DOI: 10.48011/sbse.v1i1.2463

Vantagens do Sistema de Fluxo Refrigerante Variável sobre o Sistema de Refrigeração Convencional em Edifícios: Um Estudo de Caso

Heitor B. Silva Bezerra*. José Luiz da Silva Junior. Lorena K. Agra Fernandes*****

**Mestrado Profissional em Energia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN – Brasil; (e-mail: eng.heitor@outlook.com)*
***Mestrado Profissional em Energia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Brasil (e-mail: joseluiz@ct.ufrn.br)*
****Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, Brasil (e-mail: lorenaagrafernandes@gmail.com)*

Abstract: The Variable Refrigerant Flow (VRF) has been widely used in building cooling. This system guarantees, in addition to the lower electricity consumption, better thermal comfort when compared to other air conditioning technologies, even though it is more expensive to implement. This study proposes to verify, from electrical measurements, analysis of investments and indexes related to energy quality and the advantages of using this system. A comparative study is conducted in buildings of the Federal University of Rio Grande do Norte – UFRN.

Resumo: O sistema de Fluxo Refrigerante Variável – *Variable Refrigerant Flow* (VRF) – vem sendo largamente usado na refrigeração de edificações. Esse sistema garante, além do menor consumo de energia elétrica, melhor conforto térmico, quando comparado com as demais tecnologias de climatização, ainda que seja mais oneroso na implementação. Este trabalho se propõe a verificar, a partir de medições elétricas, análises de investimentos e índices relacionados à qualidade de energia as vantagens da utilização desse sistema. Um estudo comparativo é realizado em edifícios da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

Keywords: Energy Efficiency; Technological Innovations; VRF System; Air Conditioning; Economic Evaluation,

Palavras-chaves: Eficiência energética; Inovações Tecnológicas; Sistema VRF; Ar condicionado; Avaliação econômica.

1. INTRODUÇÃO

O sistema VRF oferece, além de outros recursos, gerenciamento remoto das suas instalações elétricas, uma maior resistência às situações adversas, conforto térmico e economia considerável de energia elétrica, apesar de requerer um maior investimento inicial. Atualmente, o sistema de refrigeração em questão está sendo amplamente empregado em ambientes comerciais, industriais, hospitalares e em serviços públicos.

Ademais, esse sistema vem sendo exaustivamente pesquisado por fabricantes, com a finalidade de obtenção de uma melhor eficiência energética, mas também assegurando a manutenção da qualidade da energia elétrica, seja pela mitigação de harmônicos, pela compensação de energia reativa ou pela redução dos desequilíbrios de tensão. O emprego de controladores e filtros em um sistema VRF assegura a elevação da eficiência energética e a maximização do desempenho dos motores elétricos, situados nos compressores, permitindo o ajuste da velocidade e do torque, para a operação em máximo desempenho.

A fim de comprovar essa eficiência energética, foram realizadas medições em dois edifícios de grande porte na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, que levaram em consideração as diferentes tecnologias de climatização e as capacidades instaladas, sendo que um dos edifícios usa o sistema VRF e o outro possui o sistema convencional de climatização.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA VRF

O sistema VRF, para Goetzler, W. (2007), é caraterizado por sua capacidade de controlar a quantidade do fluido refrigerante remetido para uma ou várias unidades internas (evaporadoras), instaladas em apenas um ou em vários ambientes, através da utilização de uma única unidade externa (condensadora) ou um conjunto dessas unidades interligadas. O controle do fluido refrigerante é o centro do sistema VRF, com diversas inovações significativas, apresentadas a *posteriori*. De acordo com o mesmo autor, o VRF oferece inúmeras vantagens com relação às demais tecnologias de climatização. Algumas dessas vantagens são: o menor espaço necessário para a instalação; a possibilidade

de ser instalado em módulos e a possibilidade de expansão da sua capacidade.

O VRF proporciona também um maior conforto térmico e ambiental, de vez que há a variação do fluxo refrigerante, fazendo com que a temperatura do ambiente permaneça praticamente constante. Entretanto, sua principal vantagem encontra-se na eficiência energética mais elevada, alcançada devido à ação de diversos conversores eletrostáticos usados para controlar as partidas dos motores dos compressores.

