

USO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA GESTÃO PÚBLICA COMO FERRAMENTA AUXILIAR PARA CONTRATAÇÃO DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA¹

OLIVEIRA, Wagner Costa (1); CUNHA, Eduardo Grala da (2)

(1) UFPel, e-mail: wenver@gmail.com; (2) UFPel, e-mail: egcunha@terra.com.br

RESUMO

Este trabalho faz parte de uma pesquisa de mestrado sobre eficiência energética de edificações públicas de uma Instituição Federal de Ensino Superior. Neste estudo, avalia-se a possibilidade da utilização da simulação computacional como subsídio para a contratação de tarifas de energia elétrica, além de avaliar diferentes condições de uso das edificações, visando a maior economia. Utilizando o software EnergyPlus 8.3, modelou-se um prédio administrativo da IFES estudada. Foram testados dois cenários de ocupação, considerando expedientes de 40 e 30 horas semanais, respectivamente. Na configuração das tarifas, utilizou-se o modelo tarifário da Resolução Normativa nº 414 da ANEEL, bem como os valores praticados pela concessionária de energia do Estado. As simulações apontaram que o cenário do expediente de 30 horas semanais acarretou um menor consumo de energia e demanda de potência. Também se verificou que a contratação da Tarifa Verde se mostrou mais vantajosa economicamente para ambos os cenários. Demonstrou-se ainda que a economia de energia alcançada no segundo cenário não se refletiu em economia financeira na mesma proporção. O trabalho contribui para validar a simulação como ferramenta de gestão, verificando o impacto de diferentes agendas de ocupação e na definição da demanda a ser contratada junto à concessionária, evitando taxas excessivas.

Palavras-chave: Simulação computacional. Tarifas de energia. Edifícios públicos.

ABSTRACT

This paper is part of a master's research about energy efficiency in public buildings of a Federal University. In this study, the goal is to evaluate the possibility of using computational simulation as a tool to manage the process of hiring electric energy tariffs, and as a way to evaluate diverse occupation conditions in buildings, aiming to achieve maximum economy. Using the software EnergyPlus 8.3, after modeling a real university office building, two occupation scenarios - considering 40 and 30 office-hour weeks, were tested. In the tariff settings, the charges from the national regulatory authority (ANEEL), as well as the charges applied by the local electric utility company were considered. Simulations indicated that the 30 office-hour week showed lower energy consumptions and power demand. It was also verified that in both cases the Green Tariff model was cheaper than the other tariff models available. Finally, it was demonstrated that the energy economy achieved in the 30 office-hour week was not reflected in the tariff values on the same proportion. This work contributes to validate the use of computational simulation as a management tool, verifying the impact

¹ OLIVEIRA, Wagner Costa; CUNHA, Eduardo Grala da. Uso da simulação computacional na gestão pública como ferramenta auxiliar para contratação de tarifas de energia elétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

of different occupation schedules and on the definition of the power demand hired from the electric utility company, thus avoiding excessive taxes.

Keywords: Computer simulation. Energy tariff. Public buildings.

1 INTRODUÇÃO

A Instrução Normativa nº 2 de 2014, promulgada pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, determina que os projetos de edificações públicas federais, bem como os retrofits, devem ser desenvolvidos buscando a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de Projeto nível “A”. Fica evidente a crescente preocupação do Governo Federal com a redução do consumo de energia elétrica no setor público, o qual corresponde a 8,0% do consumo total do País, segundo o Balanço Energético Nacional de 2015.

A simulação computacional é uma ferramenta capaz de auxiliar no processo de projeto de uma edificação eficiente. Através da análise de uma alternativa de projeto, é possível verificar o desempenho térmico do edifício projetado, assim como seu consumo energético total. Com estes dados em mãos, o projetista pode promover alterações na proposta arquitetônica e realizar uma nova simulação, de forma a obter um resultado cada vez mais eficiente (LAMBERTS et al, 2014).

Também é possível utilizar os programas de simulação de eficiência energética para averiguar o impacto de diferentes formas de ocupação no conforto térmico, no consumo de energia do prédio e nos custos da energia utilizada. Variações na densidade de ocupantes e nos horários de ocupação acarretam mudanças nos padrões de uso da energia elétrica, o que por sua vez traz diferenças nos valores das respectivas tarifas, devido ao modo de cobrança.

