

OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS NO SEMIÁRIDO: CÁLCULO DE DEMANDAS

Filipi Maciel Melo (1); Rafaela Ramos Barbosa (2); Monica Carvalho (3)

(1) Mestre, Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Universidade Federal da Paraíba.
filipi.maciел@ct.ufpb.br

(2) Aluna de graduação, Eng. de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba.
rafaela.barbosa@cear.ufpb.br

(3) Orientadora, Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba.
monica@cear.ufpb.br

Resumo: O conceito de sustentabilidade vem se consolidando recentemente devido às pressões da sociedade para buscar maneiras menos agressivas de satisfazer suas necessidades e desejos. Cada vez mais energia é consumida devido ao incremento nos níveis de conforto desejados e preços mais baixos de equipamentos. A necessidade de se considerar o aspecto de sustentabilidade como critério adicional na hora de projetar sistemas energéticos já é realidade devido ao processo de conscientização ambiental global que exige conceitos de eficiência energética e impactos ambientais reduzidos. O primeiro passo para projetar um sistema de fornecimento de energia é conhecer as demandas energéticas do centro consumidor em questão. Estas demandas variam ao longo do dia, e ao longo do ano, sendo fortemente dependentes da localização geográfica. Há limitados estudos que consideram o semiárido brasileiro como objeto de estudo para a otimização de sistemas energéticos. O objetivo deste trabalho é detalhar o procedimento de obtenção das demandas energéticas para um edifício residencial localizado em Cabaceiras, semiárido paraibano (latitude -7.48, longitude -36,29, altitude 436). O edifício simulado possui 20 pavimentos com dois apartamentos em cada pavimento, e cada apartamento tem cerca de 92 m². O resultado dessas demandas foi 178 MWh/ano de eletricidade, 45 MWh/ano de calor e 237 MWh/ano de refrigeração..

Palavras-Chave: Demandas energéticas, edifício, semiárido, Brasil.

Introdução

As demandas energéticas associadas ao funcionamento de edifícios residenciais são basicamente eletricidade (iluminação, eletroeletrônicos, eletroportáteis, eletrodomésticos), calor (água quente para banho, e dependendo da localização geográfica, para calefação¹/conforto ambiental), e refrigeração (conforto ambiental, que também depende da localização geográfica). As demandas de eletricidade são influenciadas, segundo Castro e Montini (2010), pela tarifa média da classe de consumo em questão, pela renda do consumidor, e pelo preço dos produtos que consomem eletricidade. As demandas de calor e refrigeração dependem da quantidade de pessoas consumidoras dessas utilidades, das cargas inseridas no ambiente, do tamanho do espaço em questão para aquecer ou resfriar, da localização da edificação e dos materiais das paredes dessa edificação (MELO; SILVA;

¹ sistema de aquecimento em recintos fechados, muito utilizado em países de clima temperado e frio

CARVALHO, 2017).

A ausência de estudos energéticos prévios à construção das edificações pode resultar em necessidades energéticas mais altas, com efeitos cumulativos ao considerar-se a vida útil das construções. Um estudo energético antes da etapa de projeto é bastante conveniente porque permite a simulação de vários cenários, objetivando um consumo reduzido de energia (com consequentes custos mais baixos ao morador, por exemplo).

A busca por uma vida mais sustentável é discutida mundialmente, na mídia, nas escolas, nas revistas e em conferências acadêmicas. O setor industrial e comercial já vem sendo historicamente pressionado para melhorar seu desempenho ambiental, e esse posicionamento vem se propagando também para o setor residencial. O conhecimento desse consumo energético é crucial em estudos de otimização, contribuindo para uma melhor eficiência energética no setor residencial. O trabalho aqui apresentado estabelece as demandas energéticas para um edifício residencial, com o objetivo de proporcionar dados confiáveis a estudos energéticos que dependem desses dados. A inovação é a consideração de uma localidade do semiárido paraibano.