2.1. Recursos do sistema VRF

2.1.1 Filtros de potência usados no sistema VRF.

Os filtros de um sistema VRF têm por função realizar as compensações de energia reativa, visando a elevação do fator de potência, a compensação de desequilíbrios de tensões e a mitigação das distorções harmônicas, através do ajuste da banda passante. Normalmente esses filtros são híbridos, uma combinação de filtros passivos e filtros ativos. Os filtros passivos fazem os ajustes das frequências de corte, visando a mitigação das componentes harmônicas, além de apresentarem as seguintes vantagens: boa confiabilidade, baixos custos de manutenção e de implementação, perdas reduzidas, suporte às grandes correntes e tensões, poucos ruídos gerados, entre outros. Já os filtros ativos apresentam outras vantagens, como as compensações das quedas de tensão e o auxílio na seleção das bandas passantes, por suas características adaptativas (auto ajuste), embora seja essa seleção uma propriedade dos filtros passivos (Leão et al. 2014).

Resumidamente, os filtros híbridos unem as propriedades dos filtros ativos e passivos, fazendo com que eles atuem coordenadamente.

2.1 2. Controle de desempenho dos motores elétricos

O sistema VRF possui compressores que são construídos com motores de corrente contínua sem escovas, os quais necessitam de conversores de potência (retificadores e inversores), para o seu funcionamento básico. Para que haja a comutação de potência de forma satisfatória, faz-se necessário o uso de controladores e filtros nos conversores, que são úteis para o controle de desempenho desses motores, para promover a variação do fluido refrigerante em máximo desempenho nesses compressores e garantir a manutenção dos índices da qualidade da energia elétrica

A comparação das tecnologias empregadas nos motores dos compressores nos aparelhos de ar-condicionado pode ser visualizada na Fig. 1 (Futani, T. and Shida, Y., 1994). No gráfico à esquerda são apresentados os comparativos da eficiência percentual total do motor, entre as tecnologias dos motores de corrente contínua (DC) de neodímio, DC com rotor de aço inoxidável e corrente alternada (AC). À direita, são apresentados os comparativos da eficiência total dos compressores – motores do tipo DC e AC – considerando que ambos os compressores são do tipo duplo-rotativo. Os motores DC são, portanto, mais vantajosos.

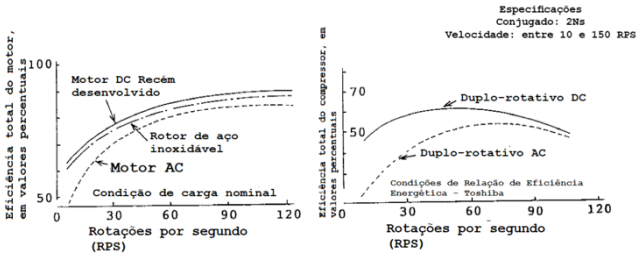

Fig. 1 Comparativo de velocidade X eficiência, com perdas incluídas, das máquinas DC *Inverter* e AC. Adaptado de Futani, T. and Shida, Y., 1994.

2.2 Aspectos econômicos

2.2.1 O Mercado de climatização e avanços tecnológicos

Face à evolução tecnológica, o sistema VRF vem apresentando menores custos, tanto de produção como de instalação, o que valida a viabilidade econômica dessa tecnologia, para as novas ou antigas instalações. Além disso, a cada novo modelo do sistema VRF, as exigências de manutenção corretiva são menores, assim como a tendência de consumir uma quantidade menor de energia, importante aspecto a ser considerado quando verificadas as constantes elevações nos preços dessa energia. O VRF é, portanto, uma solução tanto para novos projetos quanto para a substituição de sistemas de refrigeração mais antigos.

2.2.2 Retorno do Investimento

A fim de verificar a viabilidade econômica do sistema VRF, Carneiro, M.C. et al. (2012) afirmam a necessidade de considerar diversos fatores para realizar um estudo preliminar sobre a viabilidade inicial do projeto. Para Rebelatto (2004), o projeto de investimento leva em consideração, entre outros elementos, o desempenho do equipamento ou sistema, a durabilidade e necessidade de manutenção e, principalmente, o consumo de energia elétrica.

Para a análise da viabilidade econômica, foi aplicado o Método do Período do Retorno de Capital (Rebelatto, 2004) e utilizado por Bezerra (2018).

