

# Priorização de ações de eficiência energética para redes de hipermercados via análise multicritério

## RESUMO

**Fábio José Ricardo**

[fabio.ricardo@prointe.com.br](mailto:fabio.ricardo@prointe.com.br)

Instituto Lactec, Curitiba, Paraná, Brasil

**Lucio de Medeiros**

[lucio.medeiros@lactec.org.br](mailto:lucio.medeiros@lactec.org.br)

Instituto Lactec, Curitiba, Paraná, Brasil

**Cresencio Silvio S. Salas**

[silvio.salas@lactec.org.br](mailto:silvio.salas@lactec.org.br)

Instituto Lactec, Curitiba, Paraná, Brasil

Eficiência energética passou a ser um item de total importância no meio das organizações e foco de implantação para melhoria constante, especialmente em empresas que possuem seus processos de produção e/ou produto final comercializado com uma grande fatia dependente de equipamentos e máquinas ligados à energia elétrica, como o setor de hipermercados, em que a despesa com energia elétrica em uma planta tem grande representatividade nos custos. Este artigo apresenta uma metodologia criada para identificar e ranquear as lojas de uma rede de varejo de hipermercados, ligada ao setor de comercialização de alimentos, considerando critérios de eficiência energética, direta ou indiretamente, através da análise multicritério com a técnica AHP (Analytic Hierarchy Process). Os critérios de escolha categorizados em quantitativos e qualitativos abordam aspectos como contas de energia, temperatura média externa, dentre outros. Para as lojas menos eficientes os resultados permitem fornecer suporte necessário para a implantação de ações de melhorias, como substituição de equipamentos, reformas de áreas, troca de iluminação, etc., por sistemas mais eficientes, bem como a redução de multas por não conformidades com fatores de energia determinados pela ANEEL, como baixo fator de potência. O estudo de caso para se validar a metodologia foi desenvolvido em uma rede de hipermercados considerando 120 lojas em todo o território nacional. O ranking final, obtido pela aplicação do modelo, aponta as lojas que possuem maior ou menor índice para apoio decisório e priorização de ações de eficiência energética. Uma análise dos resultados é realizada e cita os fatores que estão ligados à eficiência energética, como, por exemplo, consumo de energia, multas por baixo fator de potência ou até mesmo a má qualidade de prestação dos serviços técnicos e que podem, isoladamente ou em conjunto, levar a loja a ter uma boa ou má colocação no ranking final.

**PALAVRAS-CHAVE:** Revista. Artigos. Formatação. Eficiência energética. *Analytic Hierarchy Process* (AHP); Hipermercados; Tomada de decisão multicritério.

## INTRODUÇÃO

Os sistemas de energia elétrica estão sofrendo constantes e grandes transformações devido a várias questões, como a modernidade de equipamentos, avanço de tecnologia, necessidade de atendimento às demandas industriais, gerando uma preocupação com os fatores climáticos, o meio ambiente e, não menos importante, a maior confiabilidade no fornecimento de energia elétrica interna aos consumidores. Além disso, um sistema pouco eficiente, em termos de eficiência energética, influi diretamente no preço final da fabricação e/ou comercialização de um produto, fato este que leva os grandes consumidores, principalmente, à busca contínua de melhorias para que a eficiência de sua rede aumente. O Brasil possui um consumo de energia per capita por volta de 1,42 tep/hab., quase igual à média do mundo (GAMA et al., 2001); como particularidade, no Brasil, aproximadamente 47% da energia gasta é ligada a fontes renováveis. Entre todos os custos gerenciáveis de uma empresa, a gestão da energia vem assumindo uma posição de importância dentro dos estudos de eficiência, (PROCEL, 2007). A primeira lei de eficiência energética do Brasil foi aprovada em 2001, quando o Governo Federal publicou a Lei n.º 10.295 (BRASIL, 2001a), sobre o uso racional da energia, indicando a necessidade da criação de indicadores técnicos referenciais do consumo e da eficiência de edificações.

No varejo de alimentos, a questão de energia elétrica é um tema de extrema importância, pois grande parte da concentração das cargas está voltada ao sistema de ar-condicionado e frio alimentar, cerca de 70%, ficando os demais 30% para circuitos de iluminação das áreas de venda e demais equipamentos. Além disso, outros critérios influem diretamente no consumo e conta final de energia de uma loja tais como, falta de gestão em contrato de demandas, equipamentos obsoletos com baixa eficiência, baixo fator de potência e a falta de retrofit nas instalações, ou até mesmo indiretamente como a qualidade da prestação de serviços de manutenção, temperatura externa (localização da loja) dentre outros fatores. O Brasil conta hoje com várias redes de hipermercados, porém apenas três delas operam com mais de 400 unidades. Estima-se que exista um desperdício de milhões de reais ao ano nas redes de varejo de hipermercados e supermercados no Brasil ligadas à falta ou ineficiente de gestão. A Tabela 1 apresenta os dados de relatório financeiro das quatro maiores redes de varejo no Brasil em que se observa o número de lojas e o seu faturamento. Observa-se que economias consideráveis podem ser obtidas através da análise dos dados disponibilizáveis pelas áreas operativas e de manutenção.