Há variadas maneiras de se atender às demandas energéticas de um edifício: de forma convencional (todos os equipamentos são conectados a rede elétrica), ou utilizando conceitos de cogeração e integração energética (equipamentos interligados, que atendem às demandas com menores custos e impactos ambientais. Porém, essa implantação deve ser precedida por um estudo de viabilidade técnica e econômica, para verificar qual seria a melhor forma de instalação dentre as várias possibilidades. Para responder a esses questionamentos, desenvolvem-se estudos de otimização. O fornecimento de energia de forma integrada, por meio de equipamentos otimizados, pode garantir operação contínua quando conectado à rede elétrica, proporcionando uma maior confiabilidade e estabilidade ao consumidor. Porém a escolha do sistema de fornecimento de energia depende de um estudo aprofundado, considerando todos os equipamentos utilizados para o fornecimento e conversão de energia, considerando as variações do consumo ao longo do dia e do ano e considerando as tarifas de energia. Um estudo de otimização energética, com consequente melhor uso dos recursos, depende das demandas energéticas da edificação.

Esse trabalho apresenta os procedimentos de cálculo das demandas energéticas de um edifício residencial com 20 pavimentos, com dois apartamentos em cada pavimento, com o objetivo de auxiliar os estudos de otimização energética na tomada de decisão dos recursos que serão utilizados para atender essas demandas.

Metodologia

O município de Cabaceiras está localizado no semiárido paraibano (Figura 1), na Mesorregião Borborema do Estado da Paraíba, com área de 400 km²; Cabaceiras tem uma altitude aproximada de 388 metros, estando localizada a 162 km da capital (BRASIL, 2005). A Figura 2 mostra as temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C), para o município de Cabaceiras.

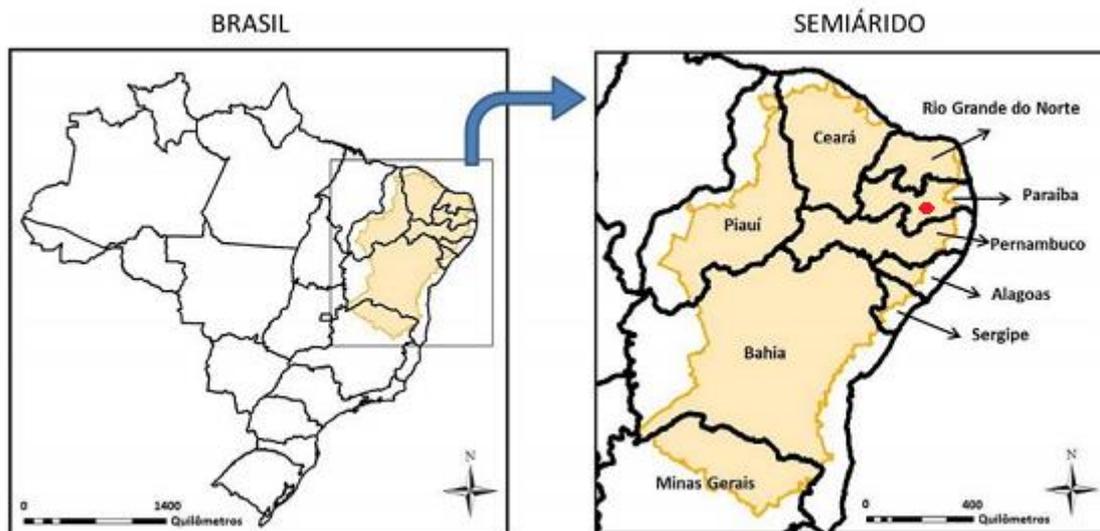


Figura 1 - Abrangência do semiárido brasileiro e localização de Cabaceiras em vermelho (adaptado de ROSA, 2013).