2.3 Qualidade de Energia Elétrica

A qualidade da energia elétrica pode ser definida como a caracterização de fenômenos referentes à qualidade do produto, através do estabelecimento de limites ou valores de referência relativos aos níveis de tensão em regime permanente e às perturbações das formas de ondas de tensão, nos termos do Módulo 8 do Prodist (ANEEL, 2014). Esse módulo leva em consideração as manipulações das formas de onda de tensão, durante a alimentação da carga, e são fontes de perturbações dos sistemas elétricos. Aí reside a necessidade de impor valores limites a esses fatores, tendo

em vista a observância desses fenômenos da energia elétrica. Os índices da qualidade de energia discutidos são: o fator de potência, o fator de desequilíbrio da tensão e a taxa de distorção harmônica.

2.3.1 Taxas de distorção harmônica.

Para que a análise das taxas de distorção harmônica, foram utilizados analisadores de grandezas elétricas, modelo ESB-SAGA 4500. A obtenção da Taxa de Distorção Harmônica - TDH feita por esse equipamento é calculada a partir dos valores das potências medidas, usando o método de Budeanu (1927), apesar de ser um método contestado por alguns autores, incluindo-se Leão et al. (2014).

3. AVALIAÇÃO DAS MEDICÕES ELÉTRICAS DO ESTUDO DE CASO – EDIFÍCIOS DA UFRN

A fim de realizar uma comparação entre o sistema convencional e o VRF, foram realizadas medições no segundo semestre de 2017 e no primeiro semestre de 2018 em dois edifícios do Campus Central da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. O primeiro edifício, a Escola de Ciência e Tecnologia – ECT, é refrigerado a partir de um sistema convencional. O segundo edifício, o Instituto Internacional de Física –IIF, é equipado com o sistema VRF. Ambos possuem áreas superiores a 3.000 m^2.

O ESB-SAGA 4500 usado para obtenção das medições mede tensões, potências, correntes e o consumo de energia elétrica, além dos índices da qualidade de energia elétrica, como o fator de potência e a TDH, algumas obtidas via software próprio do fabricante.

Foram avaliadas ainda a eficiência energética dos sistemas de ar-condicionado, com base nas portarias n°. 323/2011, do Ministério de Minas e Energia e n°. 410/2013, do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), que regulamentam a lei n°. 10.295/2001.

3.1 Considerações sobre despesas de consumo de energia.

O Campus Central da UFRN é alimentado com tensão de 69 kV. Com isso, de acordo com a resolução 414/2010 da ANEEL, a modalidade tarifária imposta é a horária azul e a classe tarifária é a A4. A Tabela 1 contém o valor das tarifas impostas no período em que foi realizado o estudo. O horário de ponta estabelecido compreende o período entre 17h30min as 20h29min.

Tabela 1. Tarifas de consumo para consumidores de 69 kV na modalidade Azul – Edifícios públicos.

Consumo	Tarifa
Ativo de ponta (R$/kWh)	0,551
Ativo fora de ponta (R$/kWh)	0,357

Salienta-se que apenas os consumos de energia elétrica foram levados em consideração para a análise econômica nesses edifícios, não se considerando os custos de demanda.

3.2 Medições na Escola de Ciências e Tecnologia – ECT

O sistema convencional de refrigeração, nesse edifício, é predominantemente de expansão direta.

Para realizar as medições nas instalações de refrigeração nesse edifício, foram utilizados dois analisadores de grandezas, devido ao grande número de circuitos de climatização.

As medidas com o valores nominais, mostram que a média da potência elétrica de todos os circuitos analisados é 54,247 kW, média de 458 kW de potência térmica e taxa nominal de eficiência energética – *Electrical Efficiency Ratio* (EER) – de 2,43. O desvio padrão das medidas acima é: 17,62 para potência elétrica, 167,12 para potência térmica e 0,23 para EER.

Os aparelhos de ar condicionado instalados na ECT apresentaram um fator de carregamento de 50,72%, em relação a potência nominal. Esse fator verificado foi motivado pelo superdimensionamento da climatização em alguns ambientes. Outro fator que deve ser considerado é a sobrecarga de 1,2% sobre a potência nominal da climatização em um dos circuitos do edifício. Esse fato é explicado pois, no ambiente desse circuito, há a concentração de diversos equipamentos de rede e computadores (laboratórios de informáticas), demandando assim, a maior necessidade da refrigeração nesses ambientes. Além do mais, a EER dessa instalação foi de 2,47. Esse coeficiente não está classificado em nenhuma faixa do INMETRO, o que se caracteriza como instalação energeticamente ineficaz, pois para a portaria n° 323/2011 do Ministério de Minas e Energia, o coeficiente mínimo da eficiência energética em vigor para instalações de climatização é de 2,6 W/W. A Tabela 2 apresenta as despesas de consumo anual da ECT.