Tabela 1: Faturamento bruto varejo 2014

Rede	Faturamento bruto 2014 (R\$ bilhões)	Crescimento 2013-2014	Nº de lojas	R\$ / loja (milhões)
Carrefour	37,93	8,37%	258	147,02
Multivarejo	37,66	8,34%	1.112	33,87
Walmart Brasil	29,65	4,39%	544	54,50
Grupo Martins	6,97	16,71%	955	7,30

Fonte: Adaptado do relatório 2015 da SBVC – Sociedade Brasileira de Varejo e Consumo

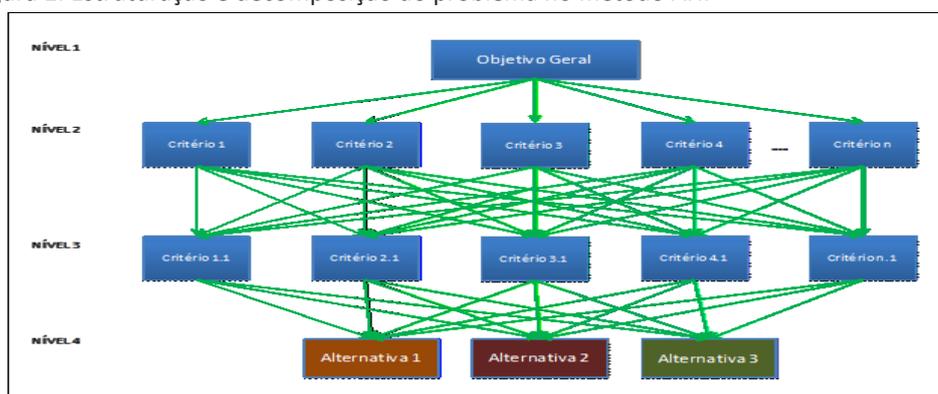
Com foco neste problema este trabalho apresenta uma metodologia para analisar os critérios tanto quantitativos como qualitativos que influenciam no desempenho de uma rede de varejo através da aplicação de técnica de análise multicritério AHP. Destaca-se a complexidade de resolver este problema onde as variáveis são de múltiplas dimensões e grandezas. A aplicação da análise multicritério oferece a possibilidade de desdobrar o problema em pares que podem ser analisadas mediante a comparação paritária e nas mesmas dimensões em escala bem definida.

## INTRODUÇÃO À TÉCNICA AHP

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido na década de 70 por Thomas L. Saaty com o objetivo de apoiar decisões que possuem múltiplos critérios de escolha. A técnica baseia-se na tomada de decisões através da análise dos critérios de comparações em pares, refletindo o método natural de pensamento da mente humana. O problema vai sendo estratificado em camadas, níveis hierárquicos, e a análise é feita em pares segundo estes níveis, agrupando em grupos segundo as propriedades comuns (SAATY, 1991). É necessário que sejam executados quatro passos para a aplicação deste método, sendo: Estruturação ou decomposição do problema, Realização de julgamento, Cálculo dos autovalores e autovetores e Análise dos resultados obtidos. No primeiro nível hierárquico está representado o objetivo do problema, no nível mais baixo (ou último nível), as alternativas e nos níveis intermediários estão alocados os critérios a serem analisados. A Figura 1 demonstra um problema estruturado na técnica AHP, em 4 níveis.

Como os valores dos julgamentos das comparações em pares são baseados na intuição, experiência e também podem estar baseados em dados físicos, o método AHP pode lidar tanto com aspectos qualitativos quanto quantitativos de um problema em que se envolva múltipla decisão (SAATY, 1991). O AHP traz quatro premissas (VARGAS, 1990):

Figura 1: Estruturação e decomposição do problema no método AHP



Fonte: Autoria própria (2015)

(1º) Comparação recíproca: o tomador de decisão deve ser capaz de fazer comparações e declarar a força de suas preferências. A intensidade destas preferências deve satisfazer à condição recíproca: se “A” é X vezes mais preferido que “B”, então B é 1/X vezes da preferência de “A”; (2º) Homogeneidade: as

preferências são representadas por meio de uma escala definida; (3º) Independência: quando se expressam preferências, critérios para avaliação da melhor solução são assumidos, independentemente das alternativas existentes para solução do problema; (4º) Expectativa/Perspectiva: para os propósitos de tomar uma decisão, a estrutura hierárquica é considerada como sendo completa. Para utilização do método, é necessária a inserção de uma escala de avaliação conforme demonstrada no Quadro 1 (SAATY, 1991). A escala vai de 1 a 9, sendo 1 a indiferença de importância existente entre um critério e outro (menor grau de importância) e 9 significando a extrema importância de um critério sobre o outro, com estágios intermediários entre eles de grau 3, 5 e 7.

Quadro 1: Escala fundamental de SAATY

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quanto se procura uma condição de compromisso entre duas definições
Recíprocos dos valores acima de zero	Se as atividade "i" recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade "j", então "j" tem o valor recíproco quando comparada com a "i"	Uma designação razoável
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz

Fonte: SAATY (1991)

A Tabela 2 exemplifica a metodologia aplicando a escala de Saaty, atribuindo-se valores quaisquer para demonstração do método.

Tabela 2: Exemplo de aplicação de SAATY

Produto	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	1	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Fonte: Adaptado de SAATY (1991)

Um dos passos de cálculo no processo AHP, e de importante validação, está na determinação do índice de consistência e da taxa de coerência entre os critérios da matriz prioridade. Sejam os critérios quantitativos ou qualitativos, a consistência perfeita da matriz de julgamento é – especialmente quando o número de critérios envolvidos é elevado – praticamente improvável (SCHAUBENBURG, 2014). Um desvio do índice de consistência pode levar a resultados inconsistentes nos números finais do projeto ou indicar a existência de viés no mesmo. O cálculo do índice de consistência (I. C.) é dado pela Equação (1).

$$I. C. = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad 1)$$

I. C. = Índice de Consistência

n = número de critérios

O cálculo de  $\lambda_{\text{máx}}$  é obtido, de forma simplificada, através da soma do produto entre os valores totais das respectivas colunas da Matriz Comparativa dos Critérios e da Matriz Comparativa dos Critérios Normalizado, ou seja, na matriz comparativa dos critérios e na matriz comparativa dos critérios normalizados, obtém-se a soma de cada coluna, referente a cada critério, após os resultados das somas são multiplicados entre si, relacionando cada critério, por fim os resultados dos produtos obtidos no item anterior são somados e tem-se o valor final de  $\lambda_{\text{máx}}$ . O cálculo da taxa de coerência (T. C.) é dado pela Equação (2). Os valores da taxa de coerência devem estar preferencialmente abaixo de 10% e podem ser aceitáveis até 20%, indicando que não existe viés nos cálculos ou, em outras palavras, que está havendo coerência entre as notas atribuídas a cada critério (PADOVANI, 2007).