A tarifação de energia elétrica obedece à Resolução Normativa (RN) nº 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Segundo esta normativa, são vários os custos integrantes da fatura de energia elétrica: geração, transmissão, distribuição, encargos setoriais, tributos e outros (taxas de serviços específicos, por exemplo).

Para edificações não residenciais e com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3kV ou atendidas por sistema subterrâneo de distribuição, há a opção entre três modalidades tarifárias diferentes. A principal diferença relaciona-se com a existência de um período do dia chamado de horário de ponta, no qual o consumo de energia na rede elétrica é maior e, portanto, os custos são mais elevados. Este horário, definido pela concessionária de energia, é das 18:00 às 21:00 (19:00 às 22:00, durante o horário de verão). As diferentes modalidades disponíveis para escolha do consumidor são as seguintes:

- **Tarifa Binômia:** tem um único valor para a energia consumida e outro para a demanda contratada, independente do horário de utilização;
- **Tarifa Verde:** apresenta dois valores para a energia, dependendo do

- horário de consumo, e um único valor de demanda contratada;
- **Tarifa Azul:** possui custos diferenciados para a energia e para a demanda, de acordo com o horário de utilização.

Além do horário, outra questão importante a ser analisada é a demanda contratada. De acordo com a RN 414, a demanda contratada deve ser integralmente paga, independentemente de sua utilização ou não. Além disso, caso a demanda utilizada seja superior à contratada, é cobrada uma sobretaxa sobre o valor excedente. Assim, é imprescindível conhecer as características de utilização de energia do edifício, para que se possa escolher a tarifa mais econômica, em termos financeiros.

2 OBJETIVOS

Através do uso de simulações computacionais realizadas com o software Energy Plus 8.3, o objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade de utilização da simulação computacional para a adequada contratação de tarifas de energia elétrica, visando a maior economia financeira possível.

3 METODOLOGIA

A pesquisa tem uma ênfase quantitativa, e utiliza a simulação computacional como estratégia. O método é caracterizado em 5 etapas: definição da edificação base para o estudo, modelagem da edificação, configuração das condições de uso e ocupação, configuração dos parâmetros das tarifas energéticas e análise de resultados.

As etapas de modelagem do edifício foram realizadas no software SketchUp com o plugin Legacy Open Studio versão 1.0.13. Após a modelagem foram inseridas as configurações para as simulações.

A seguir, foram configurados os parâmetros das tarifas energéticas de acordo com a Resolução normativa nº 414/2010 da ANEEL, utilizando os campos do grupo *Economics* no EnergyPlus.

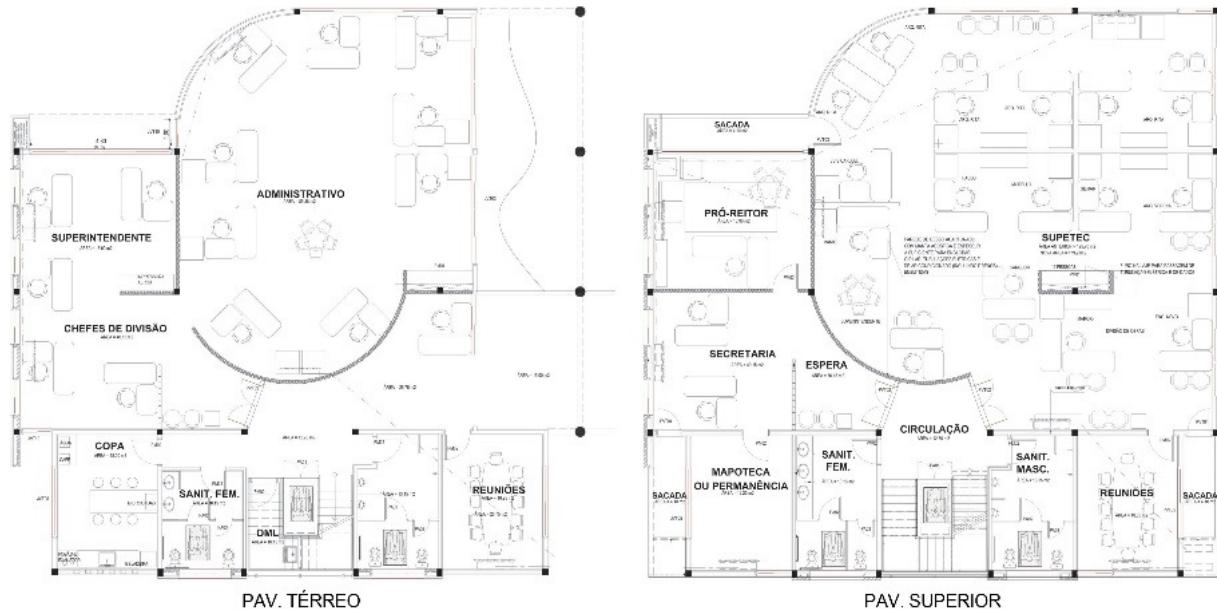
Foram feitas as simulações considerando duas hipóteses de ocupação do edifício. Na primeira, considerou-se o padrão atual, com um expediente de oito horas, dividido em dois turnos de quatro horas com ocupação total, com um intervalo de uma hora e meia entre eles. O segundo caso estudado considerou um expediente contínuo de 12 horas, porém com ocupação parcial do edifício, simulando assim uma situação de flexibilização da jornada de trabalho dos funcionários da instituição.

