

ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS PARA A GESTÃO ENERGÉTICA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR *MULTICAMPI*

DATA ENVELOPMENT ANALYSIS FOR ENERGY MANAGEMENT IN MULTIFIELD HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva 

Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Teresina (PI), Brasil.

José Machado Moita Neto 

Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Professor do curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFPI – Teresina (PI), Brasil.

Marcos Antônio Tavares Lira 

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela UFPI. Professor adjunto do curso de Engenharia Elétrica da UFPI – Teresina (PI), Brasil.

Endereço para correspondência:

Oswaldo Augusto Vasconcelos de Oliveira Lopes da Silva – Rua Antilhon Ribeiro Soares, 5.000, Torre A, apto. 161 – Santa Isabel – CEP 64053-070 – Teresina (PI), Brasil – E-mail: eng.osvaldo@live.com

Recebido em: 19/10/2018

Aceito em: 07/01/2019

RESUMO

O objetivo geral desta pesquisa foi apresentar uma metodologia para o diagnóstico energético e *benchmarking* do uso de energia elétrica em instituições de ensino superior *multicampi*. Assim, utilizou-se o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí como objeto de estudo, com dados coletados nas faturas de energia, correlacionando-os com indicadores que medem a sua atividade. Em toda a instituição, puderam-se constatar perdas maiores que todo o valor gasto individualmente com energia elétrica em oito dos 17 *campi*, e puderam-se sugerir estratégias para o aumento da eficiência energética. Por fim, concluiu-se que as faturas podem ser utilizadas no diagnóstico energético e direcionar projetos de eficiência energética; que o modelo Pressão-Estado-Resposta pode ser utilizado para caracterizar os *campi* das instituições, possibilitando o agrupamento, a elaboração de índices, níveis e *ranking* de eficiência energética relativa, além de metas para o aumento da eficiência energética que devem ser estimuladas simultaneamente.

Palavras-chave: gestão ambiental; modelo Pressão-Estado-Resposta; *benchmarking*; índice de eficiência energética.

ABSTRACT

The general aim of this research was to present a methodology for the energy diagnosis and benchmarking of the use of electric energy in multicampi institutions of higher education. Thus, the Federal Institute of Education, Science and Technology of Piauí was used as a study object; data were collected in the energy bills, correlating them with indicators that measure their activity. Throughout the institution, it was possible to verify greater losses than all the amount spent individually with electric energy in eight of the 17 institution campuses; it was also possible to suggest strategies to increase energy efficiency. Finally, it was concluded that the energy bills can be used in the energy diagnosis and to direct investments in energy efficiency projects; the pressure-state-response model can be used to characterize the institutions' campuses, enabling the grouping, elaboration of indexes, levels and ranking of relative energy efficiency, as well as targets for increasing energy efficiency that must be simultaneously stimulated.

Keywords: environmental management; Pressure-State-Response Model; benchmarking; energy efficiency index.

INTRODUÇÃO

Apontado como referência para um modelo de desenvolvimento ideal, foi publicado pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 1987, o Relatório Brundtland (documento intitulado *Our Common Future*), em que o desenvolvimento sustentável era concebido como aquele capaz de garantir as necessidades presentes sem o comprometimento da capacidade de as gerações futuras suprirem suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987). Desde então, esse conceito evoluiu e, atualmente, pode ser entendido como um modo de ser e viver que concilie as atitudes humanas com as limitações da natureza e com as necessidades das gerações atuais e futuras. Sendo, portanto, um conjunto de processos e ações que devem ser pensados em uma perspectiva global, mas executados também a níveis nacionais, regionais e locais, permitindo que todo o planeta possa crescer igualmente sem que uma parte evolua à custa do prejuízo de outras (BOFF, 2017).

Já na década de 1990, essa ideia de desenvolvimento foi amplamente discutida e entendida como o modelo a ser seguido por todas as nações do mundo, principalmente na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), que culminou na publicação da Agenda 21, programa de planejamento e ação cooperativa global em que se conciliava a proteção ambiental, a justiça social e a eficiência econômica (FERREIRA, 2016). Na Agenda 2030, por sua vez, publicada pela ONU em setembro de 2015, os países-membros comprometeram-se com 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e 169 metas a serem buscadas nos 15 anos subsequentes (ONU, 2015b). Com relação à utilização de energia, com o sétimo objetivo (energia acessível e limpa), por exemplo, almeja-se com esse acordo o atendimento das seguintes metas: universalização do acesso, aumento da participação das energias renováveis, dobrar a taxa global de eficiência energética, além de reforçar a cooperação internacional em pesquisas e transferência de tecnologia (ONU, 2015a).

Desse modo, de acordo com os princípios estabelecidos pela Agenda 21 e, mais recentemente, pela Agenda 2030, todas as organizações devem possuir um sistema de gestão ambiental (SGA) de forma a garantir um desempenho ambiental aceitável. Devem pensar globalmente e agir localmente, porque, conforme destacam Flores e Medeiros (2013), “por mais que a escala

dos impactos seja global, é ao nível local que muitos impactos são apresentados e onde as ações podem ser eficazes”. O uso de energia é só um dos aspectos ambientais gerenciáveis em uma organização, mas sua demanda vem aumentando em razão do crescimento populacional e, principalmente do desenvolvimento econômico, causando impactos ambientais que podem ser minimizados com a utilização eficiente da energia que já produzimos. A eficiência energética é o tema deste trabalho e, de acordo com Pérez-Lombard *et al.* (2013), tem como principal benefício a realização das mesmas atividades ou o fornecimento dos mesmos produtos ou serviços com menor consumo de energia.

Existem vários indicadores específicos, comprovados por estudos científicos e metodologicamente avançados, para medir os aspectos relevantes ao desempenho ambiental esperado, sobretudo os objetivos definidos na Agenda 2030. Destacando-se ainda a necessidade de considerar os conhecimentos científicos ainda na formulação das políticas ambientais de cada uma das organizações (HÁK *et al.*, 2016). Entretanto, deve-se ajustá-los às necessidades das organizações, limitando o máximo possível o número de indicadores para minimizar o trabalho desnecessário (SUDIN *et al.*, 2015).

Puderam-se identificar 706 indicadores ambientais em um conjunto de 14 pacotes desenvolvidos por organizações internacionais, governamentais e não governamentais, escolhidos em função do seu sucesso de implementação. Tais indicadores foram divididos em função do tipo e da área de aplicação, com distribuição aproximada de 50, 30 e 20% dos indicadores, podendo ser caracterizados como indicadores de estado, pressão e resposta, respectivamente. Nessa caracterização, a maioria deles é relacionada ao ambiente biótico, à qualidade e ao uso dos recursos naturais e contaminação física e química (BRAMBILA; FLOMBAUM, 2017). Existem, portanto, uma série de indicadores padronizados por diferentes organizações e relatórios, diferenciando-se por tipo e área de aplicação.

Entre eles, destaca-se o modelo *pressure-status-response* (PSR), definido pela Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 2003), em razão desse modelo orientar a tomada de decisões nacionais, internacionais por vários países e organizações internacionais (ONU, Banco Mundial, União Europeia, por

exemplo) nas avaliações de desempenho ambiental que objetivam o desenvolvimento de indicadores ambientais internacionais harmonizados. Vale destacar, porém, que essa abordagem também pode ser usada para desenvolver indicadores a níveis subnacionais ou ecossistêmicos, reconhecendo que não existe um conjunto universal, uma vez que eles devem ser regularmente refinados e podem mudar com a evolução do conhecimento científico, do cenário político e da disponibilidade de dados.

De acordo com o modelo PSR, os indicadores ambientais podem ser de três tipos: indicadores de pressões ambientais (representam as pressões diretas e indiretas que as atividades humanas exercem sobre o meio ambiente); indicadores de condições ambientais (refletem a qualidade do meio ambiente e do recursos naturais); e indicadores de respostas sociais (refletem as ações individuais ou coletivas destinadas a mitigar os efeitos negativos das ações antrópicas no meio ambiente) (OECD, 2003). Pôde-se identificar ainda a utilização dessa metodologia em vários artigos recentemente publicados com aplicabilidade em várias áreas, como indústria marinha (HAN *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2018), avaliação de ecossistemas (LIAO *et al.*, 2018), ambiente urbano (HUANG *et al.*, 2018), indicadores ambientais (CABELLO *et al.*, 2018) e sustentabilidade ambiental (AVELAR *et al.*, 2018). Entretanto, é importante destacar que os indicadores sozinhos não são capazes de fazer uma avaliação correta do desempenho ambiental, devendo sempre que possível ser agregados ou ponderados e comporem índices, sendo necessária, ainda, a sua complementação com análise e interpretação, além de informações e dados adicionais.

Existem várias formas de se determinar índices de eficiência energética (IEE), com esses parâmetros sendo capazes de fornecer soluções para edificações e apoiar sistemas de gestão energética por meio da previsão do consumo de energia, da coleta de dados para determinação da *performance* energética, fornecendo *benchmarking* padrão, verificação de economia e desperdícios de energia (BAKAR *et al.*, 2015). É objetivo da gestão energética a melhoria contínua do uso da energia; dessa forma, como não se pode gerenciar o que não se pode medir, analisaram-se as técnicas de determinação dos IEE em edificações publicados recentemente em periódicos internacionais, e pôde-se identificar um total de 41 artigos que continham as

expressões “*energy efficiency index*” e “*building*”, publicados nos anos de 2016 e 2017 com o objetivo de identificar as principais técnicas utilizadas para a determinação desses índices.

Neste estudo, constatou-se que a simples “razão” entre dois indicadores ou índices consolidados, com pelo menos um deles relacionado à energia, ainda é muito utilizada, entretanto a que apareceu com maior frequência foi a análise envoltória de dados (*data envelopment analysis* — DEA). Desenvolvida por Charnes *et al.* (1978), que objetivavam o desenvolvimento de medidas de eficiência de unidades tomadoras de decisão (*decision making units* — DMU) para utilização na avaliação de programas públicos, por meio inicialmente de um programa educacional para a avaliação de escolas, a DEA é uma técnica não paramétrica usada para avaliar o grau de eficiência de unidades produtivas semelhantes. Utilizando-se as medições dos *inputs* e dos *outputs* em cada uma dessas DMU analisadas, essa metodologia é capaz de determinar a eficiência relativa (parâmetro que varia de zero a um) em relação aos que obtiveram desempenho máximo entre os cenários analisados (índice um de eficiência relativa) por meio de programação linear (JI; LEE, 2010).

