

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Paulo César Schleder do Carmo

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA COM
SENSIBILIZAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA
SUBSTITUIÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR
CONVENCIONAL POR TECNOLOGIA INVERTER
NA BIBLIOTECA PÚBLICA DE FOZ DO IGUAÇU**

Foz do Iguaçu, PR

2017

Paulo César Schleder do Carmo

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA COM
SENSIBILIZAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA
SUBSTITUIÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR
CONVENCIONAL POR TECNOLOGIA INVERTER NA
BIBLIOTECA PÚBLICA DE FOZ DO IGUAÇU**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Orientador: Dr. Cesar A. Valverde Salvador

Foz do Iguaçu, PR

2017

Paulo César Schleder do Carmo

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA COM
SENSIBILIZAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA
SUBSTITUIÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR
CONVENCIONAL POR TECNOLOGIA INVERTER NA
BIBLIOTECA PÚBLICA DE FOZ DO IGUAÇU**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Aprovado em 15 de julho de 2017:

Natanael Rodrigues Gomes, Dr (UFSM)
Presidente/Coorientador

Geomar Machado Martins, Dr (UFSM)

José Abílio Lima de Freitas, Dr (UFSM)

Foz do Iguaçu, PR

2017

RESUMO

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA COM SENSIBILIZAÇÃO DE VARIÁVEIS PARA SUBSTITUIÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR CONVENCIONAL POR TECNOLOGIA INVERTER NA BIBLIOTECA PÚBLICA DE FOZ DO IGUAÇU

AUTOR: PAULO CÉSAR SCHLEDER DO CARMO

ORIENTADOR: Dr. CESAR A. VALVERDE SALVADOR

Neste trabalho compara-se a viabilidade econômica e o consumo energético de dois tipos de compressores comumente utilizados em aparelhos de ar condicionado: o convencional e o inverter. Foi verificado o comportamento de ambos os aparelhos adotando-se cenários que correlacionam seu tempo de uso e seu gasto energético, dando ênfase ao consumo de energia elétrica do compressor. O local escolhido para a realização dos testes foi a biblioteca pública do Município de Foz do Iguaçu, no estado de Paraná. A avaliação consistiu na elaboração de cenários e sub-cenários que simulam a troca de aparelhos, de forma imediata ou após a queima dos já instalados. Foi analisado também o uso de mão de obra própria ou terceirizada, o tempo de funcionamento do compressor e a economia proporcionada pelo sistema inverter. A viabilidade econômica foi verificada para cada sub-cenário e constatou-se que a troca não é interessante em qualquer caso, isto porque, quando ocorre a queima do equipamento a compra de um aparelho novo seria inevitável. Os dados obtidos são analisados e comparados utilizando-se indicadores econômicos, tais como: Payback, Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL). Assim, contudo, recomenda-se a troca de equipamento quando o compressor do condicionador convencional trabalhar por tempo não inferior a 50% do uso do aparelho ou quando o sistema inverter apresente economia não inferior a 30%, isto é, quando há constatação da TIR positiva, Payback inferior a 48 meses e VPL máximo de R\$ 179.602,61.

Palavras-chave: Ar condicionado. Sistema Inverter. Viabilidade econômica. Compressor. Economia.

ABSTRACT

ANALYSIS OF ECONOMIC VIABILITY WITH SENSITIZATION OF VARIABLES FOR REPLACEMENT OF CONVENTIONAL AIR CONDITIONERS BY INVESTING TECHNOLOGY IN THE PUBLIC LIBRARY OF FOZ DO IGUAÇU