3.1 Caracterização física do edifício

Para a realização do estudo, foi escolhido o prédio administrativo da Pró-Reitoria de Infraestrutura (PROINFRA) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). A edificação de dois pavimentos possui área de 286,41m² no térreo e 357,58m² no pavimento superior, e está localizada em uma cidade pertencente à Zona Bioclimática 3. As plantas do prédio estão representadas

na Figura 1.

Figura 1 – Plantas baixas dos pavimentos da edificação



Fonte: Autores

O Quadro 1 apresenta as características físicas dos materiais empregados na edificação, e os valores que foram utilizados na simulação.

Quadro 1 – Caracterização dos materiais empregados

Material	Espessura (cm)	ρ (kg/m ³)	λ (w/(m.K))	c (J/(kg.K))
Tijolo maciço	11	2000	1,05	920
Tijolo furado	11	2000	1,05	920
Reboco interno e externo	2	2000	1,15	1000
Gesso acartonado	1,25	900	0,35	840
Lã de rocha	7	90	0,045	750
Azulejo	0,5	2000	1,05	920
Basalto	2	2700	1,6	840
Piso vinílico	0,32	2180	0,2	960
Piso cerâmico	1	2000	1,05	920
Forro fibramineral	1,4	280	0,063	590
Laje e contrapiso	10	2400	1	1000
Telha metálica	0,1	2700	55	880
EPS (Isopor)	3	25	0,035	1420
Madeira (portas)	2,54	608	0,15	1630

Fonte: Adaptado de ABNT (2005)

Como o software escolhido para as simulações define o envelope da edificação através de camadas homogêneas, foi necessário calcular paredes equivalentes para os diferentes sistemas de alvenaria presentes no edifício.

A seguir, serão descritos os principais componentes do envelope da edificação:

- **Paredes externas:** foram utilizadas duas configurações: paredes simples, composta de tijolos furados e reboco pintado em ambas as faces, ou paredes duplas, com tijolos maciços aparentes na face externa e tijolos furados com reboco interno, tendo um colchão de ar de 6cm entre as camadas;
- **Paredes internas:** apresentam-se em gesso acartonado com chapas de 12,5mm recheadas com lã de rocha ou paredes de tijolos furados, com reboco em ambas as faces ou com aplicação de azulejo em uma delas, no caso dos banheiros;
- **Pisos:** foi utilizado piso vinílico com 3,2mm de espessura nos ambientes de trabalho, basalto regular nas circulações e sacadas e piso cerâmico nos sanitários e na copa. Os pisos foram assentados sobre uma camada de 10cm de concreto, tanto no térreo (contrapiso) como no pavimento superior (laje);
- **Forros:** em ambos os pavimentos, é de fibra mineral com camada de ar de 60cm de espessura entre o revestimento e a laje;
- **Cobertura:** o edifício é coberto com telha trapezoidal em galvalume, com isolante térmico em EPS;
- **Esquadrias:** as janelas, assim como a porta externa, possuem perfis de alumínio com vidro temperado verde, com 8mm de espessura. As portas internas são em compensado, com bandeiras de vidro comum transparente com 4mm.

A Figura 2 apresenta duas imagens do modelo criado durante a etapa descrita.