$$T. C. = \frac{I. C.}{I. C. \text{ Médio}} \quad 2)$$

I. C. = Índice de Consistência

I. C. Médio = Índice de Consistência Médio

O valor de I. C. Médio é obtido, correlacionando o valor  $\lambda_{\text{máx}}$  calculado com os valores da escala, conforme Tabela 3:

Tabela 3: IC Médio de acordo com os valores

<b>Elementos <math>\lambda</math></b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
IC médio	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41
<b>Elementos <math>\lambda</math></b>	<b>-</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
IC médio	-	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,56

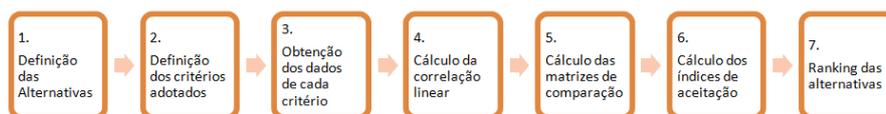
Fonte: Adaptado de SAATY (1980)

## METODOLOGIA PROPOSTA

A Figura 2 demonstra as etapas macro que compõem a metodologia utilizada.

A etapa 1, consiste na definição das alternativas a serem consideradas, que podem ser compostas por um grupo de lojas de hipermercados presentes em um ou mais estados. As lojas devem ser homogêneas em questão de configurações e existência de equipamentos como refrigeração e ar-condicionado, para que possam ser comparadas entre si dentro da metodologia adotada.

Figura 2: Fluxograma das etapas do método utilizado



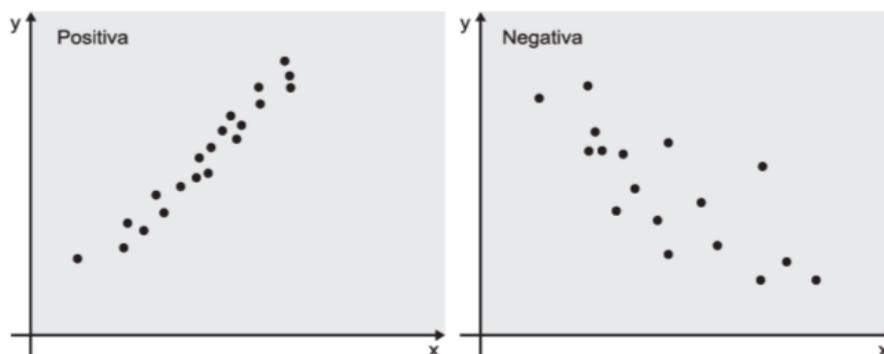
Fonte: Autoria própria (2015)

As alternativas devem possibilitar que sejam extraídos os dados suficientes, conforme demais critérios adotados, para a composição dos cálculos. Na etapa 2, após a definição das lojas, critérios foram adotados considerando itens de maior importância que devem ser levados em consideração para os cálculos, tais como, por exemplo, consumo de energia elétrica, área de lojas, multas por baixo fator de potência, ou seja, itens que impactam diretamente na eficiência energética das alternativas escolhidas. A definição dos critérios passa pela análise de variáveis que estão ligadas diretamente com o consumo de energia elétrica ou com o produto final comercializado. Pode-se considerar, também, outros critérios relacionados indiretamente ao consumo de energia elétrica, mas que são importantes para ações de eficiência energética. Neste caso, podem-se citar as despesas com manutenção preventiva e corretiva. É possível, também, na intenção de avaliar os serviços técnicos prestados por terceiros, considerar variáveis qualitativas como critérios a serem adotados.

Na etapa 3 foram obtidos os dados de cada critério definido na etapa anterior. Podem existir, nesta etapa, algumas dificuldades para obtenção dos dados que compõem cada critério, dependendo quais sejam. Por exemplo, a obtenção de dados financeiros separados por ações preventivas e corretivas, pois estes dados podem se apresentar de forma conjunta; dados de temperatura, por não haver estações meteorológicas em todas as localidades onde estão localizadas as lojas que compõem as alternativas – ou existam, porém com histórico insuficiente. Além disso, nem todas as estações possuem leituras em todos os meses do período, necessitando um tratamento inicial nos dados climáticos.

Sequencialmente, a etapa 4, fez-se a correção de Pearson. Os testes de correlação entre duas ou mais variáveis possuem a função de correlacioná-las ou verificar o quanto uma está relacionada diretamente com a outra. Alguns métodos precisam que as variáveis estejam diretamente relacionadas enquanto outros não. No caso do método AHP deve ser garantida a independência entre os critérios. Esse fato pode ser verificado considerando, por exemplo, que não há linearidade entre os critérios em análise. Portanto, caso duas variáveis possuam essa dependência, apenas uma delas pode continuar no processo do método AHP. Um dos métodos utilizados para esta verificação é a determinação do “r” de Pearson, efetuando-se o comparativo em pares da amostra estudada (RIBEIRO, 2010). Duas variáveis possuem uma correlação linear quando os pontos do diagrama de dispersão se aproximam de uma reta. Os valores se aproximam de -1 (quando há correlação negativa perfeita entre duas variáveis) e 1 (quando há correlação positiva perfeita entre elas) (FERREIRA, 2013). Quando o coeficiente calculado se aproxima do valor “0” (zero), significa uma fraca correlação linear entre as duas variáveis (TOGNON, 2011). A FIGURA 3 relaciona as tendências positiva e negativa de correlação.

Figura 3: Correlações lineares positivas e negativas



Fonte: Ferreira (2013)

O cálculo de Pearson dá-se pela Equação (3), onde x e y correspondem aos pares da amostra que estão sendo correlacionados.

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad 3)$$

r - Coeficiente da correlação linear de Karl Pearson;

n - Número de pares presentes.