AUTHOR: PAULO CÉSAR SCHLEDER DO CARMO

ORIENTER: Dr. CESAR A. VALVERDE SALVADOR

In this work, it is compared the economic feasibility and energy consumption of two types of compressors used in air conditioners: the conventional and the inverter. It was verified the behavior of both appliances, the energy expenditure, highlighting the electric power consumption of the compressor. The place chosen for a test is a public library in the Municipality of Foz do Iguaçu, in the state of Paraná. An evaluation consisted of the elaboration of scenarios and sub-scenarios that simulate an exchange of devices, immediately or after their useful life. It was also analyzed the use of own or outsourced labor, the time of operation of the compressor and the economy provided by the inverter system. The economic viability has been verified for each sub-scenario and it has been concluded that an exchange is not interesting while the device is working properly. The obtained data is analyzed and compared using economic indicators such as: Payback, Internal Rate of Return (IRR) and Net Present Value (NPV). However, it is recommended that equipment be exchanged when the conventional conditioner compressor works for a period of time of not less than 50% of the use of the appliance or when the inverter system has an economy of not less than 30%, I.E., when the IRR is Positive, the Payback less than 48 months and maximum NPV of R\$ 179,602.61.

Keywords: Air conditioning. Inverter System. Economic viability. Compressor. Economy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivo Geral	9
1.1.2 Objetivos Específicos	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Funcionamento do aparelho de ar-condicionado	11
2.2 Tecnologia convencional e tecnologia inverter	12
3 DESENVOLVIMENTO	14
3.1 Sobre o local de estudo	14
3.2 Definição de cenários para as análises	14
3.2.1 Primeiro cenário	15
3.2.2 Segundo cenário	16
3.2.3 Terceiro cenário	17
3.3 Considerações sobre a economia de energia	17
3.4 Custo de aquisição dos aparelhos condicionadores de ar	18
3.5 Situações adotadas sobre a aquisição do aparelho inverter	19
3.5.1 Caso 1	19
3.5.2 Caso 2	20
3.5.3 Caso 3	20
3.5.4 Caso 4	20
3.6 Análise de engenharia econômica	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
4.1 Resultados para o Caso 1	21
4.2 Resultados para o Caso 2	22
4.3 Resultados para o Caso 3	23
4.4 Resultados para o Caso 4	25
5 CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1 INTRODUÇÃO

O valor da tarifa da energia elétrica no Brasil tem passado por reajustes frequentes. Além disso, quando as condições são desfavoráveis para a geração de energia elétrica pelas hidrelétricas, as usinas termelétricas, que possuem um custo maior para a produção de energia elétrica, entram em operação. Desta forma foi criado o sistema de bandeiras tarifárias, onde os consumidores terão um acréscimo no valor da fatura de energia, para compensar o custo adicional da geração (ANEEL, 2015).

O processo de industrialização, iniciado no século XVIII e resultado da primeira revolução industrial, marcou a origem de uma nova concepção de organização do trabalho que sucedeu o artesanato, a manufatura (PEREIRA, 2015). Os princípios deste novo formato de produção vêm sendo usados nos últimos três séculos e, de modo geral, passaram a evidenciar a preocupação com o desenvolvimento sustentável, colocando em pauta a questão da escassez de recursos naturais e seu possível esgotamento. Nesse contexto, uma das principais questões e/ou desafios a esse desenvolvimento é o uso racional de energia (JACOBI, 2016).

A utilização da biblioteca é algo fundamental para os municípios. Manter a biblioteca com uma temperatura adequada é importante para garantir o conforto térmico e não prejudicar os usuários na hora das leituras. Desta forma, não é possível diminuir a utilização do aparelho de ar-condicionado para economizar energia elétrica. A solução que deve ser adotada é a utilização de aparelhos de ar-condicionado mais eficientes.

Um dos desafios para redução no consumo de energia elétrica é o segmento de refrigeração e ar condicionado. Os sistemas de ar condicionado participam com cerca de 20 % do consumo de energia elétrica comercial. Para o setor residencial os sistemas de ar condicionado representam 33% do consumo de energia elétrica. Conclui-se que, apenas esses dois setores (comercial e residencial) representam cerca de 10% do consumo de energia elétrica total do país, sendo que o componente crítico no ciclo de refrigeração responsável pela maior parte do consumo é o compressor (LaAr, 2015 apud MORALES, 2016, p.46).