Figura 2 – Imagens do modelo de simulação



Fonte: Autores

3.2 Caracterização da ocupação do edifício

Foram estabelecidas duas agendas alternativas para a ocupação do prédio, a fim de analisar o impacto de diferentes padrões de utilização do prédio no consumo e nos custos de energia da edificação.

Na primeira hipótese, correspondente ao padrão atual (no qual os

funcionários da Universidade cumprem um expediente de 40 horas de trabalho semanais), o uso da edificação se dá nos dias de semana (de segunda à sexta-feira) das 7h às 19h e nos sábados das 7h às 13h, não havendo ocupação nos domingos e feriados.

O percentual de ocupação foi definido de acordo com a utilização do prédio: nos dias de semana, para o intervalo que compreende entre as 7h e 8h foi considerada uma ocupação de 20%. O período compreendido entre as 8h e às 12h, bem como o intervalo entre as 13:30h e as 17:30h, teve uma ocupação considerada de 100%. No período compreendido entre as 12h e 13:30h, teve uma ocupação considerada de 25%, correspondente aos funcionários que almoçam no prédio. Também foi configurada a ocupação considerando 50% no intervalo entre às 17:30h e 19:00h. Nos sábados, para o período ocupado, foi configurada uma ocupação de 10%.

Na segunda hipótese de ocupação da edificação, a ocupação do edifício nos dias de semana ocorre das 7h às 21h. No período entre 8h e 20h, foi considerada uma ocupação contínua de 50% da força de trabalho, correspondente à equipe de trabalho dividindo-se em dois expedientes contínuos de 6h cada. Dessa forma, os trabalhadores cumprem uma jornada de 30 horas semanais.

Por se tratar de uma edificação com uso administrativo, que funciona normalmente durante o ano inteiro, não foi considerada a redução de população durante os períodos de férias da universidade.

As demais características referentes à ocupação, uso, equipamentos e operação do edifício foram definidas nesta etapa, de acordo com os critérios apresentados a seguir.

- **Atividade:** A taxa de calor liberado pela atividade dos ocupantes do prédio foi configurada a partir da tabela C.1 da NBR 16401/2008, sendo adotado o valor de 130W por pessoa, correspondente a atividade moderada em trabalhos de escritório. A população no edifício foi definida através dos parâmetros estabelecidos na NBR 9077/2001. O prédio foi considerado como categoria D-1 quanto a sua ocupação, sendo recomendado, para efeitos de cálculo, que seja considerada uma pessoa para cada 7,00m² de área;
- **Ventilação natural:** foi ajustada para cada uma das aberturas da edificação. Foi considerada sua utilização para resfriamento do edifício, quando a temperatura interna está pelo menos 2°C acima da temperatura externa. A ventilação natural é utilizada somente na parte da manhã, até as 10 horas, quando é acionado o ar condicionado da edificação e as janelas são fechadas. Como o acionamento do condicionador de ar é feito pelos próprios usuários, em cada ambiente de trabalho, e os postos de trabalho estão distribuídos de forma que cada janela tenha pelo menos uma pessoa por perto, é possível garantir que estas não ficarão abertas no momento em que o sistema for acionado para resfriar o ambiente;
- **Condicionamento artificial:** o sistema de ar condicionado do prédio foi

configurado para ser dimensionado automaticamente para cada um dos compartimentos do edifício onde são desenvolvidas atividades de trabalho, excluindo-se assim as circulações, a copa, a escada e os banheiros. Foram considerados aparelhos do tipo split reverso com COP nível A, acordando com INMETRO. Os setpoints de refrigeração e aquecimento foram estabelecidos em 25°C e 21°C, respectivamente. Nos meses mais quentes, os equipamentos são acionados às 10 horas da manhã; no período frio, eles são acionados às 8 horas. Em ambos os casos, o sistema é desligado meia hora antes do final do expediente de trabalho;

- **Iluminação artificial:** a taxa de dissipação do calor pela iluminação foi definida através da Tabela C.2 da NBR 16401/2008, considerando-se 16 W/m² para escritórios utilizando iluminação fluorescente. As lâmpadas utilizadas no projeto são do tipo fluorescente tubular, embutidas no forro. Nos ambientes onde não são realizadas atividades de trabalho, foi utilizada uma taxa de dissipação de 8 W/m². A iluminação artificial do edifício não é do tipo dimerizada;
- **Equipamentos de trabalho:** para definição da taxa de dissipação de calor dos equipamentos de trabalho, utilizou-se a Tabela C.6 da NBR 16401/2008, que estabelece um valor de 21,5 W/m² para um posto de trabalho a cada 7,7m², valor próximo do utilizado para a definição da população.