Desde a criação da DEA, pôde-se identificar o total de 10.300 artigos publicados por 11.975 autores diferentes com crescente aumento no número de publicações nos últimos anos (especialmente a partir de 2004, totalizando mais de 1.000 artigos em 2016), destacando-se a sua relevância científica, com “eficiência ambiental” e “agricultura” como a palavra-chave e a área de estudo mais popular nas publicações de 2016 e 2017, respectivamente (EMROUZNEJAD; YANG, 2018). Entretanto, com a seleção de modelos de análise apropriados, a DEA pode ainda ser útil no estudo de questões de energia e meio ambiente, dada a importância das técnicas de modelagem nessas áreas com o crescente interesse em comparações de desempenho, constatando-se a aplicabilidade dessa técnica em nove áreas diferentes (MARDANI *et al.*, 2017).

A DEA utiliza dados multivariados e cria fronteiras de eficiência objetivando a maior relação entre as combinações lineares dos *outputs* e dos *inputs*, classificando-as de acordo com os tipos de retorno de escala em dois modelos clássicos: CCR (Charnes, Cooper e Rhodes) ou BCC (Banker, Charnes e Cooper), sendo o primeiro mais adequado quando não existem diferenças de escala

entre as amostras, e o segundo, quando existe essa diferença (CHEN *et al.*, 2016). Podemos definir a produtividade de uma DMU como a razão entre os insumos e os produtos. Por meio da DEA, definidas as fronteiras de eficiência, pode-se estabelecer valores-alvo ou metas para a redução dos insumos ou para o aumento dos produtos de cada uma das DMU para que elas possam se tornar eficientes, de acordo com o tipo de orientação (orientados a *inputs* ou *outputs*, respectivamente). Dessa forma, os índices de eficiência definidos por essa análise variam de zero a um e representam a razão entre a produtividade dessa unidade e a produtividade da DMU eficiente, de acordo com o modelo e a orientação escolhida para a DEA. Importante destacar que nessa análise deve-se respeitar a Regra de Ouro (*Golden Rule*) da DEA, definida por Banker *et al.* (1989), destacando que o número de DMUs deve ser maior ou igual a três vezes a soma total do número de variáveis (*inputs* e *outputs*) utilizadas e maior ou igual ao produto do número de *inputs* e *outputs*.

O modelo CCR, desenvolvido por Charnes *et al.* (1978), também é conhecido por *constant return scale* (CRS) e considera que um aumento na utilização de insumos deve promover um aumento proporcional nos resultados; já o modelo BCC, desenvolvido por Banker *et al.* (1984), é conhecido por *variable return scale* (VRS), e considera que o aumento da utilização de *inputs* também deve provocar um aumento nos *outputs*, entretanto esse aumento pode ser proporcionalmente maior, menor ou igual. Como consequência, o modelo CCR cria uma fronteira de eficiência que tem a forma de uma reta (linear), enquanto a fronteira criada pelo modelo BCC é côncava, contornando as DMU com mais eficiência, sendo, portanto, menos exigente e mais flexível que a primeira.

Independentemente do modelo utilizado, os índices criados pela DEA representam a distância de cada uma das DMU à respectiva curva de eficiência, de modo que para atingir essa fronteira de eficiência, três soluções são possíveis: manter constantes as entradas e aumentar as saídas (DEA orientada a *outputs*) ou manter constantes as saídas e diminuir as entradas (DEA orientada a *inputs*), ou, simultaneamente, diminuir as entradas e aumentar as saídas (melhor opção), permitindo o contínuo processo de aprimoramento (WANG *et al.*, 2017). A DEA fornece, portanto, indicações do que melhorar para atingir melhor grau de eficiência

em uma análise cíclica, porque pode ser repetida em ciclos de medição subsequentes.

Em uma mesma DEA, diversas unidades produtivas podem receber o IEE igual à unidade, entretanto, em alguns casos, faz-se necessária a criação de um *ranking* das DMU ordenando as unidades com base na sua eficiência. Para tanto, pode-se utilizar a técnica da fronteira invertida (destacada neste trabalho em função do *software* que será utilizado) que, introduzida por Yamada *et al.* (1994) e Entani *et al.* (2002), determina uma curva de eficiência utilizando como parâmetro as DMU com as piores produtividades por meio das mesmas equações da DEA tradicional, invertendo-se os *inputs* e os *outputs*. Dessa forma, pode-se determinar um novo índice de eficiência composto da DEA convencional e invertida para ranquear as DMU que obtiveram índices de eficiência iguais à unidade.

Ademais, destaca-se a crescente disponibilidade de ferramentas para a implementação de eficiência e a identificação de sete *softwares* de propósitos gerais com essa capacidade, além de 21 programas dedicados e três programas *on-line* (DARAIO *et al.*, 2017). Muitos dos *softwares* generalistas são bastante conhecidos no meio científico (R, SAS, STATA, Matlab). Entretanto, para facilitar os cálculos dos IEE, optou-se por utilizar um *software* dedicado à DEA, técnica utilizada pela maioria dos *softwares* encontrados (87,1%). Dessa forma, por ser de fácil acesso e de uso gratuito, utilizou-se o sistema integrado de apoio à decisão (SIAD) (ANGULO MEZA *et al.*, 2005), ferramenta dedicada à análise de produtividade e eficiência, também citada na pesquisa de Daraiio *et al.* (2017), que foi desenvolvida na Universidade Federal Fluminense e que utiliza técnicas de DEA convencionais ou alternativas para determinar índices de eficiência, pesos, alvos e *benchmarks*.

Como pode ser constatado nos diversos balanços energéticos, como nos apresentados pela International Energy Agency (IEA, 2017), na esfera global, e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), na esfera nacional, estatísticas de energia geralmente são compiladas e apresentadas numa base setorial, em que os consumidores são agrupados de acordo com a atividade econômica, quais sejam: indústria, transportes, serviços, agricultura e residencial. Entretanto, o setor de serviços, no qual as Instituições de Ensino Superior (IES) estão inseridas, é o mais heterogêneo e, embora os dados de consumo de energia para o setor como

um todo estejam disponíveis, os dados de consumo de energia subsetores não são facilmente encontrados.

As IES no Brasil experimentaram grande expansão geográfica a partir da década de 1960, exigindo-se delas melhor gestão acadêmica e administrativa, para garantir a formação de uma unidade e bons desempenhos nessa nova configuração *multicampi* (NEZ, 2016). Ciente dessa necessidade, Silva *et al.* (2016) salientam que é imperativa a consolidação da institucionalização da gestão ambiental nas universidades, com a interoperabilidade entre os vários setores da instituição por meio de um fluxo contínuo de informações devidamente oficializado, com a definição de rotinas administrativas. Ademais, destacam a necessidade da utilização da tecnologia da informação e da inteligência analítica no tratamento de dados que devem ser expressos em suas respectivas unidades físicas, devendo ainda consolidar-se um modelo de gestão voltado para a eficiência, eficácia e efetividade, contando com análises econômico-financeiras e usando procedimentos padronizados.

Dessa forma, deve-se implantar um SGA nas IES que contemple a gestão energética, uma vez que o uso da energia é o insumo com maior índice de risco ambiental (IRA) (SENNA *et al.*, 2014). Essa ação permite que as IES se tornem exemplo de sustentabilidade para toda a comunidade e incentivem mudanças concretas na realidade social não só por meio de sua atividade-fim (ensino, pesquisa e extensão), mas também com a articulação da gestão e a infraestrutura das edificações, para consolidá-la como um espaço educador sustentável, uma vez que a sustentabilidade deve estar alinhada com a missão e a visão dessas organizações.

A análise de indicadores que ligam os dados de demanda e consumo de energia a partir de contas de serviços públicos a variáveis que medem a atividade em universidades, por exemplo, pode apontar resultados relevantes e orientar a tomada de decisões. Dessa forma, este projeto de pesquisa busca resolver o seguinte problema: “Como desenvolver uma estratégia para gestão do uso de eletricidade que garanta a conformidade da gestão energética em instituições de ensino superior *multicampi*?”. Instituído em 1984, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) foi criado com a finalidade de contribuir para a racionalização no uso de energia no país, informando os consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, estimulando-os a fazer uma compra mais consciente, e tem estimulado a efi-

ciência energética no país, sobretudo com a etiquetagem de equipamentos elétricos a partir da publicação da Lei de Eficiência Energética em 2001 (CEPEL, 2014). Entretanto, vale destacar que desde 2009 esses IEE e níveis de eficiência energética (NEE) podem ser obtidos para edificações comerciais, de serviços, públicas e residenciais, devendo seguir os requisitos técnicos da qualidade (RTQ) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2010; 2012), que consideram apenas aspectos de infraestrutura.

Para Melo *et al.* (2012), o desenvolvimento do RTQ no Brasil é um instrumento importante para garantir a eficiência energética dos edifícios no país, entretanto enfatiza a necessidade de um modelo simplificado, mais preciso e eficiente para o cálculo do consumo de energia utilizada no processo de etiquetagem. Nesse contexto, Wong e Krüger (2017) investigaram as dificuldades e as restrições para a metodologia de cálculo, escopo e rotulagem do RTQ e destacam que, para se conseguir uma implantação completa do RTQ, devem-se desenvolver metodologias para calcular valores realistas, criar campanhas para a conscientização entre o público em geral, treinamento e apoio para aumentar o número de avaliadores de energia; aplicação de sanções em caso de descumprimento; aplicação de medidas de monitoramento e avaliação pós-certificação; estabelecimento e manutenção de um sistema de registro central para coleta de dados relevantes dos certificados. Parte disso se comprova com o levantamento feito por Silva *et al.* (2015) ao mostrarem que em seis anos de programa, período que contempla a expansão dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, por exemplo, apenas 125 edificações comerciais, públicas e de serviços foram etiquetadas no país, com alguns estados, nos quais o Piauí está incluso, com nenhuma edificação etiquetada.

Dessa forma, na medida em que se propõe o desenvolvimento de índices, níveis e *benchmarks* para a gestão energética em IES *multicampi*, abre-se um horizonte no qual se pode contribuir para o que preconiza os objetivos do desenvolvimento sustentável, no que se refere à energia elétrica, considerando-se ainda a difícil utilização e ineficácia dos IEE oficialmente regulamentados no Brasil, bem como sua caracterização como um paradigma tradicional de casualidade linear que avalia a eficiência energética das edificações somente a partir de sua infraestrutura. Assim, essa pesquisa propõe a

avaliação da eficiência por meio do paradigma sistêmico do meio ambiente e reconhece, portanto, sua complexidade, instabilidade e intersubjetividade.