De acordo com o guia técnico de Gestão Energética (ELETROBRÁS, 2004) todas as medidas de eficiência energética devem ser precedidas de um estudo sobre o impacto que esta medida poderá causar. Desta forma, este trabalho apresenta uma revisão básica sobre o funcionamento em termos de consumo de energia elétrica do aparelho de ar-condicionado e as principais diferenças energéticas entre a tecnologia convencional e a tecnologia inverter.

A análise dos resultados é feita a partir do cálculo dos indicadores econômicos Payback, TIR e VPL, que irão determinar a viabilidade do investimento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho objetiva determinar, analisar e comparar o consumo energético e a viabilidade econômica de dois modelos de aparelhos de ar condicionado, convencional e inverter, localizados na biblioteca pública municipal de Foz de Iguaçu, no Paraná.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a). Comparar a viabilidade econômica e custos energéticos entre os tipos de ar condicionado convencional e inverter, utilizando indicadores econômicos do tipo Payback, TIR e VPL,
- b). Estabelecer cenários e sub-cenários que simulam a troca de equipamentos de forma imediata ou após a queima dos já instalados,
- c). Verificar e comparar os custos do uso de mão de obra própria e/ou terceirizada, para a troca ou manutenção dos equipamentos já instalados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A utilização racional de energia elétrica, eficiência energética e conservação de energia são temas que estão em evidente discussão ultimamente. Não somente no *hall* da engenharia elétrica, mas ambientalistas, economistas e políticos, têm voltado atenção especial para essa questão. Embora esse assunto tenha ganhado repercussão nacional, não se trata de um tema novo, pois há anos engenheiros, economistas e executivos envolvidos com o sistema energético têm sido frequentemente solicitados a conservar energia e reduzir desperdícios nos mais variados níveis de produção e consumo. De fato, usar bem a energia é a forma mais inteligente de gerir adequadamente as demandas e melhorar a produtividade em qualquer contexto, com benefícios ambientais e econômicos, tanto em escala local como para toda a nação. Usar bem a energia talvez seja uma das poucas alternativas para enfrentar racionalmente as expectativas de expansão de demanda.

A energia elétrica é uma das formas de energia mais úteis para a humanidade e é obtida principalmente através de termoelétricas, usinas hidroelétricas, usinas eólicas e usinas termonucleares, entre outras. Ela é amplamente empregada em residências, comércios, indústrias e vias públicas. No Brasil, no lar, a eletricidade fornece luz e produz calor para o funcionamento de refrigeradores, rádios, televisores, aspiradores de pó, etc. Os edifícios comerciais dependem de eletricidade para o funcionamento de elevadores, escadas rolantes, iluminação de fachadas, de vitrines e todos os equipamentos eletrônicos dos escritórios. Além disso, a energia elétrica ajuda a mover praticamente todos os equipamentos das indústrias [1].

A classe industrial é a de maior consumo de energia elétrica do país, chegando a 46% do consumo de energia elétrica, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, sendo também responsável por expressiva parcela de desperdício de energia.

Quadro 1 - Classe de consumo de energia elétrica do país - julho 2016

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (GWh)		
BRASIL	32.509	100%
Residencial	7.673	23,6%
Industrial	15.476	47,6%
Comercial	4.813	14,8%
Outros	4.547	14,0%

Fonte: EPE – Julho 2016

2.1 Funcionamento do aparelho de ar-condicionado

Para facilitar o entendimento sobre o funcionamento do aparelho de ar-condicionado, pode-se fazer uma analogia com o funcionamento da geladeira convencional. Na maioria dos casos é possível perceber quando o motor (compressor) da geladeira está em funcionamento.

Observa-se que durante o verão, normalmente, o compressor da geladeira permanece mais tempo ligado e durante o inverno permanece por pouco tempo ligado.

O compressor faz parte do sistema responsável pela redução da temperatura dentro da geladeira. O tempo em que o compressor permanece ligado depende da temperatura externa, da temperatura de alimentos (que foram recentemente guardados), e também da quantidade de vezes que a porta da geladeira é aberta (pois aumenta a troca de calor entre o interior da geladeira e o meio externo).