Na etapa 5, comparação paritária por níveis hierárquicos, fez-se o cálculo comparativo entre: os critérios por níveis hierárquicos, iniciando desde níveis mais inferiores e as alternativas ou lojas em relação a cada critério adotado. No primeiro comparativo é necessária a realização de uma pesquisa interna com integrantes de áreas da empresa para se atribuir os pesos de cada critério. Logo após, na etapa 6, calculam-se os índices de aceitação: o índice de consistência (IC) e a taxa de coerência (TC), de acordo com a modelagem AHP apresentadas nas equações (1) e (2), respectivamente.

Por fim, na etapa 7, é executado o ranqueamento das alternativas e a análise dos resultados. É importante que nesta etapa seja observada a coerência dos resultados. Quando o método é aplicado em um número elevado de alternativas esta análise de resultados se torna complexa, requerendo muita atenção dos tomadores de decisão. Não menos importante é verificar a coerência e sentido da estrutura linguística utilizada na comparação paritária dos critérios quando os mesmos resultam de cálculos para as alternativas. A utilização da função inversa pode ser de utilidade para manter uma mesma estrutura linguística.

### APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Um estudo de caso para demonstrar a aplicabilidade do método proposto é realizado utilizando-se os dados de uma empresa do ramo de varejo do setor de alimentos, com presença em vários estados brasileiros. A metodologia é seguida passo a passo por fins didáticos.

Foram definidas, na primeira etapa de validação, as alternativas da empresa objeto de estudo. Considerou-se apenas unidades de hipermercados, em um total de 120 amostras (lojas), pertencentes à rede, descartando neste momento as demais lojas. As lojas estão numeradas aleatoriamente, não obedecendo necessariamente à localização geográfica, índices de consumo, etc., para que os resultados não sejam direcionados a nenhuma loja da lista durante o processo de atribuição das notas e, também, são nomeadas como Loja 1 a Loja 120 aleatoriamente. Após, como segunda etapa, foram definidos os 7 para a modelagem AHP e ranking final das lojas, conforme o Quadro 2. Os critérios estão relacionados com a eficiência energética de cada loja de acordo com as notas atribuídas, conforme tabela Saaty ou calculadas na escala de 1 a 9 sendo a maior nota atribuída à loja que possui os valores relacionados com a maior eficiência energética e a menor nota, inversamente, à loja que possui relação com a menor eficiência energética.

Quadro 2: Critérios adotados na modelagem

Item	Critério	Nota / peso	Descrição do critério	Premissa adotada do critério
1	kWh / m <sup>2</sup> / temperatura (°C)	Menor valor = maior peso (9)	Consumo em kWh, no período, equivalente ao tamanho da loja, pela temperatura média da região	Quanto menor o consumo em kWh dividido pelo m <sup>2</sup> do salão de vendas dividido pela temperatura média, maior será a eficiência energética da loja (considerando horário fora de ponta)
2	Baixo fator de potência	Menor valor = maior peso (9)	Multa por baixo fator de potência no período	Quanto menor a multa acumulada em R\$ por baixo fator de potência, maior será a eficiência energética da loja
3	Despesas com manutenção preventiva /	Menor valor = menor peso (1)	Despesas com manutenção preventiva / m <sup>2</sup>	Quanto menor o investimento em manutenção preventiva ocorrido na loja, menor a

	m <sup>2</sup>			eficiência energética
4	Despesas com manutenção corretiva / m <sup>2</sup>	Menor valor = maior peso (9)	Despesas com manutenção corretiva / m <sup>2</sup>	Quanto menor o investimento em manutenção corretiva ocorrido na loja, maior a eficiência energética
5	Tempo da última reforma	Menor valor = maior peso (9)	Tempo em “anos” que ocorreu a última reforma	Quanto menor o tempo de reforma ocorrida na loja, maior a eficiência energética
6	Idade da loja	Menor valor = maior peso (9)	Tempo em “anos” de existência da loja, desde a inauguração	Quanto menor o tempo de existência da loja, maior a eficiência energética
7	Qualidade do serviço técnico	Menor valor = menor peso (1)	Relação de mão de obra terceirizada com a manutenção	Quanto melhor considerada a mão de obra terceirizada (maior nota adotada), melhor será a eficiência energética

Fonte: Autoria própria (2015)

Na etapa 3, foram obtidos os dados pertinentes de cada critério adotado: para o critério 1, os dados de consumo foram obtidos através das contas de energia de cada loja, a partir de janeiro de 2014. Os dados de metragem de cada loja foram obtidos através do sistema de gestão da loja, com acesso aos projetos existentes e planilhas de controle da área de engenharia. Para obtenção dos dados de temperatura, utilizou-se a base de dados constante no INMET – Instituto Nacional de Meteorologia considerando as cidades que possuem as estações de medição e que realizaram as mesmas no ano de 2014, descartando as demais regiões. Em caso de não existência de medição na cidade da loja, adotou-se os dados da estação mais próxima. Os dados do critério 2 também foram obtidos em base das contas de energia de cada loja, a partir de janeiro de 2014. Para os critérios 3 a 6, utilizou-se a base de dados de controle da empresa do estudo de caso, obtendo-se os dados de despesas com manutenção preventiva e corretiva, tempo da última reforma de cada loja bem como a idade ou tempo de inauguração. Para o critério 7, os dados foram atribuídos, em base da tabela Saaty, por um dos gerentes de manutenção da empresa estudo de caso, de acordo com a percepção interna referente as empresas prestadoras de serviços interligados à manutenção.

Na etapa 4, foi realizado o cálculo da correção de Pearson foi aplicado aos dados das 120 lojas, referente ao período de 2014, considerando os critérios de 1 a 7. Os seis primeiros critérios adotados representam valores quantitativos. O sétimo critério é um critério qualitativo, onde se adotou a escala de Saaty. A Tabela 4 apresenta os coeficientes de correlação linear de Pearson, sendo que não foram constatadas correlações fortes entre os critérios. Todos os coeficientes ficaram abaixo de 0,40, indicando que não há uma alta correlação entre os critérios. Assim justifica-se a aplicação destes dados na metodologia AHP.