Esse problema científico leva em consideração a visão sistêmica do meio ambiente ao considerar as IES como parte do sistema elétrico nacional, uma vez que aproximadamente 98% do sistema de energia elétrica do país está interligado. Dessa forma, além de benefícios a essas instituições, a execução desta pesquisa também trará benefícios ao país e ao planeta, uma vez que a eficiência energética é uma alternativa viável aos impactos socioambientais do aumento da demanda de energia elétrica. A presente investigação tem, portanto, caráter interdisciplinar por trazer questões referentes ao planejamento e gestão ambiental, educação ambiental, engenharia e economia.

A principal hipótese investigada é que se pode utilizar a DEA para elaborar uma estratégia de *benchmarking* para

a garantia da conformidade da gestão energética em IES *multicampi*, utilizando os dados disponibilizados nas faturas de energia elétrica e informações de infraestrutura e acadêmicas das instituições (metodologia diferente do paradigma tradicional determinado pelo INMETRO). Para tanto, o objetivo geral desta pesquisa foi apresentar uma metodologia para o diagnóstico energético e *benchmarking* do uso de energia elétrica em IES *multicampi*. Dessa forma, foram objetivos específicos:

- Fazer a caracterização geral da instituição;
- Executar o diagnóstico energético da IES na perspectiva *multicampi*;
- Calcular índices de eficiência energética relativa (IEER) para as IES;
- Estabelecer níveis de eficiência para todos os *campi*;
- Definir metas para o aumento da eficiência energética.

MATERIAIS E MÉTODOS

Instituído em 2007, o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) contribuiu para o crescimento do número de municípios atendidos pelas IES federais, que passaram de 114 em 2003 para 237 até o fim de 2011 (BRASIL, 2010), não sendo diferente no estado do Piauí. O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), por exemplo, sofreu grande expansão, principalmente a partir de 2009 (construção de 12 novos *campi* até o ano de 2015), resultado dessa política de expansão e interiorização do acesso à educação tecnológica (RÊGO, 2015), consolidando-se com uma estrutura organizacional *multicampi*.

O IFPI é uma IES, básica e profissional, vinculada ao Governo Federal Brasileiro criada no ano de 2008 pela Lei Federal nº 11.892, e conforme pode ser visto na Figura 1, conta com 17 *campi* universitários, distribuídos em todas as regiões do estado. Todos os *campi* do IFPI são objeto de estudo desta pesquisa, sendo, portanto, censitária e de caráter dedutivo.

Esta pesquisa iniciou-se com a caracterização geral do IFPI; para tanto, fez-se uma busca na bibliografia disponível e no site da instituição por documentos relevantes como o Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) e os relatórios de gestão. Utilizando-se a metodo-

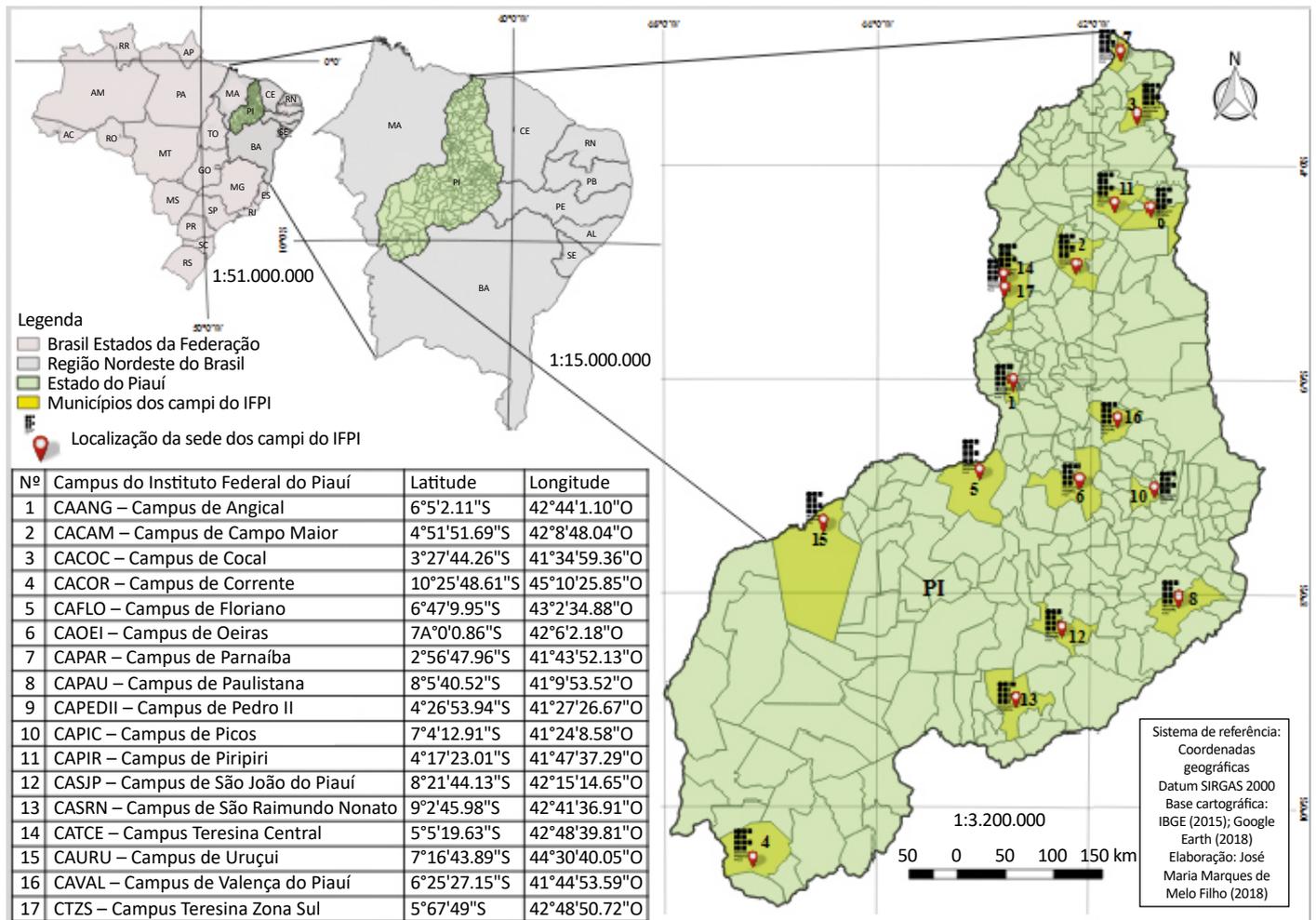
logia definida por Silva, Barbosa e Santos (2017) com o método indutivo pôde-se concluir que o IFPI não está gerenciando corretamente o uso de energia elétrica, com 6,63% do valor pago à concessionária de energia no *Campus* Teresina Central (CATCE) do IFPI no ano de 2015, constituindo-se de gastos desnecessários que poderiam ser facilmente evitados com a atuação de um sistema de gestão energética. Entretanto, destacava a continuidade dos estudos, sobretudo por ser uma instituição *multicampi* (SILVA *et al.*, 2017).

Ciente dessa necessidade, ainda conforme essa metodologia, identificaram-se os três centros de custo de julho de 2016 a junho de 2017 em todos os *campi* da IES, considerando-se sua estrutura organizacional *multicampi*, utilizando-se a cópia digitalizada das faturas de energia para realizar um diagnóstico energético preliminar, e sugerindo-se estratégias para a eliminação das perdas evitáveis. Em seguida, apresentaram-se os resultados parciais desse diagnóstico à administração superior da instituição a fim de estabelecer um fluxo contínuo de informações nos meses subsequentes e viabilizar a continuidade dos estudos.

Para o estabelecimento de NEE para os *campi* da IES, elaborou-se uma matriz de indicadores ambientais, com base no Modelo PSR, com as variáveis de pressão

(uso da energia) e de estado (número de servidores, aspectos de infraestrutura e ensino), conforme mostrado na Tabela 1, escolhidas com base na atividade-fim da instituição (uma vez que a instituição claramente prioriza essa atividade em detrimento da pesquisa e da extensão) e em critérios qualitativos e quantitativos: confiabilidade dos dados, relação com problema, utilidade para o usuário, disponibilidade dos dados, relevância, redundância e mensurabilidade. A pesquisa foi, portanto, realizada com dados primários, referentes a esses indicadores em todos os *campi* da IES junto e correspondentes aos anos de 2015, 2016 e 2017, por meio de uma solicitação formal encaminhada à alta administração da instituição, que foi prontamente atendida.

De posse desses dados, para o agrupamento dos *campi* em diferentes categorias de escala, fez-se uma análise multivariada desses dados e plotou-se um dendrograma, gráfico construído por meio da análise de agrupamento que permite agrupar diferentes observações utilizando como critério a distância euclidiana. Consideraram-se, portanto, os centroides de cada grupo de observações, em que o valor de cada uma das observações nesse centroide é a média aritmética dos valores desse indicador em cada uma das observações (MANLY, 2008), usando como referência os indicadores do ano de 2017 em todos os *campi* do IFPI. Vale ressaltar ainda que, para evitar que uma variável dominasse a análise, previamente, todos os indicado-



IFPI: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Figura 1 – Espacialização dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

res foram normalizados individualmente, com base na diferença entre os valores mínimos e máximos (KILKIS, 2015). Em seguida, elaborou-se uma matriz de correlação, calculando-se o coeficiente de correlação de Pearson para avaliar dois a dois o grau de correlação entre os indicadores de ensino, infraestrutura e servidores com o uso de energia.

Com essas análises, escolheram-se as variáveis que melhor representam o consumo de energia elétrica (*input*) e a atividade-fim da instituição (*output*). Desse modo, objetivando melhor visualização do modelo proposto, foram feitas ainda duas análises de componentes principais (ACP), uma para os *inputs* e outra para os *outputs*, para determinar índices utilizando a álgebra matricial, que relacionam os indicadores das entradas e das saídas separadamente, com uma precisão que também pode ser determinada (MANLY, 2008) reduzindo todos os indicadores em dois índices, um para a energia e outro para o ensino.