Desta forma, mesmo a geladeira permanecendo conectada a tomada de energia elétrica durante 24 horas por dia, o seu compressor não fica ligado por 24 horas. O compressor liga somente quando é necessário reduzir a temperatura para mantê-la no valor desejado.

O mesmo princípio é válido para o aparelho de ar-condicionado, onde o compressor permanece ligado até que a temperatura do ambiente atinja o valor desejado.

Existem aparelhos que possuem a opção *ventilar* e a opção *resfriar*. Sendo que na opção *resfriar* o compressor está ligado e o consumo de energia é elevado, pois nesta opção o aparelho convencional trabalha com a sua potência máxima. Com a escolha da opção *ventilar* o aparelho funciona como um ventilador comum e o consumo de energia é baixo.

Conhecer o funcionamento do aparelho de ar-condicionado é de extrema importância para os cálculos de economia e viabilidade, pois a energia consumida depende diretamente das considerações sobre o tempo em que o compressor permanece ligado.

Existem duas tecnologias para o controle do funcionamento dos compressores dos aparelhos de ar-condicionado, a tecnologia convencional e a tecnologia inverter.

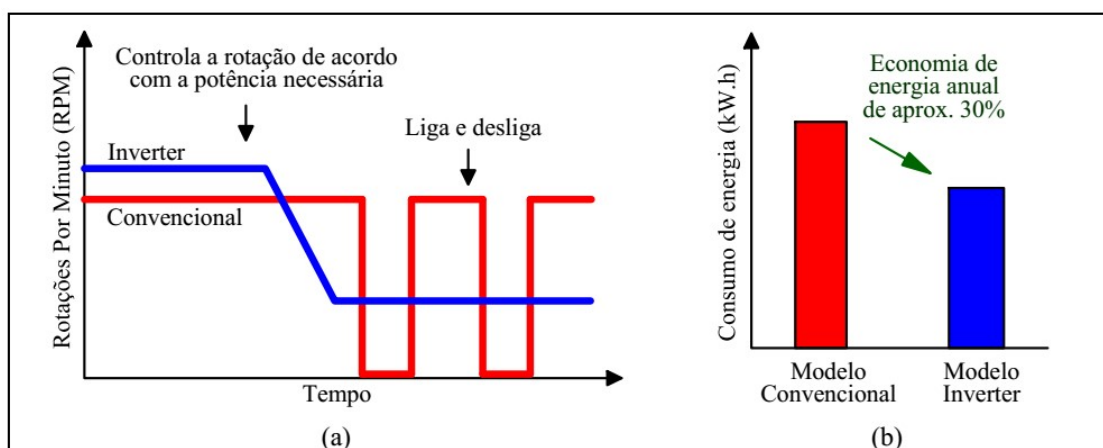
2.2 Tecnologia convencional e tecnologia inverter

No aparelho de ar-condicionado, o compressor do modelo convencional possui somente duas opções, ou ligado ou desligado. Ou seja, quando é necessário resfriar o ambiente o compressor é ligado e opera com a sua potência máxima (em Watts). Quando a temperatura do ambiente chega à temperatura desejada, o compressor é desligado.

A empresa Toshiba foi a primeira fabricante a incorporar a tecnologia inverter em seus aparelhos de ar-condicionado, no ano de 1981 (TOSHIBA, 2017). Tal tecnologia é responsável pelo controle da rotação do compressor, desta forma, pode ser feito o controle da potência (em Watts) fornecida ao compressor.

A Figura 1(a) apresenta-se um esquema elaborado pela fabricante Daikin. Nesta figura mostra-se a evolução da rotação do compressor, tanto do convencional (linha vermelha) quanto do inverter (linha azul), no tempo. Observa-se que no modelo convencional a rotação permanece constante durante o funcionamento do compressor, e cai para zero durante a parada (compressor desligado). Já o modelo inverter, a curva de rotação de compressor apresenta um declínio suave durante o funcionamento deste, permitindo um melhor controle da rotação.

Figura 1 – Tecnologia convencional e inverter, (a) rotação do compressor, e (b) relação de economia.