Tabela 4: Coeficientes de correlação linear de Pearson

	kWh / m <sup>2</sup> / temp. média (°C)	Multa baixo F.P.	R\$ manut. Preventiva	R\$ manut. Corretiva	Tempo da última reforma	Idade da loja	Qualidade serviço técnico
kWh / m <sup>2</sup> / t. média (°C)	1,000						
Multa baixo F.P.	-0,026	1,000					
R\$ manut. Preventiva	0,026	-	1,000				
R\$ manut. Corretiva	0,125	0,019	0,209	1,000			
Tempo da última reforma	0,283	0,090	0,093	0,192	1,000		
Idade da loja	0,086	0,016	-0,035	0,141	0,388	1,000	
Qual. serviço técnico	0,102	-	-0,238	0,077	0,097	0,251	1,000
		0,128					

Fonte: Autoria própria (2015)

O cálculo das matrizes de comparação foi realizado na etapa 5, considerando os dados das 120 alternativas, referentes aos critérios adotados neste modelo, bem como as matrizes comparativas de cada loja para todos os critérios determinados, estão disponíveis no seguinte endereço: <http://1drv.ms/240liOU>. Cada alternativa ou loja recebeu um peso, relacionado com a escala de 1 a 9, referente a cada critério. Exemplificando, a Tabela 5 mostra a comparação dos valores relacionados com a escala de 1 a 9, para seis lojas do estudo, com relação aos 7 critérios adotados.

Tabela 5: Exemplo de correlação em 3 lojas para os 7 critérios

Critérios	Loja 001	Loja 002	Loja 003	Loja 004	Loja 005	Loja 006
1-kWh/m <sup>2</sup> /t. média (°C)	2,388	3,667	4,810	4,875	4,347	4,503
2-Multa baixo F.P.	8,713	1,000	4,9000	5,353	8,898	6,052
3-R\$ manut. Preventiva	1,509	3,786	3,675	2,715	3,377	4,184
4-R\$ manut. Corretiva	8,296	6,368	7,148	6,548	6,803	6,974
5-Tempo da últ. reforma	7,625	7,625	7,763	7,761	7,761	8,837
6-Idade da loja	8,002	8,002	8,103	8,102	8,102	8,103
7-Qual. serviço técnico	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fonte: Autoria própria (2015)

Os critérios adotados são compostos em uma matriz de prioridade, determinando-se o grau de importância entre eles. Os pesos de grau de importância para cada critério estão relacionados na Tabela 6. O grau de importância do primeiro critério (kWh / m<sup>2</sup> / temperatura média (°C) – na vertical) para o segundo critério (baixo fator de potência – na horizontal), por exemplo, atribuído é de 3, ou seja, o primeiro critério possui importância 3 vezes maior do que o segundo critério; inversamente, o critério 2 (baixo fator de

potência – na vertical), possui 0,3333 (ou 1/3) grau de importância em relação ao primeiro critério (kWh / m<sup>2</sup> / temperatura média (°C) – na horizontal).

Tabela 6: Matriz de Avaliação dos Critérios Adotados

Critérios	kWh / m <sup>2</sup> / temp. média (°C)	Multa baixo F.P.	R\$ manut. Preventiva	R\$ manut. Corretiva	Tempo da última reforma	Idade da loja	Qualidade serviço técnico
kWh / m <sup>2</sup> / t. média (°C)	1,0000	3,0000	3,0000	7,0000	5,0000	5,0000	5,0000
Multa baixo F.P.	0,3333	1,0000	3,0000	5,0000	5,0000	3,0000	3,0000
R\$ manut. Preventiva	0,3333	0,3333	1,0000	3,0000	3,0000	3,0000	3,0000
R\$ manut. Corretiva	0,1429	0,2000	0,3333	1,0000	0,3333	1,0000	3,0000
Tempo da última reforma	0,2000	0,2000	0,3333	3,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Idade da loja	0,2000	0,3333	0,3333	3,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Qual. serviço técnico	0,2000	0,3333	0,3333	0,3333	1,0000	1,0000	1,0000

Fonte: Autoria própria (2015)

Após a determinação do grau de importância, os dados são normalizados, através da divisão de cada valor pela soma da coluna referente. Por exemplo, a soma dos itens da primeira coluna da Tabela 6 tem o valor de 2,4095.

Cada valor, ainda na Tabela 6, é dividido pela soma da coluna, originando-se os valores da Tabela 7.

Tabela 7: Matriz de Avaliação dos Critérios Adotados – Valores Normalizados

Soma das colunas →	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Critérios	kWh / m <sup>2</sup> / temp. média (°C)	Multa baixo F.P.	R\$ manut. Preventiva	R\$ manut. Corretiva	Tempo da última reforma	Idade da loja	Qualidade serviço técnico
kWh / m <sup>2</sup> / t. média (°C)	0,4150	0,5556	0,3600	0,3134	0,3061	0,3488	0,2941
Multa baixo F.P.	0,1383	0,1852	0,3600	0,2239	0,3061	0,2093	0,1765
R\$ manut. Preventiva	0,1383	0,0617	0,1200	0,1343	0,1837	0,2093	0,1765
R\$ manut. Corretiva	0,0593	0,0370	0,0400	0,0448	0,0204	0,0233	0,1765
Tempo da última reforma	0,0830	0,0370	0,0400	0,1343	0,0612	0,0698	0,0588
Idade da loja	0,0830	0,0617	0,0400	0,1343	0,0612	0,0698	0,0588

loja									
Qual. serviço técnico	0,0830	0,0617	0,0400	0,0149	0,0612	0,0698	0,0588		

Fonte: Autoria própria (2015)

Para cada um dos critérios adotados, foi criada uma matriz comparativa por loja, comparando-se cada uma das lojas entre si em relação a cada critério. É usual, nesta etapa, definir-se, para cada critério, uma escala de valores para a equivalência dos dados a serem pesquisados em cada critério, por exemplo, pode-se adotar uma escala igual à de Saaty, de 1 a 9, escalonando assim os valores dos dados encontrados dentro desta escala.