Assim, esses novos dados bivariados de consumo de energia e ensino da IES (*inputs* e *outputs*, respectivamente) foram então utilizados em uma DEA para a determinação de curvas de eficiência nos modelos CCR e BBC, que foram plotadas em dois planos cartesianos. Em seguida, com o modelo ilustrado, novamente com a utilização da DEA, com o modelo de análise (BCC ou CCR) definido com base na homogeneidade das amostras, criaram-se IEER para cada um dos agrupamentos e índices gerais. Os maiores e menores índices foram então utilizados para dividir os *campi* em cinco níveis de eficiência com comprimentos iguais, objetivando o *benchmarking* do uso de energia na IES. Importante destacar que se respeitou a Regra de Ouro (*Golden Rule*) da DEA, definida por Banker *et al.* (1989).

Utilizaram-se ainda os modelos de DEA orientados a *inputs* e *outputs* para estabelecer metas de consumo e demanda de energia e para as atividades de ensino em cada *campus* da IES que não atingiram o índice

Tabela 1 – Matriz de indicadores ambientais.

Tipo	Aspecto	Indicador	Descrição
Pressão	Consumo e Demanda de Energia	X1	Média mensal do consumo de energia elétrica ativa no horário ponta (kWh)
		X2	Média mensal do consumo de energia elétrica ativa no horário fora-ponta (kWh)
		X3	Média mensal da demanda máxima de energia ativa no horário ponta (kW)
		X4	Média mensal da demanda máxima de energia ativa no horário fora-ponta (kW)
Estado	Número de Servidores	Y1	Número total de servidores técnicos administrativos
		Y2	Número total de professores efetivos
	Aspectos de Infraestrutura	Y3	Área total da edificação (m ²)
		Y4	Número de salas de aula
		Y5	Área total das salas de aula (m ²)
		Y6	Número de laboratórios
		Y7	Bombas d'água e elevadores (CV)
	Ensino	Y8	Número de alunos em cursos técnicos concomitantes e subsequentes
		Y9	Número de alunos em cursos técnicos integrados
		Y10	Número de alunos em cursos técnicos superiores
		Y11	Número de alunos em cursos de pós-graduação

máximo de eficiência energética, a fim de atingir esse melhor nível. Além disso, para a criação de um *ranking* das DMU, ordenando as unidades com base na sua eficiência, utilizou-se a técnica da fronteira invertida para determinar um novo índice de eficiência composto da DEA convencional e invertida e ranquear as DMU que obtiveram índices de eficiência iguais à unidade.

Por fim, para viabilizar os cálculos da DEA, destaca-se a utilização do SIAD (ANGULO MEZA *et al.*, 2005) e, além dele, dos *softwares* Microsoft Excel 2013 (planilha eletrônica) e o RStudio, sendo este um *software* gratuito para computação estatística e elaboração de gráficos nas análises de dados multivariados por possuir algoritmos já implementados (RACINE, 2012).

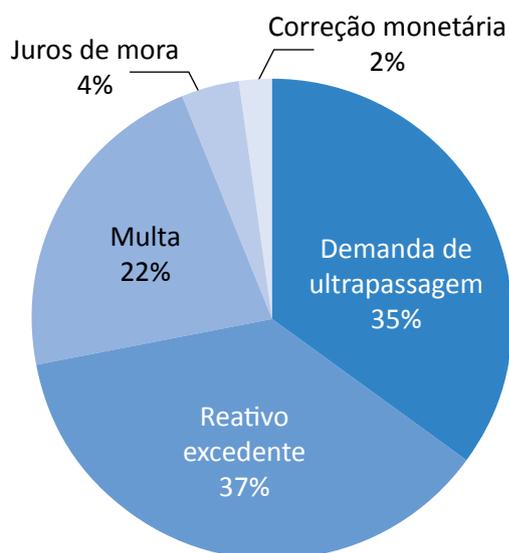
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a estrutura organizacional *multicampi* do IFPI, após a análise das faturas de energia elétrica, identificaram-se os custos com energia elétrica em todos os *campi* da instituição no período de julho de 2016 a junho de 2017: R\$ 179.214,47 (4,3% composta dos itens destacados na Figura 2A), que é mais do que foi gasto com energia elétrica em oito dos 17 *campi* — *Campus* de Angical (CAANG), *Campus* de Campo Maior (CACAM), *Campus* de Cocal (CACOC), *Campus* de Pedro II (CAPEDII), *Campus* de Valença do Piauí (CAVAL), *Campus* de Oeiras (CAOEI), *Campus* de São João do Piauí (CASJP) ou *Campus* de Paulistana (CAPAU) — e devem ser eliminados imediatamente, além de R\$ 4.264.199,95 de custos gerenciáveis que devem reduzidos com a execução de projetos de eficiência energética (PEE) ou com a utilização de fontes alternativas

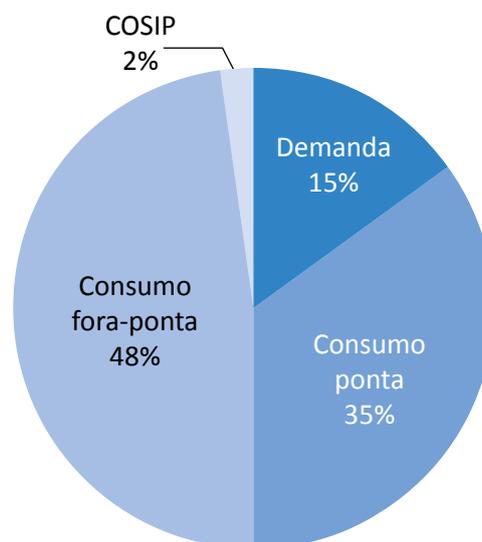
de energia, objetivando, prioritariamente, a redução do consumo de energia no horário em que ela é mais cara (17h30 às 20h30). Apuraram-se ainda os custos mensais por *campi* em cada um dos centros de custos, destacando o CATCE como o que possui os maiores gastos com energia elétrica e também as maiores perdas em termos absolutos (R\$ 4.293,02/mês), o que já era esperado por ser o maior da instituição. Além desse *campus*, destacaram-se o *Campus* de Corrente (CACOR) e o CASJP com as maiores (13,24%) e as menores (0,92%) perdas em relação ao valor da fatura, respectivamente.

Como pode ser visto nas Figuras 2A e 2B, a composição percentual dos centros de custos foi realizada com o objetivo de direcionar as ações eficiência energética e, conseqüentemente, reduzir os custos com energia

A Perdas evitáveis – IFPI 2016-2017



B Custos gerenciáveis – IFPI 2016-2017



IFPI: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí; COSIP: Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública.

Figura 2 – Percentual dos centros de custo com energia elétrica nos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, de julho de 2016 a junho de 2017.

elétrica. Conforme mostrado na Figura 2A, as multas, os juros e a correção monetária por causa do atraso no pagamento das faturas totalizaram R\$ 49.566,08 em perdas anuais (28% das perdas evitáveis), que poderiam ser facilmente evitadas com o pagamento em dia das faturas de energia. Já na Figura 3A pode ser vista a participação percentual de cada um dos *campi* nesse total de encargos. É mostrado que todos os *campi* foram penalizados, destacando que o peso maior é referente às multas (79%) que são cobradas mesmo que o atraso no pagamento seja de poucos dias.

Parte da energia elétrica fornecida pelas concessionárias, definida como energia reativa, é utilizada para garantir o funcionamento de algumas máquinas e equipamentos, sendo o restante definido como energia ativa e retorna trabalho útil. Para melhor eficiência energética, a Agência Nacional de Energia Elétrica, agência reguladora do setor elétrico, define em 0,92 (fator de potência) a razão mínima entre essa energia útil e o total fornecido pela rede (energia aparente). O consumo excessivo de energia reativa fez com que o IFPI pagasse R\$ 66.852,96 por ano (37% das perdas evitáveis, conforme a Figura 2A), e para que isso não ocorra novamente, faz-se necessária a execução de obras de engenharia para a correção do fator de potência, geralmente com a instalação de bancos de capacitores. Essas obras requerem investimento financeiro e, por isso, elaborou-se uma distribuição percentual dos gastos com energia reativa para direcionar os recursos, priorizando os *campi* que mais foram penalizados e, conseqüentemente, possuem maior potencial de economia. Ainda conforme mostrado na Figura 3B, diferentemente do que se presumia, o *Campus* Teresina Central, mesmo sendo o maior, mais antigo e sede de instituição, deve ser apenas a quarta opção de investimento, ficando atrás de outros quatro *campi*.

O último percentual das perdas evitáveis que deve ser evitado, de acordo com a Figura 2A, é o pagamento da demanda de ultrapassagem (35%, ou seja, R\$ 62.795,43/ano pago pelo IFPI no período analisado), que ocorre quando as unidades consumidoras solicitam da rede elétrica uma potência elétrica superior a 5% do valor contratado junto à concessionária. Dessa forma, devem-se analisar as demandas medidas nos horários ponta e fora-ponta em cada um dos *campi* nos últimos três anos ou a partir de uma mudança significativa no consumo (reforma, ampliação, mudança

no padrão de consumo), e revisar os contratos de fornecimento. A Figura 4 apresenta a análise de demanda de uma das unidades consumidoras do CATCE a partir de setembro de 2015, mês em que a reitoria da instituição, que funcionava anteriormente nesse prédio, mudou-se para outra edificação. Destaca-se nessa análise a revisão do contrato de demanda a partir do mês de março de 2017 (mudança de 170 para 220 kW), resultado da pesquisa desenvolvida por Silva *et al.* (2017), e os meses de janeiro e novembro de 2016 com as máximas demandas medidas (136 e 240 kW, respectivamente).

