240	47619	3%
OM6	1132820	1191676	5%
OM7	232690	294815	27%
OM8	293758	391736	33%
OM9	234434	215283	-8%
OM10	196479	227418	16%
OM11	390237	335376	-14%
OM12	356580	348416	-2%
OM13	282410	254554	-10%
OM14	3628024	3617818	0%
OM15	483149	353487	-27%

Fonte: Autores (2023).

É possível notar no Quadro 5 uma proximidade aceitável entre os valores estimados e os dados originais, pois o percentual do erro ficou limitado a -30% e 33%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das barreiras para desenvolvimento de projetos de aproveitamento de energias alternativas para edificações novas é a inexistência de histórico do padrão de consumo e de demanda de energia elétrica, já que esses parâmetros possuem um importante papel na definição da solução mais adequada e economicamente viável. No âmbito do Exército, esse também representa um desafio para os projetistas e para a implementação de sistemas de energias alternativas.

Então, como contribuição deste trabalho, a análise dos dados das dezesseis organizações militares localizadas no Estado de São Paulo possibilitou verificar padrões de consumo e de demanda de energia de acordo com as atividades desempenhadas, o efetivo de militares e as áreas construída e do terreno.

Além disso, também foi possível desenvolver uma ferramenta para estimativa de consumo anual de energia elétrica de novas organizações militares, o que poderá contribuir não apenas para dimensionamento de sistemas de geração a partir de fontes alternativas de energia, mas também para a aplicação de medidas de eficiência energética mediante a análise dos parâmetros de indicadores.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. [*S. l.*]: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1 dez. 2021. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf. Acesso em: 28 abr. 2022.

ATHAYDE, L. C. the; CABRAL, M. T. S. **Ministério das Relações Exteriores**. [*S. l.*]: Ministério das Relações Exteriores, 2020. Disponível em: https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Explanatory%20Letter_Brazil.pdf. Acesso em: 12 set. 2021.

BOHLE, S. *et al.* **Facility energy performance benchmarking in a data-scarce environment**. [*S. l.*]: Construction Engineering Research Laboratory (U.S.), 29 set. 2017. Disponível em: http://hdl.handle.net/11681/24344. Acesso em: 12 set. 2022.

BRASIL. **Intended Nationally Determined Contribution**. [*S. l.*]: UNFCCC, 2016. Disponível em: https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf.

GERALDI, M. S. *et al.* Assessment of the energy consumption in non-residential building sector in Brazil. **Energy and Buildings**, [*S. l.*], v. 273, p. 112371, 15 out. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778822005424. Acesso em: 12 set. 2022.

MONTGOMERY, D. C.; RANGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Tradução e revisão técnica: Veronica Calado, Antonio Henrique Monteiro da Fonseca Thomé da Silva**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.