Para critérios qualitativos, como é o caso do critério de número 7, em que as notas são atribuídas pelos decisores, e não calculadas, usa-se normalmente a escala de Saaty diretamente, adotando-se os valores 1, 3, 5, 7, 9. Já para os critérios quantitativos, como é o caso dos critérios de 1 a 6, adotou-se a mesma escala, de 1 a 9, porém calculando-se os valores dentro desta, conforme cada critério. Desta forma, as notas poderão ter valores quebrados, desde que respeitem o valor mínimo, no caso 1, e o valor máximo, no caso 9.

Para um critério de despesas com corretivas / m<sup>2</sup>, por exemplo, atribuiu-se que a alternativa ou loja que possui o menor valor, dentro deste critério, possuirá o melhor índice de eficiência e, assim, deve receber a nota 9 na escala. Já a loja ou alternativa que possui o maior valor de despesa com corretivas / m<sup>2</sup>, possuirá a menor eficiência energética, recebendo assim a nota 1.

As demais alternativas, como estarão dentro destes dois valores (menor e maior) tiveram notas calculadas entre 9 e 1. Para cada um dos 7 critérios, montou-se uma matriz comparativa considerando as notas atribuídas aos respectivos critérios para cada uma das 120 lojas, dividindo-se os valores entre si. A Tabela 8 exemplifica o cálculo do Critério 1 para as lojas de 1 a 10.

Tabela 8: Exemplo comparativo de critérios nas lojas (Critério 1 X 10 lojas)

Critério 1	230,021	149,836	114,226	112,685	126,382	122,015	97,752	102,004	111,563	164,542
kWh / m <sup>2</sup> / t. média (°C)	Loja 001	Loja 002	Loja 003	Loja 004	Loja 005	Loja 006	Loja 007	Loja 008	Loja 009	Loja 010
Loja 001	1,000	0,651	0,497	0,490	0,549	0,530	0,425	0,443	0,485	0,715
Loja 002	1,535	1,000	0,762	0,752	0,843	0,814	0,652	0,681	0,745	1,098
Loja 003	2,014	1,312	1,000	,987	1,106	1,068	0,856	0,893	0,977	1,440
Loja 004	2,041	1,330	1,014	1,000	1,122	1,083	0,867	0,905	0,990	1,460
Loja 005	1,820	1,186	0,904	0,892	1,000	0,965	0,773	0,807	0,883	1,302
Loja 006	1,885	1,228	0,936	0,924	1,036	1,000	0,801	0,836	0,914	1,349
Loja 007	2,353	1,533	1,169	1,153	1,293	1,248	1,000	1,043	1,141	1,683
Loja 008	2,255	1,469	1,120	1,105	1,239	1,196	0,958	1,000	1,094	1,613
Loja 009	2,062	1,343	1,024	1,010	1,133	1,094	0,876	0,914	1,000	1,415
Loja 010	1,398	0,911	0,694	0,685	0,768	0,742	0,594	0,620	0,678	1,000

Fonte: Autoria própria (2015)

Cada matriz de cada alternativa foi normatizadas após os cálculos. Na fase final dos cálculos, obtém-se a pontuação de cada loja multiplicando os vetores

parametrizados para cada loja com o autovetor dos critérios gerais, através de produto escalar, conforme exemplo de cálculo para uma das alternativas na Figura 4.

Figura 4: Vetores Geral X Vetor Loja 1 (Critério 1)

Valor geral	x	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6	Critério 7
0,37044		0,00436	0,00880	0,00313	0,01015	0,00826	0,00963	0,00303
0,22847								
0,14626								
0,05732								
0,06917								
0,07270								
0,05564								

Fonte: Autoria própria (2015)

Após o cálculo das matrizes de comparação, na etapa 6, calculam-se os índices de aceitação: o índice de consistência (IC) e a taxa de coerência (TC), de acordo com a modelagem AHP. Assim foram obtidos os valores de  $\lambda_{\text{máx}} = 7,701$ , I. C. = 0,118 e T. C. = 8,92%. O resultado de T. C. abaixo dos 10% indica que os critérios adotados estão dentro dos índices aceitáveis da metodologia de Saaty (AHP) e que não existe viés nos cálculos ou a tendência de que um dos critérios esteja sendo responsável e/ou tenha maior peso na decisão final para ranking das lojas, de acordo com os critérios atribuídos.

Por fim, na etapa 7, após a aplicação dos cálculos através da metodologia AHP, utilizando-se os dados conforme critérios definidos, gerou-se um ranking das alternativas ou lojas da mais eficiente para a menos (Figura 5).

Figura 5: Ranking Final (exemplificado algumas lojas)

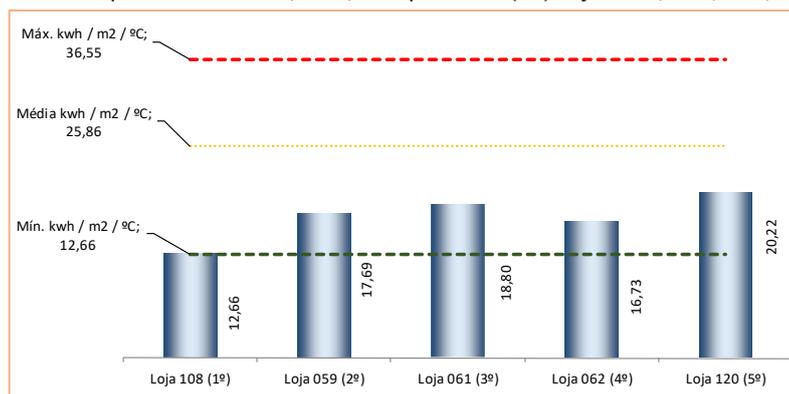
Loja	Est.	Coloc.	Pont.	Loja	Est.	Coloc.	Pont.	Loja	Est.	Coloc.	Pont.
Loja 108	PE	1º	0,011051	Loja 076	PR	41º	0,008863	Loja 028	DF	81º	0,007915
Loja 059	PE	2º	0,010889	Loja 041	MG	42º	0,008832	Loja 027	MG	82º	0,007912
Loja 061	PI	3º	0,010778	Loja 098	PR	43º	0,008758	Loja 042	RJ	83º	0,007830
Loja 062	PE	4º	0,010526	Loja 045	PE	44º	0,008755	Loja 029	SP	84º	0,007810
Loja 120	PR	5º	0,010487	Loja 116	SP	45º	0,008743	Loja 084	PR	85º	0,007783
Loja 105	SP	6º	0,010219	Loja 117	SP	46º	0,008692	Loja 023	MG	86º	0,007759
Loja 112	RJ	7º	0,010183	Loja 090	RS	47º	0,008683	Loja 006	SP	87º	0,007732