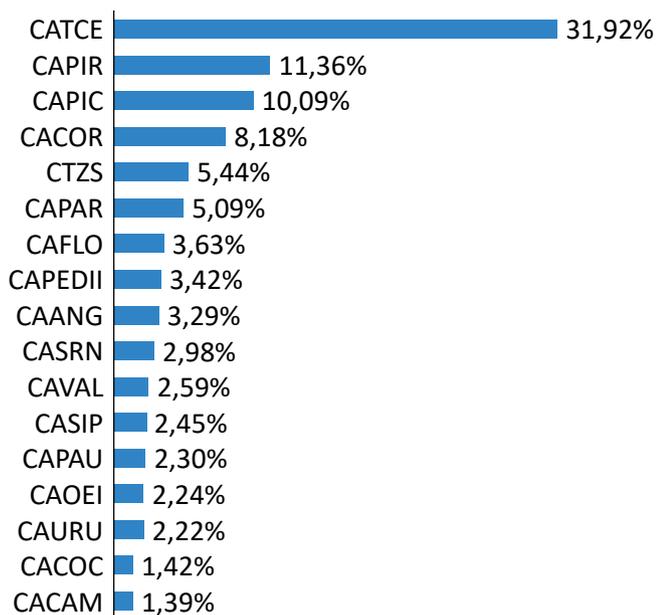
Todas as ações propostas para a eliminação das perdas evitáveis preveem a economia mensal de R\$ 14.934,54, que devem ser vistas em uma análise de viabilidade econômica como benefícios das intervenções. Entretanto, os custos gerenciáveis representaram 95,97% das despesas com energia elétrica do IFPI, e requerem atuação de um sistema de gestão energética. Para tanto, conforme a metodologia apresentada, coletaram-se dados para a elaboração de uma matriz de indicadores nos anos de 2015, 2016 e 2017. Entretanto, as medições referentes ao ano de 2015 não foram utilizadas nas análises por causa da greve dos docentes que paralisou as atividades nos *campi* da instituição por um período de 153 dias, assim como as medições referentes ao *Campus* de Florianópolis no ano de 2016, porque o medidor de energia da concessionária que lá existia não media o consumo de energia ponta e fora-ponta separadamente, indicadores analisados na matriz.

Mesmo com esses problemas, a análise de correlação de Pearson revelou uma correlação forte entre todos os indicadores e, com a análise de agrupamento das medições do ano de 2017, puderam-se formar dois agrupamentos com base na distância multivariada dos *campi*, destacando que todos os *campi* são semelhantes, exceto o CATCE. Em seguida, utilizaram-se as medições referentes aos anos de 2016 e 2017 em uma análise de componentes principais, e foi possível determinar equações que transformam os dados multivariados da utilização de energia (*input*) e da atividade de ensino (*output*) em dados bivariados, utilizando as variáveis definidas na Tabela 1, com precisões de 99,92 e 95,58%, respectivamente. Assim, pôde-se ilustrar as curvas de eficiência determinadas pela DEA nos modelos CCR e BCC orientados a insumos (Figura 5A) e produtos (Figura 5B).

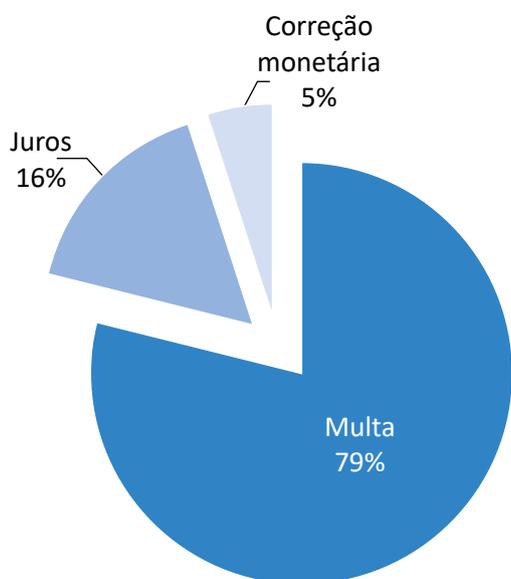
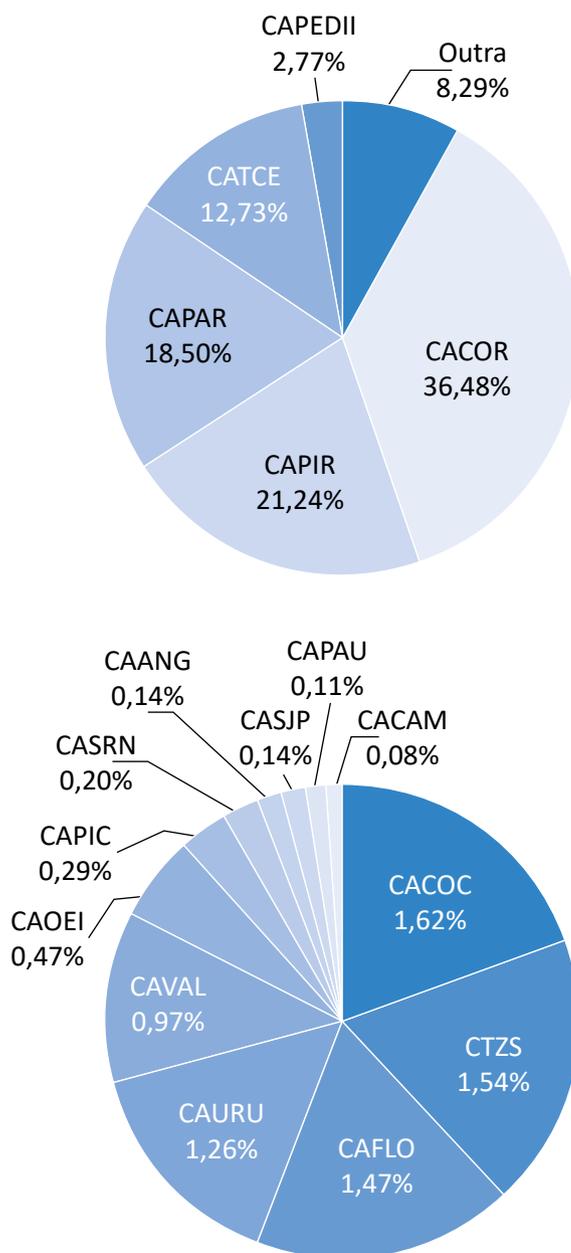
Com base nos conceitos de produtividade, puderam-se determinar os índices de eficiência relativa utilizando-se as medições de uso de energia e ensino nesse mesmo período, com o modelo BCC da DEA na deter-

minação dos IEER para o índice geral e com o modelo CCR da DEA para determinar o IEER nos agrupamentos, pelo fato de o primeiro considerar retornos variáveis de escala e o último considerar retornos constantes de

A Multa, juros e correção monetária



B Reativo excedente

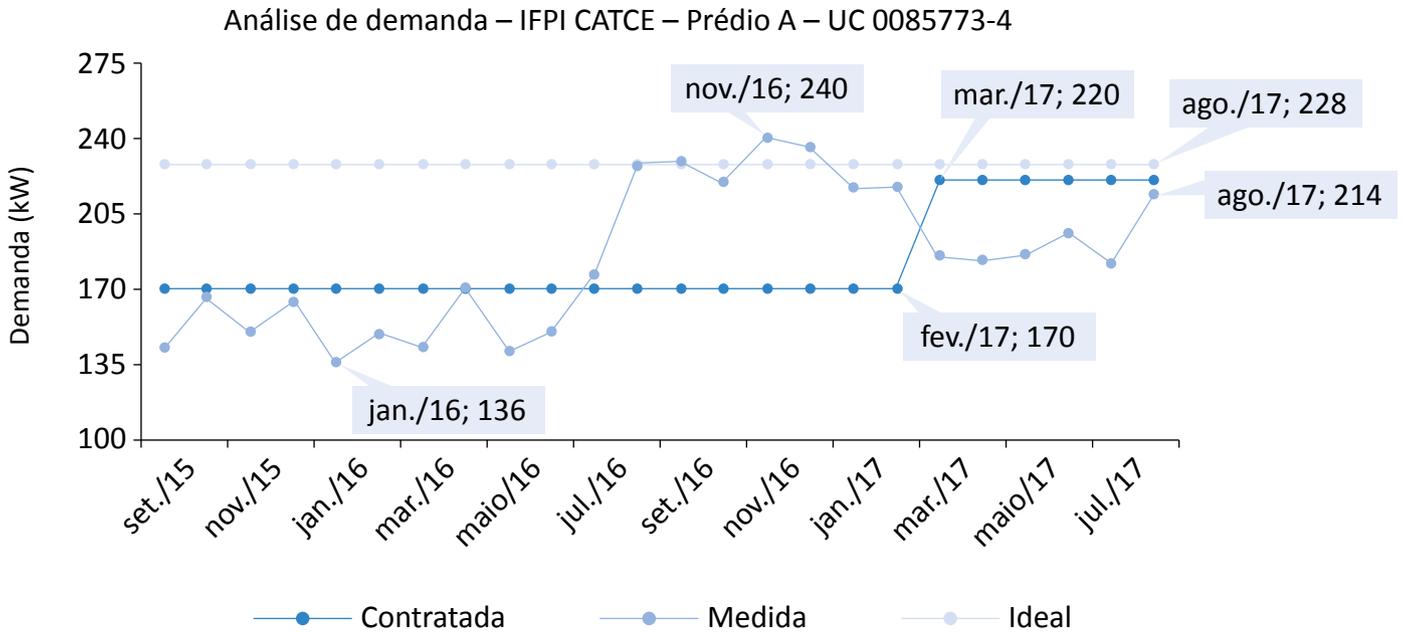


CATCE: *Campus* Teresina Central; CAPIR: *Campus* de Piripiri; CAPIC: *Campus* de Picos; CACOR: *Campus* de Corrente; CTZS: *Campus* Teresina Zona Sul; CAPAR: *Campus* de Parnaíba; CAFLO: *Campus* de Floriano; CAPEDEII: *Campus* de Pedro II; CAANG: *Campus* de Angical; CASRN: *Campus* de São Raimundo Nonato; CAVAL: *Campus* de Valença do Piauí; CASJP: *Campus* de São João do Piauí; CAPAU: *Campus* de Paulistana; CAOEI: *Campus* de Oeiras; CAURU: *Campus* de Uruçui; CACOC: *Campus* de Cocal; CACAM: *Campus* de Campo Maior.

Figura 3 – Percentual dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí em multas, juros, correção e reativo excedente, de julho de 2016 a junho de 2017.