3.3 Simulação

Para os procedimentos de simulação, foi utilizado o arquivo climático da cidade de Porto Alegre, representando a Zona Bioclimática 3, conforme a NBR 15220/2005 (ABNT).

Para cada uma das hipóteses testadas, foram obtidos os dados de consumo energético mensais para cada um dos sistemas do edifício (iluminação, equipamentos, aquecimento e resfriamento do sistema de condicionamento de ar), bem como a demanda de potência máxima verificada em cada um dos meses. Também foram obtidos os dados referentes aos valores de contratação de energia elétrica de cada uma das tarifas configuradas (Binômia, Verde e Azul). Os valores das tarifas foram configurados conforme demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores das tarifas de energia

Tarifa	Demanda (R\$/kW)		Consumo (R\$/kWh)		Impostos (PIS, COFINS, ICMS)
	Ponta	Fora de ponta	Ponta	Fora de ponta	
Binômia	-	36,93	-	0,41367	38,217%
Verde	-	15,50	1,15	0,40172	
Azul	29,76	15,50	0,35	0,40172	

Fonte: Autores

Após a análise dos valores globais das tarifas para cada uma das hipóteses,

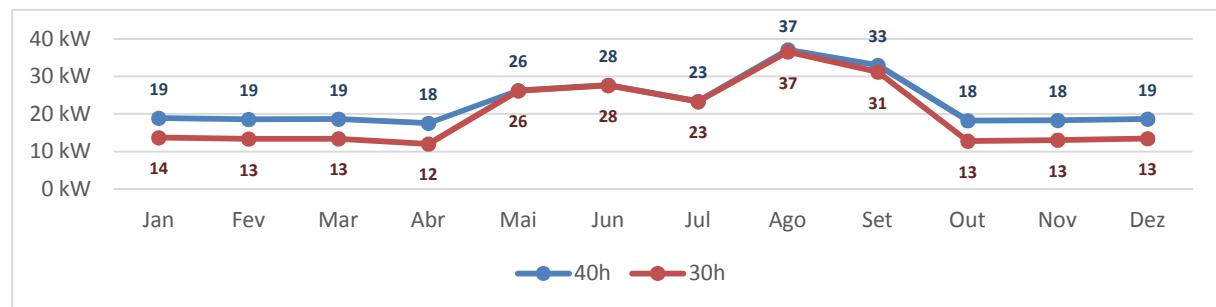
fez-se uma análise detalhada daquela que se mostrou mais vantajosa para cada um dos casos, verificando os valores mensais cobrados pela demanda e energia nos horários de ponta e fora de ponta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Consumo de energia