Fonte: Autoria própria (2015)

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados comparou primeiramente as lojas mais e menos classificadas pelos parâmetros de kWh / m<sup>2</sup> / temperatura média (°C), conforme Figura 6. As lojas classificadas com melhor eficiência energética estavam com os consumos por metro quadrado e pela temperatura média próximas aos menores valores comparado a todas as lojas, conforme esperava-se.

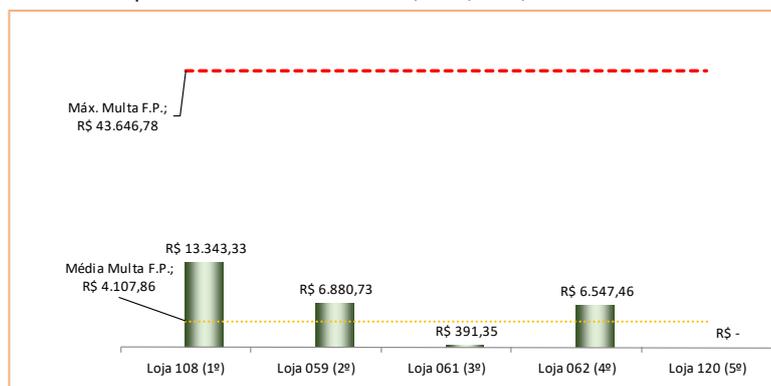
Figura 6: Exemplo Análise kWh / m<sup>2</sup> / temperatura (°C) Lojas 108, 059, 061, 062 e 120



Fonte: Autoria própria (2015)

Uma segunda comparação foi realizada pela multa por baixo fator de potência, as lojas com os menores valores de multas acumuladas por baixo fator de potência (acima da média das demais lojas), apareceram com a melhor classificação no ranking, conforme Figura 7.

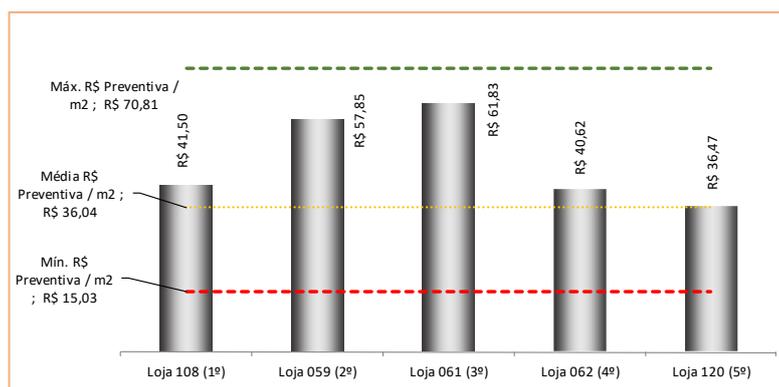
Figura 1 – Multa por baixo F.P. - LOJAS 068, 031, 066, 002 E 015



Fonte: Autoria própria (2015)

Espera-se também que os investimentos com preventiva / m<sup>2</sup> sejam sempre à favor da eficiência energética, pois equipamentos bem reparados preventivamente tendem a ter um decréscimo em consumos e, conseqüentemente, um decréscimo com despesas relativa à manutenção corretiva / m<sup>2</sup>. A Figura 8 demonstra que as lojas com maior histórico de manutenção preventiva obtiveram também as melhores classificações no ranking.

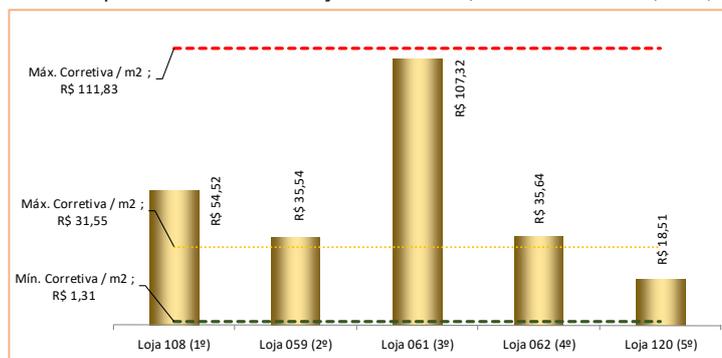
Figura 2 – Despesas com manutenção preventiva / m<sup>2</sup> - LOJAS 108, 059, 061, 062 E 120



Fonte: Autoria própria (2015)

Confirmando, as lojas que possuem equipamentos com melhor situação e com despesas menores de manutenção corretiva também obtiveram boas colocações no ranking final, conforme Figura 9.

Figura 3 – Despesas com manutenção corretiva / m2 - LOJAS 108, 059, 061, 062 E 120



Fonte: Autoria própria (2015)

Confirma-se assim que a eficiência energética pode ser medida aplicando-se a técnica AHP dentro dos parâmetros considerados como critérios, sejam eles diretamente relacionados a energia (como consumos por metro quadrado ou baixo fator de potência), sejam indiretos (como despesas com manutenção preventiva ou corretiva por metro quadrado) ou até com fatores intrínsecos como qualidade dos serviços prestados.