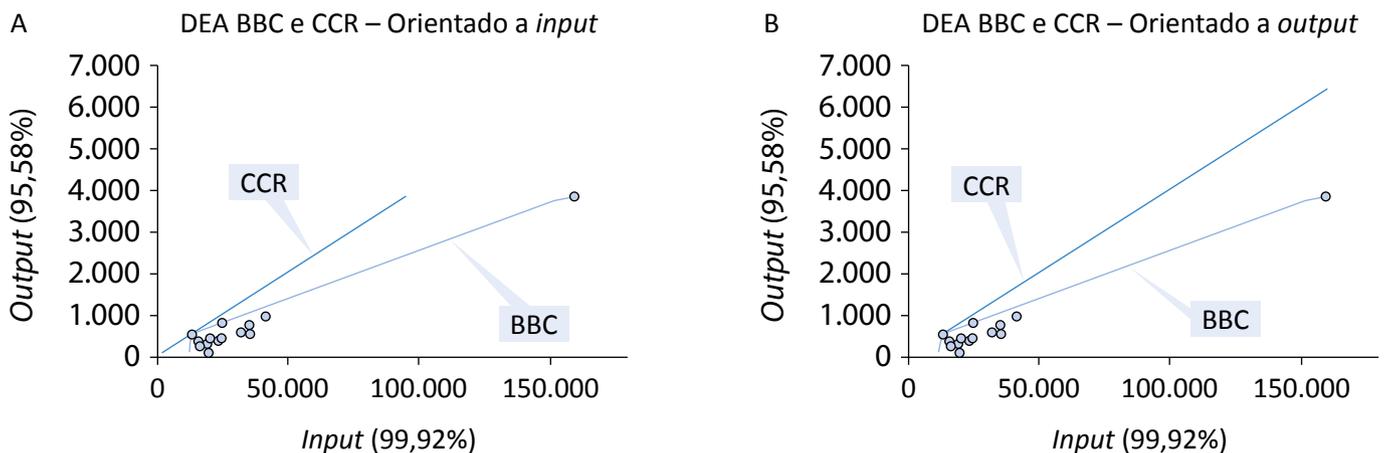
escala. Na Figura 6, são apresentados os IEER e os níveis de eficiência energética relativa (NEER) para cada um dos *campi*, e como pode ser visto para o CACAM, o modelo de DEA escolhido para a determinação dos IEER dos agrupamentos é mais exigente que o utilizado para os índices gerais, e, por essa razão, esse modelo será utilizado para a determinação das metas para o aumento da eficiência energética.

O CAANG e o CACAM apresentaram o melhor e o pior IEER nos agrupamentos, respectivamente, e após a classificação em NEE, pôde-se determinar que nove dos *campi* possuem nível A de eficiência energética; um, nível B; dois, nível C; quatro, nível D; e um, nível E. Analisando-se ainda a diferença dos cenários de 2016 e 2017, pôde-se analisar a variação dos IEER e constatar que em cinco dos *campi* os NEE pioraram (destacados em vermelho),



IFPI: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Figura 4 – Análise de demanda do Prédio A do *Campus* Teresina Central, de setembro de 2015 a agosto de 2017.



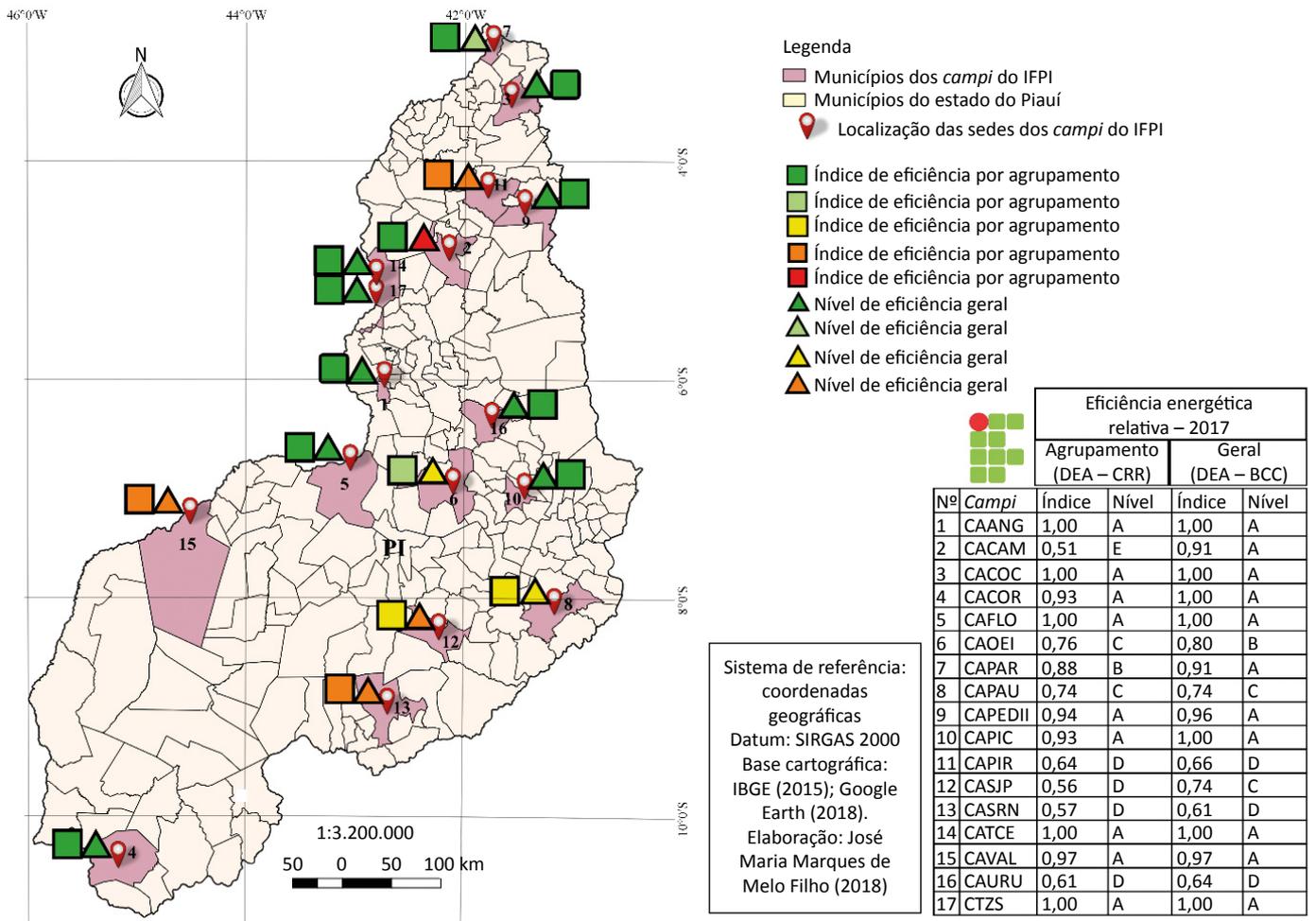
DEA: Análise Envoltória de Dados; BBC: Banker, Charnes e Cooper; CCR: Charnes, Cooper e Rhodes.

Figura 5 – Análise envoltória de dados das componentes principais dos *inputs* e dos *outputs*.

em quatro melhoraram (destacados em verde) e em sete continuaram no mesmo patamar, conforme Figuras 7A e 7B, destacando-se que não se pôde fazer essa análise com relação ao *Campus* de Floriano (CAFLO), porque o índice em 2016 não pôde ser determinado.

Na Figura 8A, é apresentada a contagem dos *campi* por NEER, no ano de 2017, nos agrupamentos, e na Figura 8B, é destacado, por meio do CACAM, como a redução dos insumos (modelo orientado a *inputs*) e o aumento dos produtos (modelo orientado a *outputs*)

podem levar às DMU ineficientes ao índice A de eficiência energética relativa e atingir a curva de eficiência. Importante perceber que existe mais de um caminho para a DMU tornar-se eficiente (alguns mais curtos que outros) e, de acordo com o tipo de orientação, a distância da DMU à curva de eficiência determina o índice de eficiência, explicando, por exemplo, porque o CACAM possui um nível E de EER no agrupamento (Modelo CCR orientado a *inputs*) e nível A de EER no geral (Modelo BCC orientado a *inputs*), conforme a Figura 6.



IFPI: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí; DEA: Análise Envoltória de Dados; CCR: Charnes, Cooper e Rhodes; BCC: Banker, Charnes e Cooper; CAANG: *Campus* de Angical; CACAM: *Campus* de Campo Maior; CACOC: *Campus* de Cocal; CACOR: *Campus* de Corrente; CAFLO: *Campus* de Floriano; CAOEI: *Campus* de Oeiras; CAPAR: *Campus* de Parnaíba; CAPAU: *Campus* de Paulistana; CAPEDII: *Campus* de Pedro II; CAPIC: *Campus* de Picos; CAPIR: *Campus* de Piriipiri; CASJP: *Campus* de São João do Piauí; CASRN: *Campus* de São Raimundo Nonato; CATCE: *Campus* Teresina Central; CAVAL: *Campus* de Valença do Piauí; CAURU: *Campus* de Uruçui; CTZS: *Campus* Teresina Zona Sul.

Figura 6 – Índices de eficiência energética relativa e níveis de eficiência energética relativa dos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, geral e no agrupamento.

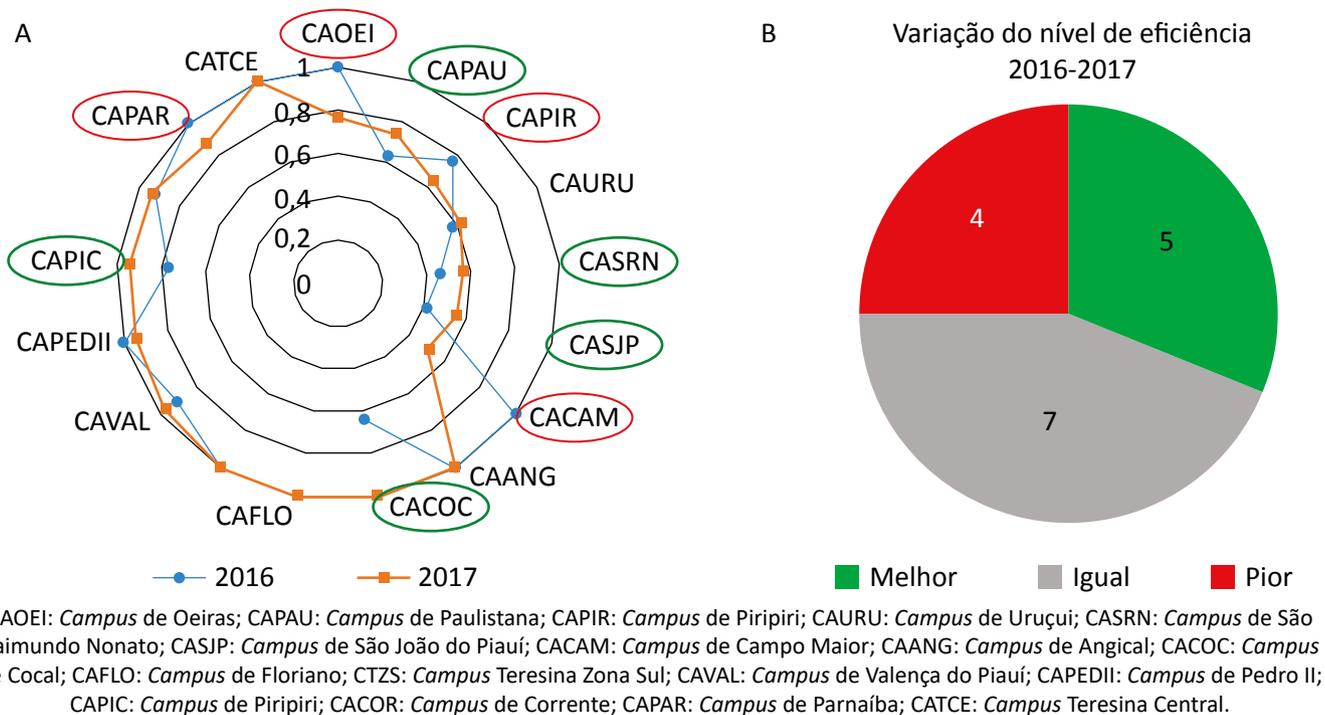


Figura 7 – Índices de eficiência energética relativa dos campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí nos anos de 2016 e 2017.