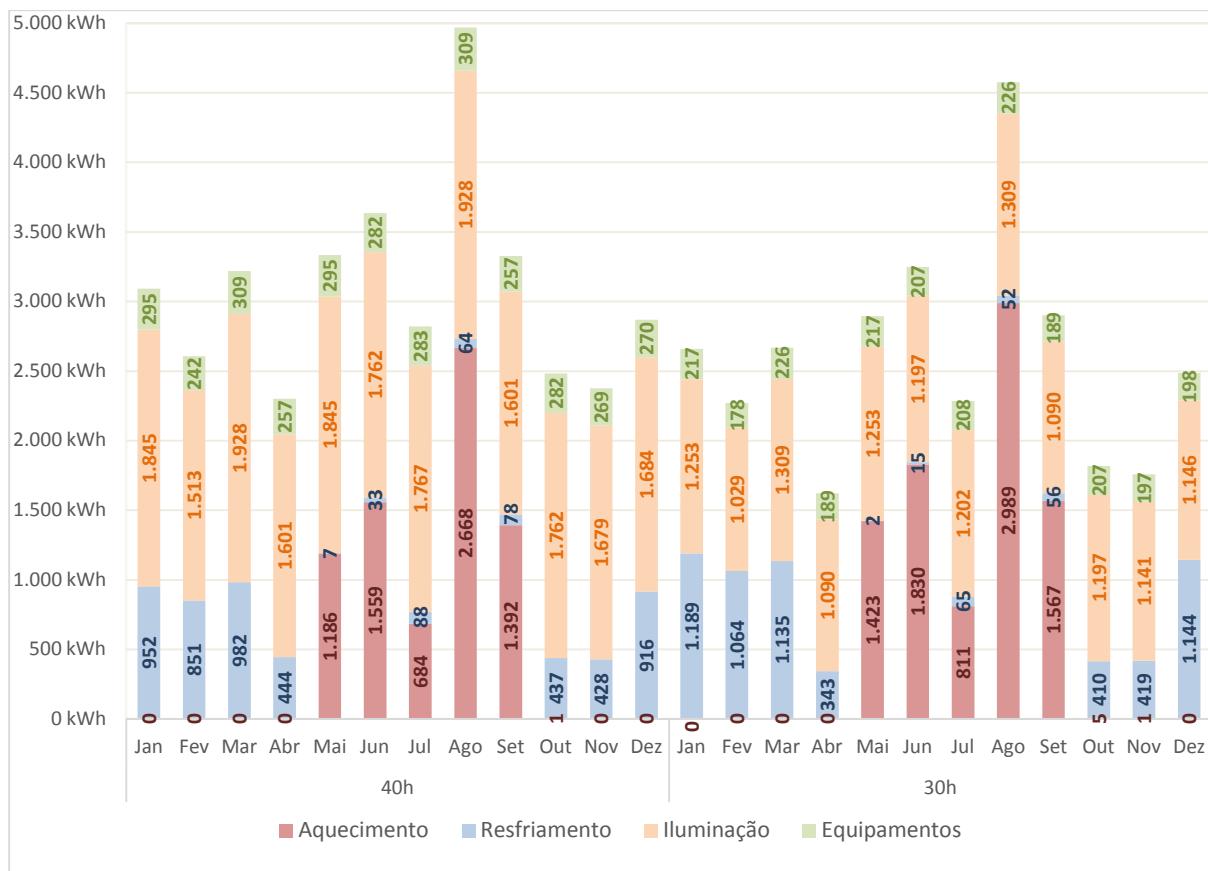
Os Gráficos 1 e 2 a seguir apresentam os dados a respeito do consumo de energia da edificação, nas duas situações de ocupação avaliadas. São demonstrados os valores mensais da demanda máxima, bem como o total de energia consumida por mês, de acordo com seu uso final, para cada uma das hipóteses.

Gráfico 1 – Comparaçāo das demandas māximas mensais nos dois casos



Fonte: Autores

Gráfico 2 – Comparação do consumo de energia mensal, por uso final, nos dois casos



Fonte: Autores

Comparando os dados referentes a cada uma das situações de ocupação, verifica-se que o segundo caso, considerando a jornada de 30 horas semanais, apresenta valores menores nas demandas máximas mensais, bem como um consumo energético menor. Em relação a demanda, observa-se que nos meses mais quentes, quando o sistema de ar condicionado é utilizado somente para resfriamento, as demandas são entre 5 e 6kW menores que a da outra alternativa; nos meses mais frios, as demandas acabam sendo iguais na maioria das vezes. Também se percebe que a demanda, nas duas hipóteses de ocupação verificadas, é maior nos meses em que o aquecimento do ar condicionado é mais utilizado.

Ainda em relação à demanda, percebe-se uma grande amplitude de valores dentro de cada uma das hipóteses de ocupação. Nota-se uma relação direta com o aumento da utilização do ar condicionado para aquecimento (que começa no mês de maio, estendendo-se até outubro) e o aumento da solicitação de demanda. O valor máximo chega a ser mais de 200% maior que o valor mínimo, e até 85% maior que a média dos valores mensais, considerando-se o expediente de 30 horas semanais.

Em relação ao consumo de energia elétrica, a situação do expediente de 30

horas semanais apresenta consumos mensais menores em relação ao primeiro caso, apesar de demonstrar, em quase todos os meses, um consumo mais elevado nos sistemas de condicionamento de ar. Isto se deve, principalmente, à extensão do horário de funcionamento do edifício, fazendo com que o sistema fique ligado por mais tempo para atender às necessidades dos usuários. A redução de consumo mensal varia entre 7,91% (em agosto) e 29,54% (em abril, quando ocorre o menor consumo total do sistema de condicionamento de ar, no segundo caso). O consumo total de energia do prédio é 15,77% menor na simulação considerando a jornada de 30 horas semanais.