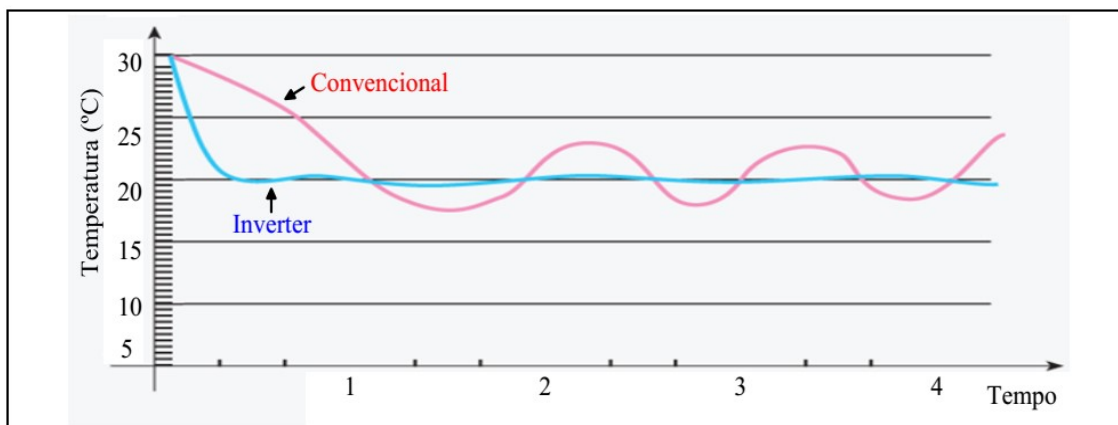
Fonte: Adaptado de Daikin (2017)

Por outro lado, na Figura 1(b), observa-se que há uma economia de 30% no consumo de energia utilizando o modelo inverter, quando comparado ao modelo convencional.

Na Figura 2 observa-se a evolução da temperatura ambiente no tempo. Nota-se que há uma variação brusca da temperatura (oscilante) no caso do aparelho de ar convencional, relacionando o ligado e desligado repentino do compressor. Já, para o caso do equipamento inverter, essa variação ocorre apenas durante o ligado do motor, apresentando variação quase desprezível durante o funcionamento normal do compressor.

De acordo com o fabricante Pioneer (2017), a precisão no controle da temperatura para o modelo Convencional chega a variar entre $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (traço em vermelho), enquanto a precisão no controle para o aparelho com a tecnologia inverter (traço em azul) é de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Outra característica observada é que o modelo inverter é capaz de reduzir a temperatura ambiente mais rapidamente, chegando a utilizar apenas 30% do tempo necessário para o aparelho convencional. Estas características comprovam a maior eficiência do modelo inverter quando comparado ao modelo convencional.

Figura 2 – Controle da temperatura para os modelos convencional e inverter



Fonte: Adaptado de Pioneer (2017)

O fabricante Daikin (2017), por exemplo, informa que seus aparelhos com a tecnologia inverter são 30% mais econômicos no consumo de energia elétrica do que os aparelhos convencionais.

Alguns aparelhos da Samsung (2017) possuem uma função chamada Smart Inverter, que de acordo com a empresa, chegam a apresentar uma economia de até 60% em relação aos modelos convencionais.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Sobre o local de estudo

Criada em 06 de setembro de 1963, pela Lei nº 385/63, na gestão do então prefeito Emílio Gomes, a Biblioteca Pública Elfrida Engel Nunes Rios – nome em homenagem à pioneira da cidade – teve sua primeira sede em uma das salas da Prefeitura Municipal. Entre os locais de funcionamento, existe ainda o prédio onde hoje funciona a Casa do Teatro, o prédio da Câmara Júnior e, no final da década de 80, o Colégio Parigot de Souza.

Desde 1997, está instalada na atual sede da Fundação Cultural, onde, em 2002, foi criado também um espaço exclusivo para as instalações da biblioteca infanto-juvenil. No ano de 2005, a biblioteca passou a ser informatizada – um passo importante para a modernização e dinamização no atendimento ao usuário. Em 2008, um programa de computador para leitura por deficientes visuais foi instalado na biblioteca, que passou a figurar entre as poucas no Brasil que disponibilizam leitura eletrônica aos portadores de necessidades especiais.