Tabela 2. Despesas referentes ao consumo da instalação de climatização no edifício da ECT.

Modalidade tarifária	Consumo (GWh/ano)	Despesa anual (R$)
Horária Azul	1,05	383.653,53

3.3 Medições no Instituto Internacional de Física – IIF

O Instituto Internacional de Física (IIF) possui 12 unidades condensadoras do tipo VRF, modelo Midea MDV-4 Plus, com as seguintes especificações: 2 unidades de 25,2 kW; 3 unidades de 33,5 kW; 2 unidades de 40 kW e 5 unidades de 45 kW. Possuindo, assim, uma carga térmica instalada de 455,9 kW.

Neste edifício, para fins de análise, foram medidos dois circuitos. De acordo com os dados coletados, os valores nominais do primeiro circuito analisado, que apresenta 8 condensadoras foram: média de 78,736 kW de potência elétrica, média de 272,6 kW de potência térmica e EER de 3,462. Já o segundo circuito, que possui 4 condensadoras, apresentou as seguintes medidas: média de 46,018 kW de potência elétrica, média de 163,5 kW de potência térmica e

média de 3,553 de EER. Salienta-se que todos os valores apresentados acima referentes às medições do IIF possuem um desvio padrão igual a zero.

O fator de potência médio medido foi de 0,936 indutivo, sendo superior ao fator mínimo exigido de 0,92 (ANEEL, resolução normativa n° 414/2010). O fator médio de desequilíbrio é de 0,39%, abaixo do máximo recomendado (Prodist, Módulo 8, 2018). O fator de carregamento médio da potência do sistema VRF foi, em média, 12% em relação à potência nominal. No entanto, esse mesmo fator teve seu máximo de 22,61%. O consumo médio analisado foi de 121,47 kWh, por dia. A taxa de distorção harmônica média, verificada pelo SAGA é de 27%. E por último, o EER nominal para essa instalação é de 3,51 e sua classificação da eficiência energética é "A" (Portaria n° 410/2013, INMETRO). Com base nos resultados dessas medições, os valores de consumo e despesas referentes à instalação do VRF para esse edifício são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Despesas referentes ao consumo da instalação do sistema VRF no edifício do IIF, para a modalidade tarifária Azul.

Modalidade tarifária	Fator de carregamento (%)	Consumo anual (kWh)	Despesa anual (R$)
Horária Azul	12	46.707,90	17.807,39
	100(Nominal)	389.232,48	148.394,88

Os dados referentes ao fator de carregamento percentual correspondem a valores percentuais das potências de carga absorvida.

4. AVALIAÇÃO DAS MEDICOES ELETRICAS

Discute-se aqui os resultados das medições realizadas, como também as projeções de substituições de climatização em edifícios que não possuem os sistemas VRF instalados.

4.1.1 Fator de potência

Os fatores de potência e os tipos de climatização dos edifícios analisados são apresentados na Tabela 4. Pode-se observar que ambos os edifícios possuem o fator de potência superior ao fator mínimo exigido estipulado pela resolução normativa n° 414/2010 da ANEEL, que é de 0,92. Isto se deve ao correto dimensionamento do banco de capacitores, para que em situações de carga mínima a energia reativa seja compensada satisfatoriamente.

Tabela 4. Fatores de potência medidos nos edifícios do Campus Central da UFRN.

Edifício	Tipo de Climatização	Fator de Potencia	Carregamento (%)
IIF	VRF	0,936	12
ECT	Exp. direta	0,936	51

Com relação ao fator de carregamento, o edifício com instalação de climatização que possui o sistema VRF foi inferior a 40%, indicando que os motores elétricos funcionam com potência muito aquém da nominal, fato que conduz à redução considerável do fator de potência. No entanto, essa energia reativa gerada no caso de funcionamento com pouca carga seria compensado pelos filtros híbridos, no caso de sistemas VFR, o que conduzem à elevação dos fatores de potência para esse tipo de climatização.

4.1.2 Desequilíbrios de tensão

Os fatores de desequilíbrio de tensão medidos em cada edificação, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Fatores de desequilíbrio de tensão medidos nos edifícios do Campus Central da UFRN.