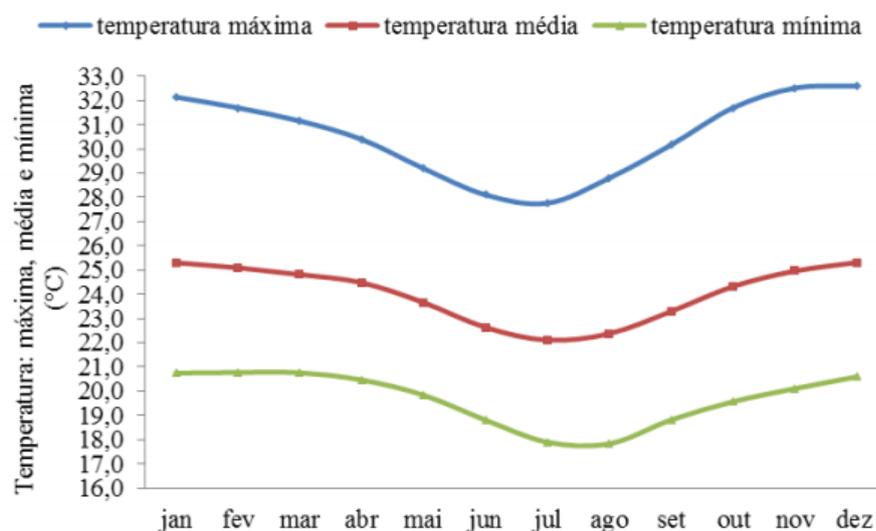


Figura 2 - Temperaturas máxima, média e mínima para Cabaceiras (MEDEIROS, 2015 *apud* MEDEIROS; MEDEIROS, 2016).

O software utilizado para simulação do edifício residencial e obtenção das demandas energéticas foi o Energyplus (DOE; BTO, 2017), que é bastante utilizado por pesquisadores ou projetistas que queiram avaliar o desempenho termoenergético de edificações.

Simulou-se uma edificação residencial, com sua localização escolhida para a cidade de Cabaceiras, latitude -7.48 , longitude $-36,29^\circ$, com 20 pavimentos. Cada pavimento com dois apartamentos de 92 m^2 . Para realizar essa simulação utilizaram-se dados climáticos do município de Cabaceiras, produzidos pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) a partir de dados registrados por estações climatológicas do INMET (RORIZ, 2012).

O desempenho da edificação é definido a partir de várias opções (e.g., materiais de construção, projeto arquitetônico, período de uso dos equipamentos elétricos e condicionamento de ar). A energia requerida para resfriar ou aquecer o edifício, usando uma variedade de sistemas e fonte de energia, é calculada. A técnica de solução do Energyplus baseia-se no balanço de energia, permitindo o cálculo simultâneo dos efeitos radiantes e convectivos na superfície interior e exterior, durante cada intervalo de tempo. Um arquivo de saída dxf é gerado como resultado da construção das paredes, portas e janelas no programa. A Figura 3 apresenta uma modificação do arquivo dxf gerado, que representa a planta baixa de um pavimento.

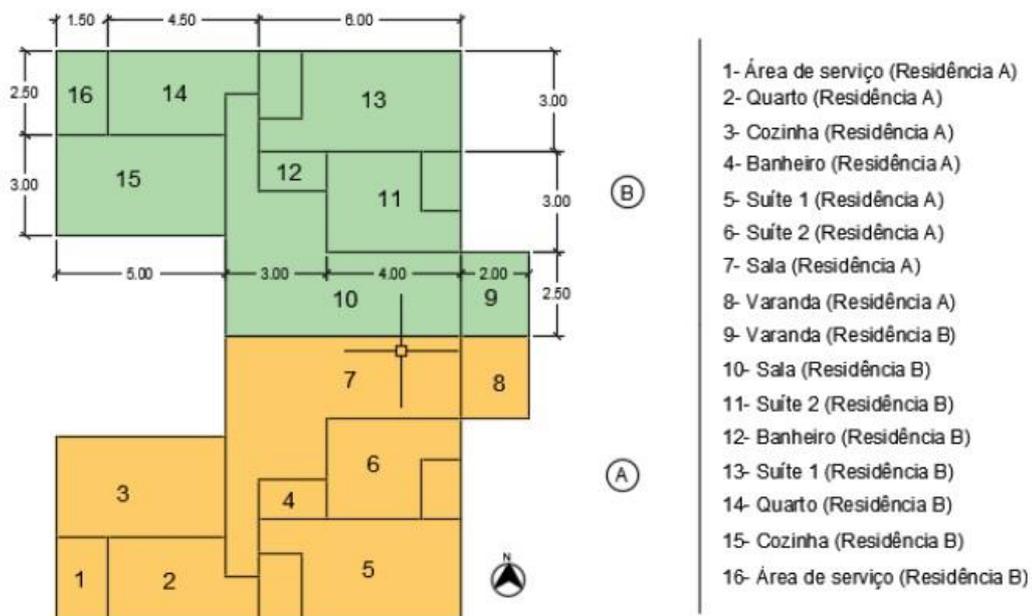


Figura 3 - Planta baixa do pavimento do edifício

Os materiais construtivos das paredes, portas e janelas, foram concreto², madeira³ e vidro⁴, respectivamente. As cargas internas, luzes e equipamentos elétricos foram inseridos no Energyplus de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de uso de funcionamento dos equipamentos e iluminação