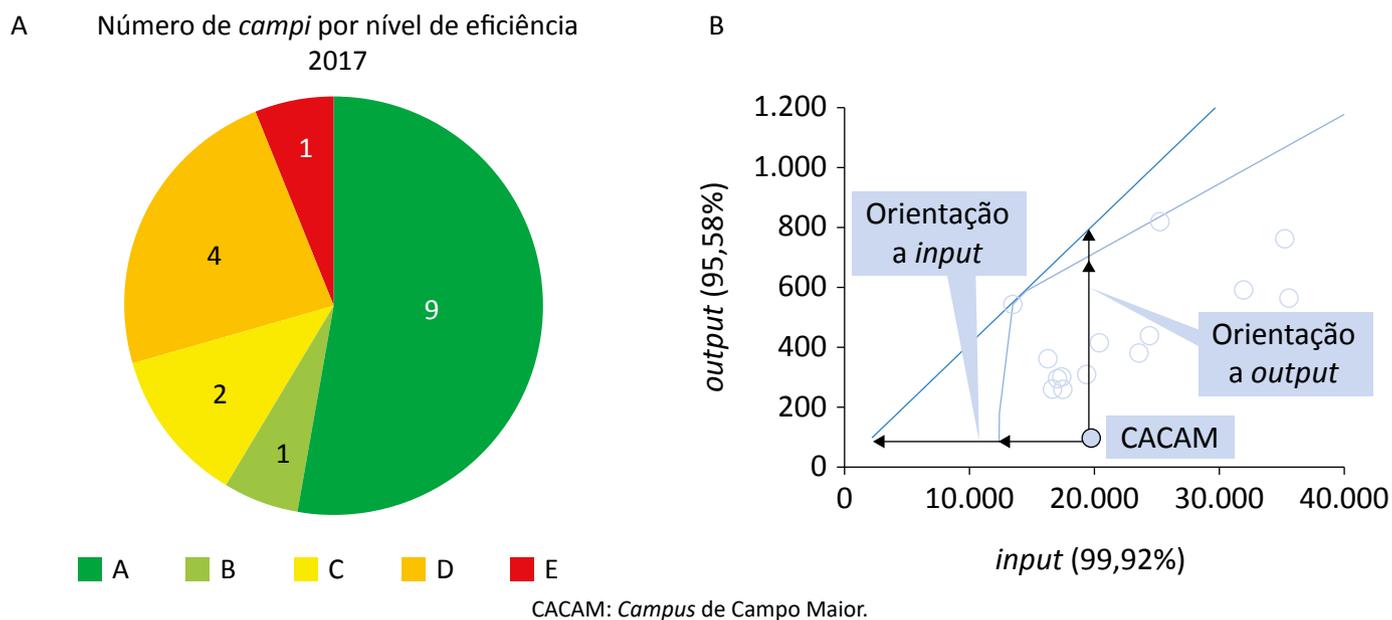


Figura 8 – Número de *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí por níveis de eficiência energética relativa no ano de 2017 e análise envoltória de dados orientada a *inputs* e *outputs*.

Ademais, conforme mostrado na Tabela 2, puderam-se estabelecer, para os *campi* com IEER diferente de um, metas para redução dos insumos e aumento dos produtos, cujos indicadores foram definidos na Tabela 1, considerando-se os índices da Figura 6. Utilizaram-se novamente as medições de uso de energia e ensino nos anos de 2016 e 2017 em uma DEA com o Modelo BCC, que resultará no aumento dos níveis de eficiência

energética e na diminuição dos custos e das emissões de CO₂, caso as metas sejam atingidas.

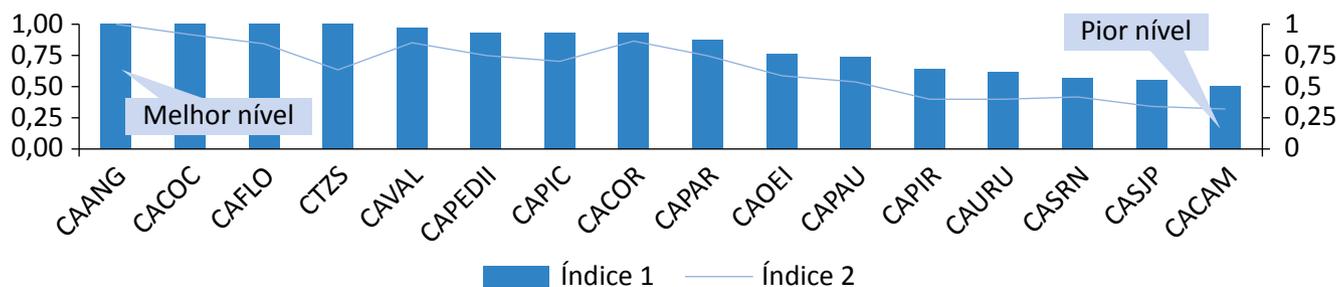
Por fim, conforme mostrado na Figura 9, puderam-se utilizar os IEER (índice 1) e a fronteira invertida da DEA (índice 2) para ranquear os *campi* (considerando o maior agrupamento) e definir os melhores e os piores níveis, parâmetros que também podem ser bastante úteis em uma estratégia de *benchmarking*.

Tabela 2 – Metas de redução dos *inputs* e aumento dos *outputs* para atingir a curva de eficiência.

<i>Campi</i>	Metas de redução dos insumos				Metas de aumento dos produtos			
	X1 (%)	X2 (%)	X3 (%)	X4 (%)	Y8	Y9	Y10	Y11
CACAM	49	50	55	54	125	89	0	0
CASJP	44	44	57	48	215	141	307	36
CASRN	47	43	47	43	233	173	236	41
CAURU	39	43	41	39	437	150	241	72
CAPIR	50	54	44	36	348	164	263	121
CAPAU	26	26	32	31	98	87	352	65
CAOEI	24	24	41	24	79	69	276	54
CAPAR	20	15	12	12	84	119	87	8
CACOR	7	7	7	11	141	25	177	14
CAPIC	33	15	26	7	425	33	88	7
CAPEDII	6	6	10	6	84	17	136	68
CAVAL	3	11	8	3	12	76	385	8

CACAM: *Campus* de Campo Maior; CASJP: *Campus* de São João do Piauí; CASRN: *Campus* de São Raimundo Nonato; CAURU: *Campus* de Uruçui; CAPIR: *Campus* de Piriipiri; CAPAU: *Campus* de Paulistana; CAOEI: *Campus* de Oeiras; CAPAR: *Campus* de Parnaíba; CACOR: *Campus* de Corrente; CAPIC: *Campus* de Piriipiri; CAPEDEII: *Campus* de Pedro II; CAVAL: *Campus* de Valença do Piauí.

Variação dos índices e ranking de eficiência por *campus* 2017



CAANG: *Campus* de Angical; CACOC: *Campus* de Cocal; CAFLO: *Campus* de Floriano; CTZS: *Campus* Teresina Zona Sul; CAVAL: *Campus* de Valença do Piauí; CAPEDEII: *Campus* de Pedro II; CAPIC: *Campus* de Piriipiri; CACOR: *Campus* de Corrente; CAPAR: *Campus* de Parnaíba; CAOEI: *Campus* de Oeiras; CAPAU: *Campus* de Paulistana; CAPIR: *Campus* de Piriipiri; CAURU: *Campus* de Uruçui; CASRN: *Campus* de São Raimundo Nonato; CASJP: *Campus* de São João do Piauí; CACAM: *Campus* de Campo Maior.

Figura 9 – Ranking dos *campi* com base nos índices de eficiência energética relativa e na fronteira invertida da análise envoltória de dados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do método dedutivo, esta pesquisa comprovou as conclusões previamente induzidas que afirmavam que o IFPI não está gerenciando corretamente o uso de energia elétrica, uma vez que 4,3% do valor pago para a concessionária de energia local, no período de julho de 2016 a junho de 2017, é composto de perdas que totalizam um valor maior que todo o valor gasto individualmente com energia elétrica em oito dos 17 *campi* da instituição e poderiam ser facilmente evitadas com a atuação de um sistema de gestão energética. Entretanto, pôde-se comprovar que o desenvolvimento de pesquisas na área de eficiência energética pode trazer impactos positivos para a gestão do uso de energia em IES.

Faturas de energia elétrica podem ser utilizadas no diagnóstico energético de IES *multicampi*, permitindo a identificação de centros de custo (perdas evitáveis, custos gerenciáveis e outros) e destacando os *campi* que possuem as maiores e as menores contribuições para essas despesas. Além disso, conforme pôde ser visto nas Figuras 2 e 3, as composições percentuais dos custos em todos os *campi* podem direcionar prioridades de investimentos em projetos de eficiência energética quanto ao objeto e ao *campus* onde o projeto deve ser executado, priorizando o maior benefício para a instituição.