Edifício	Tipo de Climatização	Fator de Desequilibrio (%)
IIF	VRF	0,4
ECT	Exp. direta	0,72

Ambos os edifícios têm o fator de desequilíbrio inferior a 3% e de acordo com o fator máximo recomendado pelo Prodist. Mesmo assim, o maior fator ocorreu na ECT, pois a maioria dos aparelhos de ar-condicionado que estão instalados é monofásica, contribuindo, desse modo, para o desbalanceamento da instalação elétrica.

Ademais, a aplicação de filtros híbridos em sistemas VRF também compensam desequilíbrios de tensão, visto que o fator de desequilíbrio de tensão na instalação do IFF foi inferior a 0,5%. Este fato também contribui para o correto desempenho dos motores elétricos e para a manutenção da qualidade de energia elétrica nas instalações.

4.1.3 Taxas de distorção harmônica

Nos edifícios medidos, as taxas de distorção harmônica foram de 27,53% no IIF e 12,01% na ECT. Verificou-se que essas taxas foram superiores aos valores recomendados pelo Módulo 8 do PRODIST, de 10% para harmônicos de tensão. Os valores supracitados foram resultantes dos cálculos de distorção harmônica (TDH%) realizados via software do SAGA. Além disso, para Correia (2007), a presença de harmônicos em uma instalação conduz à redução do fator de potência, afetando demasiadamente o desempenho dos motores elétricos e nas demais cargas da instalação elétrica. Estes efeitos deveriam ocorrer, principalmente, no edifício do IIF, caso o sistema instalado estivesse tão harmonicamente distorcido. Portanto, tais problemas não ocorrem visto que as cargas instaladas nestes sistemas estão em pleno funcionamento há anos e são constantemente utilizados.

4.2 Verificação de eficiência do sistema VRF

A partir da análise "por unidade" (ou *pu*), é possível verificar se os edifícios com os sistemas VRF instalados são

energeticamente mais eficazes, em relação aos demais edifícios situados no Campus Central. O edifício escolhido para atribuir a potência de base, foi o da ECT, por apresentar a maior capacidade de refrigeração nominal.

Observando-se a Tabela 6, as despesas anuais de consumo de energia elétrica, nota-se que, para a hipótese em que a potência medida seja a mesma para todos os edifícios, o que possui o sistema VRF apresenta despesa de consumo menor em relação ao sistema de expansão direta. Esse fato atesta que o sistema VRF utiliza a energia elétrica de forma mais eficiente.

Tabela 6. Despesas referentes ao consumo nas instalações de climatização dos edifícios.

Edifício	Tecnologia	$\sum P_{eletr-med\,(pu)}$	Despesa anual (R$)
IIF	Exp. direta	1,0	260.809,95
ECT	VRF	0,621	383.653,33

4.3 Projeção para substituição das instalações de climatização na ECT

A Tabela 7 apresenta o resumo do custo de substituição da atual instalação de climatização nesse edifício da ECT para o sistema VRF, tendo por base as despesas de consumo de energia elétrica e dos investimentos necessários.

Tabela 7. Resumo da projeção para a instalação do sistema VRF na ECT.

Itens	Qtd.	$\sum P_{term}$ (BTU/h)	$\sum P_{eletr}$ (kW)	Investimento (R$)
Condens.	36	4.861.300,00	367,45	1.042.951,49
Evaporad	163	4.815.500,00	21,69	488.065,87
Peças	35% do custo total dos equipamentos			535.856,08
Total			389,14	2.066.873,44

A Tabela 8 estabelece comparações entre as instalações do sistema atual e o custo de substituição para uso de um sistema VRF, na hipótese de que não haja alteração significativa da capacidade térmica atualmente instalada.

A viabilidade econômica da instalação do sistema VRF na ECT foi analisada levando-se em consideração: as diferenças de capital investido, o retorno de investimento e o tempo de retorno, conforme Tabela 9 (Bezerra, H., 2018). Observe-se que a potência térmica instalada é a praticamente existente no sistema convencional.

Ainda que o tempo retorno seja longo, visto que levará até nove anos para se pagar, a carga de climatização seria reduzida face à preservação do conforto térmico, o que conduz a uma compensação financeira mais célere.

Na hipótese de adequação para a potência térmica requerida pelo sistema VRF, ocorre uma significativa redução das potências térmica e elétrica requeridas, conforme Tabela 10, além da redução também muito importante do custo da energia elétrica consumida.