---	Iluminação	Televisão	Geladeira	Lavadora de Roupa	Lava- Louça
Quantidade	-	3	1	1	1
Potência	5 W/m ²	90 W	200 W	450 W	1500 W
Funcionamento	Diário	Diário	Diário	Diário	Diário
Uso	25%	30%	50%	100%	100%
Ínicio de Funcionamento	17:00 h	10:00 h	00:00 h	09:00 h	20:00
Fim de Funcionamento	18:00 h	14:00 h	00:00 h	16:00 h	22:00
Uso	100%	100%	-	-	-
Ínicio de Funcionamento	18:00 h	18:00 h	-	-	--
Fim de Funcionamento	00:00 h	00:00 h	-	-	-

O calor utilizado para aquecimento da água para banho foi calculado estabelecendo uma temperatura desejável para água, de 45° C (segundo Bohn (2008), a temperatura para uso pessoal e banho deve ser entre 35 e 50°C). A temperatura do ar externo da edificação foi obtida por meio da simulação da edificação no Energyplus e foi adotada como a temperatura da água, considerando que a água está em equilíbrio térmico com o ar. Segundo Bohn (2008), o consumo diário de água quente em apartamentos é de 60 litros por pessoa, por dia. Considerando que cada apartamento da edificação tem 4 pessoas (sendo uma família com um casal e dois filhos), tem-se um consumo de 240 litros diários ou 0,24m³ de água por dia. Foi considerado um consumo de água quente durante duas horas por dia, no período do banho, de 7:00 às 8:00h e de 21:00 às 22:00h.

A demanda de eletricidade pode ser dada de forma horária, por meio das cargas inseridas no ambiente. Foi considerado que a refrigeração era utilizada durante 9 horas por dia, de 24:00 às 09:00 h, utilizando a temperatura máxima de referência como 22 °C.

Dessa forma, foi possível obter o resultado das demandas de eletricidade, calor (água quente) e refrigeração para cada dia do ano, hora a hora.

² Condutividade de 1,75 W/mK, densidade de 2300 kg/m³ e calor específico de 1 kJ/kgK

³ Condutividade de 0,29 W/mK, densidade de 900 kg/m³e calor específico de 1,34 kJ/kgK

⁴ Condutividade de 1 W/mK, densidade de 2500 kg/m³ e calor específico de 0,84 kJ/kgK

Resultados e discussão

A simulação no Energyplus forneceu as demandas de energia elétrica e de refrigeração para toda edificação, a partir das considerações feitas. As Figuras 4, 5 e 6 mostram o resultado das demandas energética de toda a edificação. O lado esquerdo representa o primeiro dia útil ou o primeiro dia de semana de cada mês. O primeiro final de semana de cada mês está sendo representado pelo lado direito das figuras. Pode-se observar que as demandas de energia elétrica entre os dias de semana e entre os finais de semana são sempre constantes. Isso ocorre porque os equipamentos considerados não variam seu uso ao longo do ano.

Só há variação na demanda de energia elétrica entre os dias de semana e os finais de semana, pois foi considerado que a lavadora de roupa é utilizada apenas aos sábados. Como o clima de Cabaceiras não necessita de calor para conforto ambiental, a demanda de calor foi feita para atender apenas o aquecimento da água para uso nos banhos que varia em cada dia, dependendo da temperatura do ar externo em equilíbrio térmico com a água. A demanda de refrigeração varia todos os dias, dependendo da temperatura do ar externo. Esse resultado pode ser visto na Tabela 2, que mostra a energia consumida em kWh durante o primeiro dia útil de cada mês e o primeiro final de semana de cada mês, em todos os meses do ano. Essa tabela ainda mostra o consumo de energia total, em MWh/ano. Pode-se observar a diferença da demanda entre energia elétrica, calor e refrigeração. A demanda de calor é muito baixa quando comparada a demanda de energia elétrica e refrigeração, isso devido ao clima de João Pessoa não necessitar de calor para aquecimento do ambiente e não há nenhuma outra aplicação dessa utilidade em um ambiente residencial.