A biblioteca possui uma área total de 409,72m² sendo dividida em: área de estudos (236m²); área de acervo (100m²), e área administrativa (50,11m²). O acervo de livros conta com 28.907 exemplares. O seu horário de funcionamento é de segunda a sexta-feira das 08:00 às 18:00 horas.

3.2 Definição de cenários para as análises

A biblioteca é constantemente utilizada, seja nos meses de verão ou de inverno, permanecendo em funcionamento durante o ano todo, e sendo fechada ao público somente em períodos de finais de semana e feriados. O município de Foz do Iguaçu está localizado no Sul do país, no oeste do estado do Paraná. A temperatura ambiente em um mesmo dia pode ser baixa no período da manhã (sem a necessidade da utilização do ar-condicionado) e elevada no período da tarde (com a necessidade da utilização do ar-condicionado). O fluxo de usuários na biblioteca também varia muito, tanto ao longo do dia como ao longo do ano. Desta forma, para a realização das

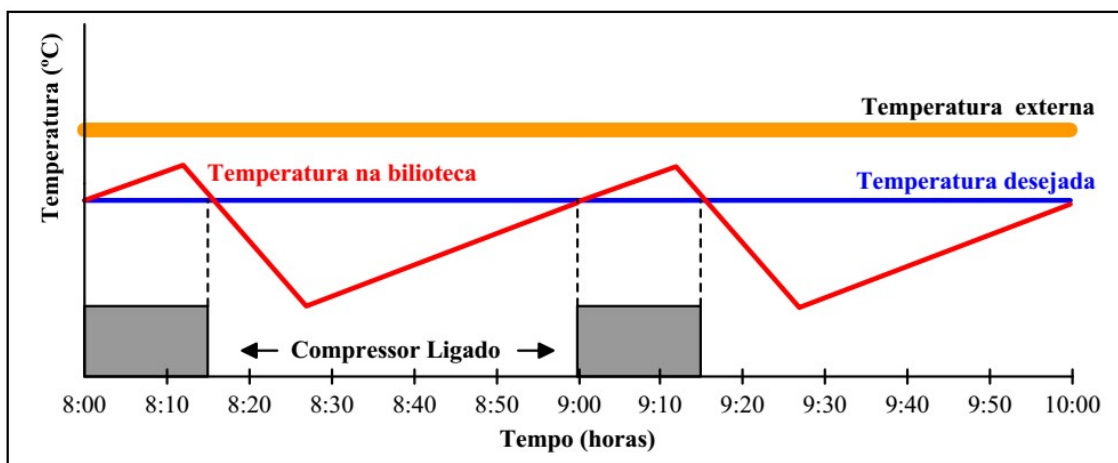
análises foram considerados três diferentes cenários para o funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado.

3.2.1 Primeiro cenário

No primeiro caso será considerado um período com temperaturas mais amenas (em torno de 20°C), e pouca movimentação de usuários na biblioteca (em torno de 10 pessoas). Nestas condições, será considerado que o compressor do aparelho de ar-condicionado permanece ligado 25% do tempo, ou seja, a cada hora o compressor ficaria ligado por 15 minutos (em todos os cenários foi analisada a faixa de horário que compreende das 8 às 10 horas da manhã).

Na Figura 3 apresenta-se uma caracterização do comportamento esperado para a temperatura na biblioteca com a utilização de um aparelho de ar-condicionado convencional. O traço alaranjado (mais espesso) é uma representação da temperatura externa, o traço em azul da temperatura desejada (regulada com a utilização do controle remoto do aparelho) e o traço em vermelho da temperatura no interior da biblioteca.