4.2 Tarifas de energia

Após análise dos dados obtidos sobre as demandas máximas totais com as simulações anteriores, foi definida a contratação de uma demanda de 30kW para ambos os casos, nas três tarifas. No caso da tarifa azul, foi estipulada a contratação de 10kW para a demanda no horário de ponta.

Os valores totais das tarifas de energia elétrica para ambos os casos estão relacionados no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores totais das tarifas de energia elétrica nos dois casos

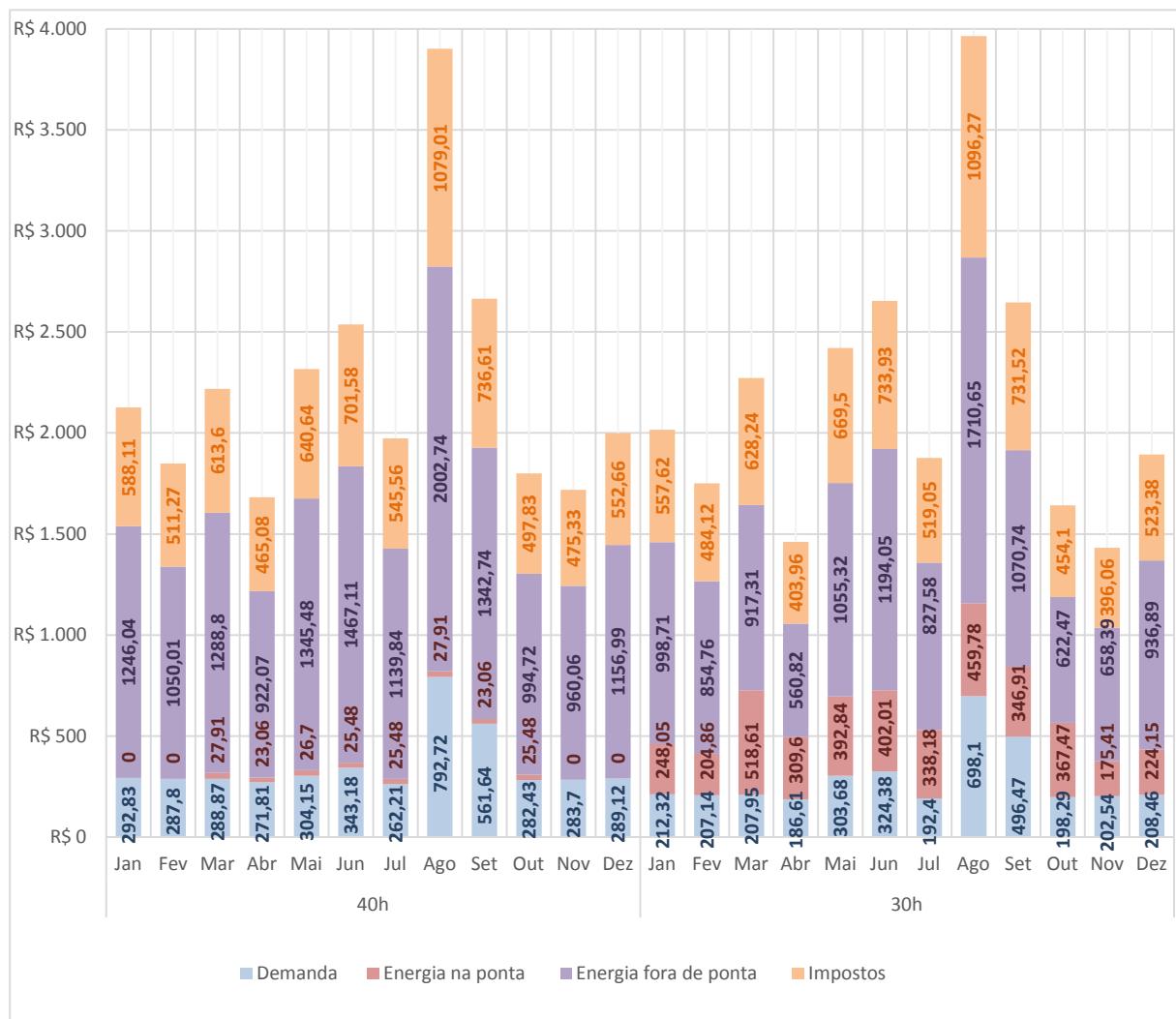
Caso 1 – Jornada de 40 horas semanais		Caso 2 – Jornada de 30 horas semanais	
Tarifa	Valor (R\$)	Tarifa	Valor (R\$)
Binômia	35.353,39	Binômia	29.359,64
Verde	26.789,40	Verde	26.031,66
Azul	26.943,23	Azul	28.925,62