## CONCLUSÃO

A aplicação da modelagem AHP, com a determinação de critérios quantitativos e qualitativos propiciou um correto ranking das lojas em questão, considerando a loja com a tendência de maior índice de eficiência energética para a loja com o menor índice de eficiência. A listagem final indica as lojas que necessitam uma interferência mais urgente com relação a ações para melhorias como troca de equipamentos, reformas em áreas deficitárias, retrofit em setores essenciais, troca de iluminação, etc., sendo esta escolha não só baseada no calendário de reformas, conforme citado no início desta dissertação, mas com base no processo decisório. O processo permitiu o comparativo entre as lojas, através de critérios diferenciados e que comumente não são utilizados pelos gestores internos da rede na tomada de decisão, como, por exemplo, qualidade

do serviço técnico, critério qualitativo e que depende de direcionamento de notas através dos decisores participantes da montagem das matrizes. O modelo apresentado pode ser reajustado, considerando outros critérios que possam ser aplicados e estejam relacionados com a eficiência energética das lojas e/ou correlacionados com o interesse de melhorias internas à rede, sejam estes novos critérios quantitativos ou qualitativos.

# Prioritization of energy efficiency actions for hypermarket networks through multicriterary analysis

## ABSTRACT

This paper proposes a methodology to identify and to rank the stores of a hypermarket retail chain. The food trade is the business of these stores. The methodology formulates an assessment strategy based on energy efficiency criteria through Multi-criteria analysis with AHP method (Analytic Hierarchy Process). The proposed model considers qualitative and quantitative selection criteria, using generated data, for example, energy bills, average external temperature, maintenance costs, among others. The purpose is to provide necessary support for the implementation of improvement actions, such as replacing equipment with more efficient systems, reforms of systems and the reduction of penalties for non-compliance with power factors limits determined by ANEEL. A case study presented includes an evaluation of the methodology with 120 stores throughout the country. The application of the model developed based on multi-criteria analysis AHP provides a ranking of the industry's retail stores most in need of energy efficiency actions. We also carry out an analysis of some energy efficiency factors, such as the stores' energy consumption and energy bills, average external temperature, maintenance costs, among others, to weigh their influences on the final ranking.

**KEYWORDS:** Magazine. Articles. Formatting. energy efficiency; analytic hierarchy process (AHP); hypermarket; multicriteria decision.

## REFERÊNCIAS

ABRAVA. **Manual de Boas Práticas em Supermercados para Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado**. 44f. 2011. Ministério do Meio Ambiente; Associação Brasileira de Supermercados; Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/\\_publicacao/130\\_publicacao01042011121215.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_publicacao/130_publicacao01042011121215.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2015

BRASIL. Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. 2001a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/pdf/lei10295.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

CHUNG, W.; LAM, M.; HUI, Y. V. Benchmarking the Energy Efficiency of Commercial buildings. **Applied Energy**, Canadá. v. 83, n. 1, p. 1-14, Apr. 2005.

**crossref**

CRUZ, R. R. de A. **Gerenciamento de energia elétrica para otimizar a qualidade e a eficiência energética de grandes consumidores**. 85f. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2014.

ENSSLIN, L.; NETO, G. M.; MCDONALD, S. **Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. [s.l: s.n.], 2001.

FERREIRA, M. C. C. dos S. **Modelos de Regressão: uma aplicação o em Medicina Dentária**. 143f. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Aberta, Lisboa, 2013.

GAMA, P. H. R. P. et al. **Conservação de energia, eficiência energética de instalações e equipamentos**. 2. ed. Itajubá: [s.n.], 2001.

GOMES, L. F. A. M.; GONZÁLEZ, M. C. A.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão**. São Paulo: [s.n.], 2004.

KASINSKI, A. et al. **Tendências e oportunidades na economia verde: eficiência energética**. 67f. 2010. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. 2010.

LEE, A. **Otimização dos sistemas de climatização e refrigeração industrial em supermercados.** 10f. 2005.

LEVANDOSKI, L. F. **Sistema de análise de investimentos em inovação e tecnologia.** 104f. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia do Instituto de Engenharia do Paraná, 2010.

MANGIAPELO, L. B. S. **Avaliação da eficiência energética em sistemas de iluminação predial:** Estudo de casos em dois hipermercados na cidade de Campo Grande – MS. 203f. 2012. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Campinas - MS, 2012.

MENDES, N. et al. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** Ambiente Construído, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

PADOVANI, M. **Apoio à decisão do portfólio de projetos: uma abordagem híbrida usando os métodos AHP e programação inteira.** [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

PROCEL. **Gestão energética.** Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2007.

RIBEIRO, R. A. **Correlações nos DFA de diversos perfis geológicos:** estudo de caso: Bacia de Campos - RJ. 79f. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica.** Tradução e revisão técnica Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991. 367 p. Tradução de: The Analytic Hierarchy Process. Planning, priority setting, resource allocation.

SAATY, T. L. **Decision Making with Dependence and Feedback:** the Analytic Network Process. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 2001.

SCHAUENBURG, F. F. **Metodologia de seleção e priorização de projetos baseada em fuzzy-ahp.** 84f. 2014. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, PUC-PR, 2014.

TOGNON, A. P. **Reprodutibilidade de medidas ecocardiográficas da massa ventricular esquerda no Estudo Longitudinal da Saúde do Adulto, ELSA Brasil.** 77f. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

VARGAS, L. G. An Overview of the analytic hierarchy process and its applications. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 1–8, 1990. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179090056H>>. Acesso em 15 jun. 2015.

**Recebido:** 06 maio 2017

**Aprovado:** 12 março 2018

**DOI:** 10.3895/gi.v14n1.5966

**Como citar:**

RICARDO, F. J.; MEDEIROS, L.; SALAS, C. S. Priorização de ações de eficiência energética para redes de hipermercados via análise multicritério. R. Gest. Indust., Ponta Grossa, v. 14, n. 1, p. 160-179, jan./mar.2018. Disponível em:

<<https://periodicos.utfpr.edu.br/rgi>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Fábio José Ricardo

Rua Sanito Rocha, 79, apto 1604 Torre 1, Cristo Rei, Curitiba, Paraná, Brasil.

**Direito autorial:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