Figura 3 – Caracterização do comportamento esperado para a temperatura no primeiro cenário



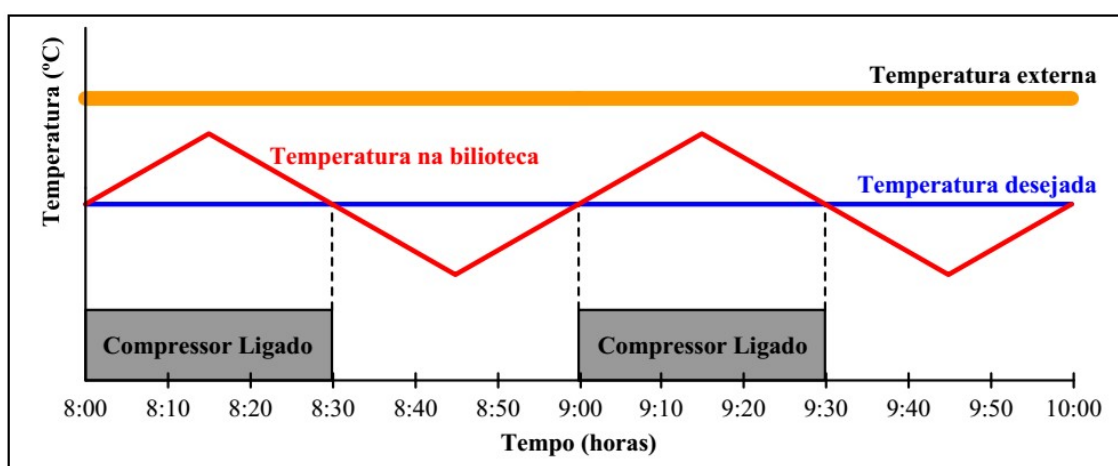
Fonte: Autoria própria

Observa-se que o tempo em que o compressor permanece ligado, está representado pelos retângulos cinzas, isto é, entre às 8h às 8:15h e das 9h às 9:15h, sendo de 15 minutos para ambos os casos, isto porque, a temperatura desejada é alcançada após 15 minutos de funcionamento do compressor (traço azul). Logo após, o compressor é desligado e, a temperatura na biblioteca leva em torno de 45 minutos para elevar-se até uma temperatura que acionaria novamente o compressor, para resfriar o ambiente.

3.2.2 Segundo cenário

No segundo caso (com temperatura externa em torno de 30°C) foi considerado que o compressor do aparelho de ar-condicionado ficaria ligado 50% do tempo, ou seja, em cada hora seria necessário o seu funcionando por um período de 30 minutos. Pode ser observado na Figura 4 uma caracterização para o comportamento da temperatura no ambiente (biblioteca) com a utilização de um aparelho de ar-condicionado convencional. Supõe-se, neste caso, que levaria o mesmo tempo para se elevar e se reduzir a temperatura.

Figura 4 – Caracterização do comportamento esperado para a temperatura no segundo cenário