Figura 4: Demandas energéticas de janeiro a abril com os dias de semana no lado esquerdo e os finais de semana no lado direito

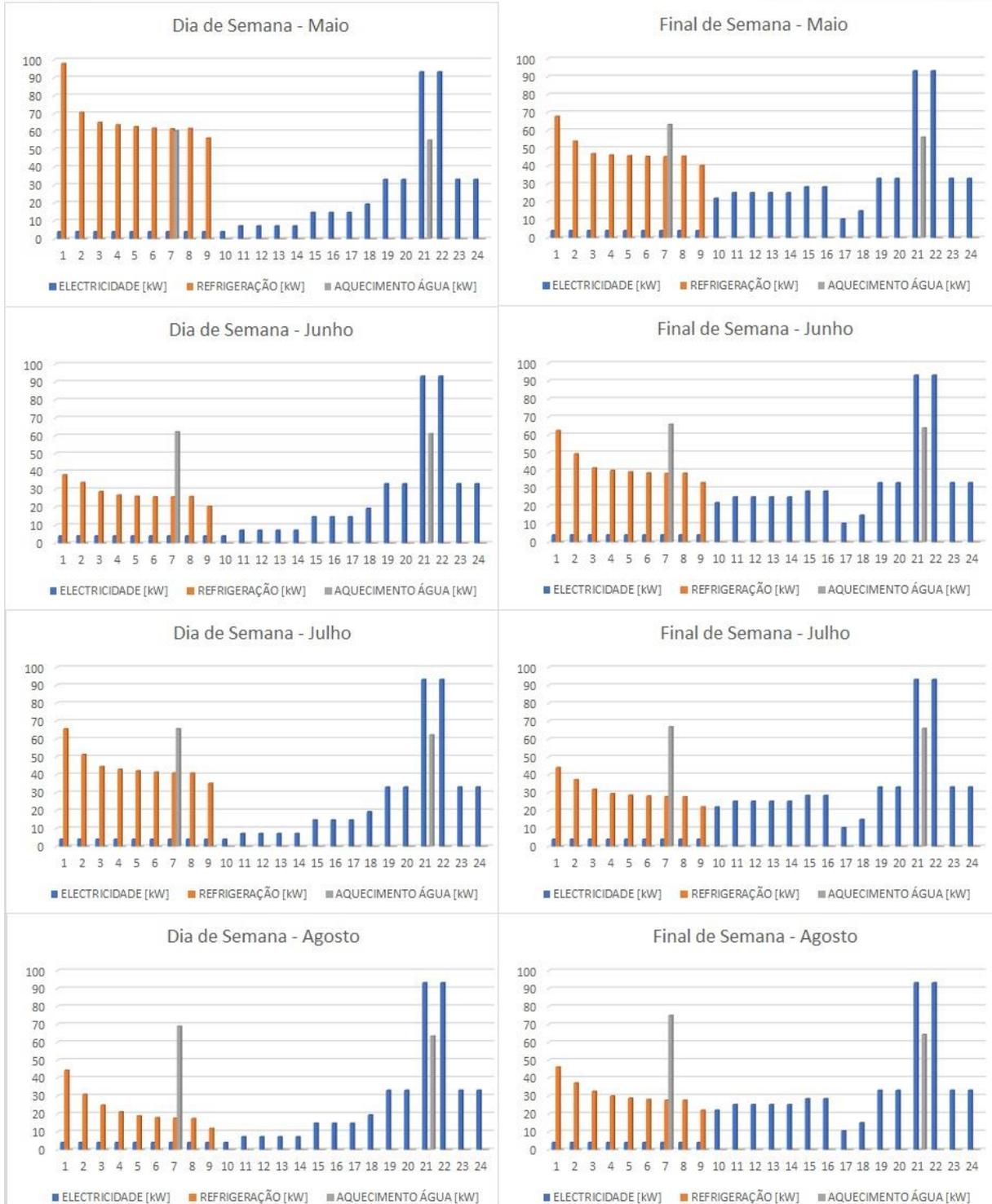


Figura 5: Demandas energéticas de maio a agosto com os dias de semana no lado esquerdo e os finais de semana no lado direito.



Figura 6: Demandas energéticas de setembro a dezembro com os dias de semana no lado esquerdo e os finais de semana no lado direito.

Tabela 2: Demandas energéticas para cada dia representativo e para o ano inteiro.