Fonte: Autores

Em ambos os casos, a tarifa horária verde mostrou-se mais vantajosa economicamente. No primeiro caso, esta tarifa apresenta um valor 24,24% menor que o preço da contratação mais cara, utilizando a tarifa binômia convencional. No caso do expediente de 12 horas, a diferença é de 11,33% entre a tarifa mais cara e a mais barata.

Percebe-se, também, que a energia elétrica é mais barata no segundo caso, nas tarifas binômia e verde, enquanto que na tarifa azul, o valor é menor para a simulação da jornada de 40 horas semanais. A maior diferença de valores é observada na tarifa binômia, na qual a energia é 16,95% mais barata que no primeiro caso. Para a tarifa verde, o percentual cai para 2,83%. Tal redução nos valores não corresponde diretamente à redução de consumo verificada anteriormente. Para compreender melhor esta relação, o Gráfico 3 a seguir apresenta os valores mensais discriminados da tarifa verde para os dois casos estudados, comparando mês a mês as tarifas nas duas hipóteses de ocupação estudadas.

Gráfico 3 – Valores mensais da tarifa verde nas duas hipóteses de ocupação



Fonte: Autores

Observando o gráfico, verifica-se que os valores para a demanda contratada são menores em todos os meses na hipótese de 30 horas semanais, conforme demonstrado anteriormente no Gráfico 1. No entanto, o mesmo não é válido para as tarifas de energia. Com a extensão do horário de expediente, a utilização de energia elétrica no horário de ponta acaba sendo maior, ocasionando tarifas de energia maiores em sete dos doze meses do ano. Dessa forma, a redução do consumo de energia em 15,77% com a jornada de 30 horas semanais acaba não se traduzindo em um benefício econômico na mesma proporção.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho procurava verificar a possibilidade de utilização da simulação computacional como uma ferramenta de apoio à contratação de tarifas de energia elétrica. Através dos procedimentos realizados utilizando o modelo de uma edificação administrativa de uma IFES, foi possível verificar o consumo de energia elétrica e a demanda máxima de potência mensal

considerando dois cenários de utilização diferentes para o prédio. Com este conhecimento, foi possível estabelecer um valor de contratação para a demanda que não gerasse tarifas excessivas, possibilitando assim uma economia financeira na contratação.

A comparação entre os consumos de energia e as demandas nas duas situações de ocupação evidenciaram que o expediente de trinta horas semanais possibilita uma considerável economia de consumo, de 15,77%, em relação ao expediente de quarenta horas semanais. Também foi possível verificar que, em ambos os casos, a Tarifa Verde se mostrou como a mais econômica financeiramente, embora a diferença entre as tarifas para os dois tipos de expediente seja menor do que a diferença de consumo. Isto se dá pelo fato do aumento do consumo no horário de ponta, quando a energia é 186% mais cara que nos outros horários.

Sendo assim, considera-se que a simulação atendeu à expectativa de auxiliar na gestão da instituição, provendo importantes subsídios para a tomada de decisões por parte do gestor, garantindo assim a maior economia possível na operação da edificação.

Cabe, enfim, ressaltar que este estudo é válido para o caso específico aqui estudado, levando em conta as características de ocupação, iluminação artificial, equipamentos de trabalho e condicionamento artificial do ar do prédio. Diferentes rotinas de trabalho, utilização de equipamentos específicos com maior demanda energética e a presença de sistemas diferenciados de ar condicionado são fatores que podem influenciar os padrões de consumo de energia e demanda e, consequentemente, os valores das tarifas do edifício.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-9077**: Saída de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR-15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR-16401**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 414**. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, 2010.

BRASIL, MINISTÉRIO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa 02, de 04 de junho de 2014**.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. Rio de Janeiro, 2015.

LAMBERTS, Paulo; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ed. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.