Uma matriz de indicadores ambientais utilizando o modelo PSR pode ser elaborada para caracterizar todos os *campi* das IES (Tabela 1), possibilitando, por meio da estatística multivariada, o agrupamento dos *campi* semelhantes e a elaboração de índices que representem

os insumos e os produtos (ensino e de uso de energia, respectivamente) que podem ser utilizados em uma análise de produtividade e eficiência, sobretudo no uso da energia, conforme a metodologia apresentada. Ainda utilizando esses dados, os modelos tradicionais da DEA (CCR e BCC) podem ser utilizados para a determinação de índices, níveis e *rankings* de EER em nível geral e para os agrupamentos (Figura 6), além de metas para a redução do consumo e demanda e energia ou aumento dos indicadores de ensino em IES *multicampi*, que devem ser estimuladas simultaneamente (Tabela 2).

Utilizando o *benchmarking*, pode-se utilizar essa metodologia para ranquear os *campi* das IES (Figura 9) e monitorar o uso da energia em vários ciclos de medição, estimulando a melhoria contínua desse aspecto ambiental (Figura 7), objetivo principal de um sistema de gestão energética, além de contribuir para a Agenda 2030. Espera-se que os resultados desta pesquisa também tenham impactos positivos no desempenho ambiental das IES e promovam a sensibilização da comunidade acadêmica às questões ambientais, tendo em vista que o uso de energia é somente um dos aspectos ambientais gerenciáveis, estimulando o desenvolvimento das IES como espaços educadores sustentáveis.

Ademais, pretende-se estimular a introdução de outras instituições nos estudos para que a metodologia proposta possa ser utilizada como referência de *benchmarking* na gestão energética de todas as IES. E, por fim, dada a flexibilidade das técnicas sugeridas, espera-se, ainda, que essa estratégia seja aplicável a outras organizações *multisite* e a outros aspectos ambientais.

REFERÊNCIAS

- ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G. ISYDS – *Integrated System for Decision Support (SIAD – Sistema Integrado de Apoio à Decisão)*: a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional*, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382005000300011>
- AVELAR, S.; VASCONCELOS, C.; MANSUR, K.; ANJOS, S.; VASCONCELOS, G. Targeting Sustainability Issues at Geosites: a Study in Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. *Geoheritage*, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s12371-016-0212-1>
- BAKAR, N. N. A.; HASSAN, M. Y.; ABDULLAH, H.; RAHMAN, H. A.; ABDULLAH, M. P.; HUSSIN, F.; BANDI, M. Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 44, p. 1-11, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.018>

- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W.; SWARTS, J.; THOMAS, D. A. An Introduction to Data Envelopment Analysis with Some of its Models and Their Uses. In: CHAN, J. L.; PATTON, J. M. (Orgs.). *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*, v. 5, p. 125-163, 1989.
- BOFF, L. *Sustentabilidade: o que é – o que não é*. Petrópolis: Vozes, 2017.
- BRAMBILA, A.; FLOMBAUM, P. Comparison of environmental indicator sets using a unified indicator classification framework. *Ecological Indicators*, v. 83, p. 96-102, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.023>
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. *REUNI: Expansão*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura, 2010. Disponível em: <http://reuni.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=81>. Acesso em: 9 nov. 2016.
- BRUNDTLAND, G. H. *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press, 1987.
- CABELLO, J.; NAVARRO-JURADO, E.; RODRÍGUEZ, B.; THIEL-ELLUL, D.; RUIZ, F. Dual weak-strong sustainability synthetic indicators using a double reference point scheme: the case of Andalucía, Spain. *Operational Research*, p. 1-26, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s12351-018-0390-5>
- CENTRO DE PESQUISA ENERGÉTICA (CEPEL). *Guia para eficientização energética nas edificações públicas*. Versão 1. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- CHEN, Y.; LIU, B.; SHEN, Y.; WANG, X. The energy efficiency of China's regional construction industry based on the three-stage DEA model and the DEA-DA model. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 20, n. 1, p. 34-47, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0553-3>
- DARAIO, C.; KERSTENS, K.; NEPOMUCENO, T.; SICKLES, R. C. Productivity and Efficiency Analysis Software: An Exploratory Bibliographical Survey of the Options. *IÉSEG Working Paper Series*, v. 5, 2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Brazilian Energy Balance*. Brasília: EPE, 2017.
- EMROUZNEJAD, A.; YANG, G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 61, p. 4-8, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
- ENTANI, T.; MAEDA, Y.; TANAKA, H. Dual models of interval DEA and its extensions to interval data. *European Journal of Operational Research*, v. 136, n. 1, p. 32-45, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00055-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00055-8)
- FERREIRA, R. F. Sustentabilidade: o empoderamento social e a educação ambiental em uma perspectiva Soft Law. In: FERREIRA, R. F.; JESUS JÚNIOR, G. (Orgs.) *Direito Ambiental: Diálogos interdisciplinares*. Itabuna: A5, 2016.
- FLORES, S. S.; MEDEIROS, R. M. V. A dimensão territorial da sustentabilidade. In: SAQUET, M. A. (Org.). *Estudos territoriais na ciência geográfica*. São Paulo: Outras Expressões, 2013.
- HÁK, T.; JANOUSKOVÁ, S.; MOLDAN, B. Sustainable Development Goals: a need for relevant indicators. *Ecological Indicators*, v. 60, p. 565-573, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.003>
- HAN, Y.; WEI, F.; YE, G.; YANG, S.; MA, P.; HU, W. A study on evaluation the marine carrying capacity in Guangxi Province, China. *Marine Policy*, v. 91, p. 66-74, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.02.003>

HUANG, H.; CHEN, X.; ZHU, Z.; XIE, Y.; LIU, L.; WANG, X.; WANG, X.; LIU, K. The changing pattern of urban flooding in Guangzhou, China. *Science of the Total Environment*, v. 622-623, p. 394-401, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.358>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *World Energy Outlook 2017*. Paris: IEA, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). *Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012*. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.

_____. *Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010*. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010.

Ji, Y.; LEE, K. Data Envelopment Analysis. *The Stata Journal*, v. 10, n. 2, p. 267-280, 2010.

KILKIS, S. Composite index for benchmarking local energy systems of Mediterranean port cities. *Energy*, v. 92, parte 3, p. 622-638, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.06.093>

LIAO, C.; YUE, Y.; WANG, K.; FENSHOLT, R.; TONG, X.; BRANDT, M. Ecological restoration enhances ecosystem health in the karst regions of southwest China. *Ecological Indicators*, v. 90, p. 416-425, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.036>

LIU, X.; LIU, H.; CHEN, J.; LIU, T.; DENG, Z. Evaluating the sustainability of marine industrial parks based on the DPSIR framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 188, p. 158-170, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.271>

MANLY, B. J. F. *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MARDANI, A.; ZAVADSKAS, E. K.; STREIMIKIENE, D.; JUSOH, A.; KHOSHNOUDI, M. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 70, n. c, p. 1298-1322, 2017.

MELO, A. P.; CÓSTOLA, D.; LAMBERTS, R.; HENSEN, J. L. M. Assessing the Accuracy of a Simplified Building Energy Simulation Model using Bestest: The case study of Brazilian Regulation. *Energy and Buildings*, v. 45, p. 219-228, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.007>

NEZ, E. Os dilemas da Gestão de Universidades Multicampi no Brasil. *Revista Gestão Universitária na América Latina*, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 131-153, 2016. <https://doi.org/10.5007/1983-4535.2016v9n2p131>

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Environmental indicators Development, Measurement and Use*. Paris: OECD, 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Plataforma Agenda 2030: acelerando as transformações para a Agenda 2030 no Brasil*. Nova York: ONU, 2015a. Disponível em: <<http://www.agenda2030.com.br>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

_____. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Nova York: ONU, 2015b.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; VELÁZQUEZ, D. Revisiting energy efficiency fundamentals. *Energy Efficiency*, Sevilha, v. 6, n. 2, p. 239-254, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12053-012-9180-8>

RACINE, J. S. RStudio: A Platform-Independent IDE for R and Sweave. *Journal of Applied Econometrics*, v. 27, n. 1, p. 167-172, 2012. <https://doi.org/10.1002/jae.1278>

RÊGO, V. R. *100 Fatos de uma escola centenária*. Teresina: IFPI, 2015.

SENNA, A. J. T.; ALVES, R. R.; SANTOS, N. R. Z.; COSTA, F. L. Determinação do índice de risco ambiental das instalações de uma unidade de uma instituição federal multicampi de ensino superior. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital*, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 555-565, 2014. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117012651>

SILVA, O. A. V. O. L.; BARBOSA, F. R.; SANTOS, F. F. P. *Viabilidade técnico-econômica da eficiência energética em edificações*. Curitiba: Prismas, 2017.

SILVA, O. A. V. O. L.; MORAIS, F. H. M.; LEITE, C. S.; CARDOSO, J. R. A.; SOUSA, W. V. C. Use of Energy Bills for Energy Management in Multicampi Universities. *Revista Espacios*, Caracas, v. 38, n. 12, p. 20, 2017.

SILVA, O. A. V. O. L.; SANTOS, F. F. P.; BARBOSA, F. R.; LEITE, C. S. Electricity Use Management based on International Protocol: A proposal for UFPI, Brazil. *Revista Espacios*, Caracas, v. 37, n. 11, p. 26, 2016.

SILVA, O. A. V. O. L.; SANTOS, F. F. P.; BARBOSA, F. R.; LEITE, C. S. Etiqueta de Edificações Comerciais, Públicas e de Serviços: Um retrato da (in)eficácia do programa no Piauí. *Carta CEPRO*, Teresina, v. 27, p. 43-54, 2015.

SUNDIN, E.; NÄSSLANDER, E.; LELAH, A. Sustainability Indicators for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) in the Transition to Provide Product-Service Systems (PSS). *Procedia CIRP*, v. 30, p. 149-154, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.155>

WANG, X.; LI, Z.; MENG, H.; WU, J. Identification of key energy efficiency drivers through global city benchmarking: A data driven approach. *Applied Energy*, v. 190, p. 18-28, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.111>

WONG, I. L.; KRÜGER, E. Comparing energy efficiency labelling systems in the EU and Brazil: Implications, challenges, barriers and opportunities. *Energy Policy*, v. 109, p. 310-323, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.005>

YAMADA, Y.; MATUI, T.; SUGIYAMA, M. New analysis of efficiency based on DEA. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, v. 37, n. 2, p. 158-167, 1994.