Mês Dia Representativo	n _d (dias/ano)	Eletricidade	Aquecimento de água	Refrigeração
		Total kWh/dia	Total kWh/dia	Total kWh/dia
Jan s	20	451,96	115,26	973,30
Jan fds	11	560,68	111,75	1047,57
Fev s	19	451,96	112,69	658,71
Fev fds	9	560,68	114,70	746,79
Mar s	20	451,96	119,78	752,58
Mar fds	11	560,68	118,14	603,45
Abr s	20	451,96	119,96	1005,15
Abr fds	10	560,68	120,61	916,27
Mai s	20	451,96	115,43	600,85
Mai fds	11	560,68	119,40	437,33
Jun s	19	451,96	123,22	252,08
Jun fds	11	560,68	129,44	380,66
Jul s	20	451,96	128,01	405,52
Jul fds	11	560,68	132,71	277,07
Ago s	20	451,96	132,33	204,89
Ago fds	11	560,68	139,31	279,89
Set s	21	451,96	137,99	415,39
Set fds	9	560,68	122,94	586,40
Out s	20	451,96	123,29	701,13
Out fds	11	560,68	119,12	731,64
Nov s	20	451,96	117,69	847,60
Nov fds	10	560,68	116,89	865,46
Dez s	20	451,96	116,68	931,04
Dez fds	11	560,68	111,78	1007,95
Σ		MWh/ano	MWh/ano	MWh/ano
Ano	365	178,67	44,64	236,71

Conclusões

Sistemas otimizados de fornecimento e conversão de energia tem provado sua eficiência e potencial em satisfazer as demandas energéticas de centros consumidores localizados em locais remotos, ao mesmo tempo que surge a importância para formação de uma consciência para o uso de energias renováveis.

As demandas energéticas aqui calculadas serão aplicadas para auxiliar estudos e pesquisas na área de otimização no fornecimento de energia e em diversas outras áreas, contribuindo para uma melhor eficiência energética da edificação em geral.

No caso específico aqui estudado, a demanda de água quente (calor) é muito inferior a demanda de energia elétrica e refrigeração, isso devido ao clima de Cabaceiras não necessitar de calor para conforto ambiental e não há nenhuma outra aplicação considerável dessa utilidade em um ambiente residencial. A demanda de eletricidade apresentada considera apenas os equipamentos básicos, compondo o consumo elétrico. Como o Energyplus realiza suas

simulações utilizando teorias de transferência de calor, a demanda de refrigeração pode variar se considerarmos diferentes materiais construtivos, diferentes posições geográficas e diferentes projetos arquitetônicos.

Fomento

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nº 303199/2015-6).

Referências

BOHN, A. R. Instalações Prediais de Água Quente. Florianópolis: UFCS, 2008.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Diagnóstico do município de Cabaceiras**. Brasília: MME, 2005.

CASTRO, J. B.; MONTINI, A. A. Previsão Do Consumo Residencial De Energia Elétrica No Brasil: Aplicação Do Modelo Arx. Future Studies Research Journal: Trends and Strategies. São Paulo. dez. 2010.

DOE; BTO. Energyplus. Versão 8.7.0. Disponível em: <<https://energyplus.net/>>. Acesso em: 26 de maio de 2017.

MEDEIROS, R. M. Estudo Agrometeorológico para o Estado da Paraíba. [s.l.]: [s.n.], 2015.

MEDEIROS, R. M.; MEDEIROS, B. C. Aspectos do clima para o município de cabaceiras. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA UIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 1., Campina Grande, 2016. **Anais...** Campina Grande: CONIDIS, 2016.

MELO, F. M.; SILVA, A. L. T.; CARVALHO, M. Establishment of energy demands for a residential building in João Pessoa, Northeast Brazil. In: ABCM INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 24., Curitiba, 2017. **Anais...** Curitiba: ABCM, 2017.

ROSA, D. J. M.; ZILLES, R.; FEDRIZZI, M. C.. Sistemas Fotovoltaicos de Dessalinização de Água Salobra para Uso Domiciliar na Região Rural do Semiárido Brasileiro. In: REUNIÓN DE TRABAJO - ASADES, 36., Tucuman, 2013. **Anais...** Tucuman: ASADES, 2013.

RORIZ, M. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiro, São Paulo: ANTAC, 2012. Disponível em: http://www.roriz.eng.br/epw_9.html. Acessado em 6 de fevereiro de 2017