Tabela 8. Custo da substituição do sistema convencional para o sistema VRF no edifício da ECT, com permanência da potência térmica instalada.

Tecnologia	Expansão direta	VRF
Capacidade térmica instalada (BTU/h)	5.667.000	6.099.900
Investimento (R$)	1.070.716,40	2.514.783,55
Horas de operação/ano	3.117,65	3.117,65
Potência nominal (kW)	663,60	492,58
Fator de carregamento (%)	50,72	40
Consumo anual (kWh)	1.049.273,00	614.281,84

Tabela 9. Análise do investimento com a instalação do sistema VRF na ECT para potências térmicas próximas.

Diferença de investimento (R$)	1.444.067,15
Retorno anual (R$)	159.049,07
Tempo de retorno (anos)	9,08

Tabela 10. Projeção para substituição da climatização na ECT para VRF, com adequação da potência instalada.

Tecnologia	Convenciona l	VRF
Capacidade térmica instalada (BTU/h)	5.667.000	4.861.300
Investimento (R$)	1.070.716,40	2.066.873,44
Horas de operação/ano	3.117,65	3.117,65
Potência nominal (kW)	663,60	389,14
Fator de carregamento (%)	50,72	40
Consumo anual (kWh)	1.049.273,00	485.867,46

O tempo de retorno do investimento neste caso, está apresentado na Tabela 11, com considerável redução do tempo de retorno do investimento.

Tabela 11. Análise do investimento com a instalação do sistema VRF na ECT para potências térmicas próximas.

Diferença de investimento (R$)	996.157,04
Retorno anual (R$)	206.215,71
Tempo de retorno (anos)	4,83

6. CONCLUSÕES

Das considerações realizadas ao longo desse trabalho, pode-se concluir que, do ponto de vista técnico, todos os indicadores de qualidade da energia com a aplicação do sistema VRF são muito superiores ao sistema convencional, tornando-o muito mais atrativo.

Já a análise econômica apresentou um quadro de redução significativa das despesas anuais com energia elétrica, quando usado o sistema VRF. No processo de substituição do sistema convencional pelo sistema VRF, mesmo considerando o custo inicial mais elevado, o tempo de retorno

do investimento adicional é baixo, seja com a manutenção da energia térmica de um edifício ou com a redução dessa potência pela maior eficiência dos sistemas VRF. Há de se considerar, portanto, a possibilidade de utilização ou mesmo a substituição dos sistemas convencionais por esses sistemas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Comissão Interna de Conservação de Energia - CICE da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

REFERÊNCIAS

ANEEL, R.N. (2010). 414/2010. *Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica.*

ANEEL. (2018). Módulo 8 PRODIST Revisão 8. *Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica.*

*B*ezerra, H.B.S. (2018). *Levantamento e Diagnóstico de Sistemas de Refrigeração Ambiental e Proposta de Melhoria de Eficiência para Edificios do Campus Central da UFRN*. Dissertação, Mestrado Profissional em Energia Elétrica, UFRN, Brasil.

Budeanu, C. (1927). *Puissances réactives et fictives*. Institut Nacional Roumain. Bucharest. Romania.

Correia, P.J.F. (2007). O Impacto dos Problemas de Qualidade de Energia em Instalações Elétricas - O caso Particular das Perturbações Harmônicas. *Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra.*

Costa, TC.C., Costa, T.C., Auroca, L.B.P., Almeida, A.G.S., and Carneiro, M.C. (2012). Análise técnica e econômica de um sistema de ar condicionado com fluxo de refrigerante variável. In VII CONNEPI – *Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação.*

Futani, T. and Shida, Y. (1994). Study on High-Efficiency Brushless DC Motor for Compressor. *International Compressor Engineering Conference*. Paper 1062. Disponível em http://docs.lib.purdue.edu/icec/1062.

Goetzler, W. (2007). Variable Refrigerant Flow System. Ashrae Journal, 49(4), 24-31.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (2013). Portaria n°410.

Leão, R. et al. (2014). *Harmônicos em sistemas elétricos*. 1ª. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, Ed. Campos.

MME – Ministério das Minas e Energia. (2011). Portaria Interministerial n°323. Programas de metas para condicionadores de ar. Ministério de Minas e Energia.

Rebelatto, D. (2004). *Projeto de Investimento.* Editora Manole Ltda.