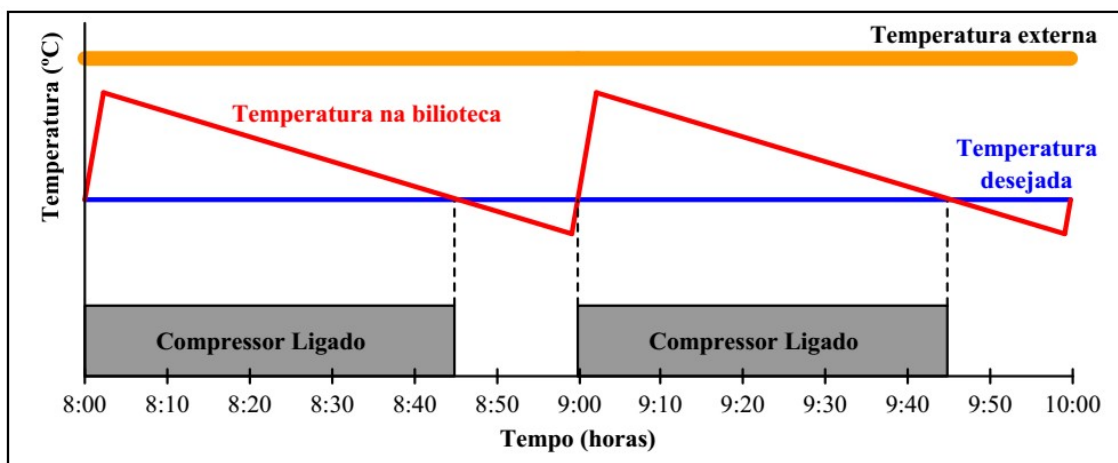
Fonte: Autoria própria

De acordo com o fabricante Pioneer (2017) a variação da temperatura (representada pelo traço em vermelho) pode ser de até 3 graus Celsius para mais ou para menos nos aparelhos do tipo convencional.

3.2.3 Terceiro cenário

Para o terceiro caso será considerado um dia de verão, onde a temperatura ambiente é mais elevada (em torno de 40°C), e existe uma grande movimentação de usuários na biblioteca (em torno de 50 pessoas). Desta forma o compressor do ar-condicionado deverá permanecer mais tempo ligado para garantir o resfriamento do ambiente, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Caracterização do comportamento esperado para a temperatura no terceiro cenário



Fonte: Autoria própria

O esboço do comportamento esperado para a temperatura mostra que, por ser um dia quente e com grande movimento de usuários, rapidamente a temperatura se eleva. Desta forma o aparelho deverá permanecer com o compressor funcionando durante a maior parte do tempo, sendo que neste caso o compressor permaneceria ligado por 45 minutos até conseguir reduzir a temperatura para o valor desejado.

3.3 Considerações sobre a economia de energia

De acordo com as informações apresentadas na sessão 2.2, os aparelhos com a tecnologia inverter são mais econômicos do que os aparelhos convencionais e pode ser obtida até 40% de economia. No entanto, neste trabalho não foi considerada somente a economia máxima.

Para a realização dos cálculos e a análise da engenharia econômica foi considerado que os aparelhos poderiam atingir 10%, 20%, 30% e 40% de economia. Desta forma, a análise completa considera os 3 cenários (com diferentes tempos de funcionamento), e para cada cenário existem 4 sub-cenários (com diferentes percentuais de economia).

3.4 Custo de aquisição dos aparelhos condicionadores de ar

Considerado que o sistema atual foi projetado corretamente e que a carga térmica é atendida com aparelhos de 60.000 BTU/h e que não foi encontrado no mercado um condicionador de ar da tecnologia inverter com capacidade de 60.000 BTU/h, foi estimado este valor a partir do custo unitário de aquisição de um BTU/h, o principal motivo desta estimativa se deve ao fato de que a aquisição de novos aparelhos se dá por licitação pública e esta é feita por unidade de BTU/h. Desta forma, os valores estimados para o preço de compra do aparelho Split-inverter foram calculados a partir da média de três valores para aparelhos de 24.000 BTU/h, de acordo com a Equação (1), e dois aparelhos de 30.000 BTU/h, de acordo com Equação (2).

$$P_{u24} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3 * 24.000} \quad (1)$$

A variável P_{u24} é o preço médio unitário dos aparelhos de 24.000 BTU/h, portanto, este valor representa o custo de aquisição de cada BTU/h quando comprados aparelhos deste tipo. P_1 representa o preço (R\$ 4.299,00) de um aparelho da marca FUJITSU, modelo High Wall Inverter de 24.000 BTU/h; P_2 é o preço (R\$ 2.860,00) de um aparelho da marca MIDEA, modelo Vita Inverter de 24.000; e P_3 é o preço (R\$ 3.729,00) do aparelho SAMSUNG, do modelo Smart Inverter de 24.000 BTU/h.

Na Equação (2), P_{u30} é o preço médio unitário dos aparelhos de 30.000 BTU/h, este valor representa o custo de aquisição de cada BTU/h quando comprados aparelhos deste tipo.

$$P_{u30} = \frac{P_4 + P_5}{2 * 30.000} \quad (2)$$

Como foram recebidos apenas dois orçamentos deste tipo de aparelho a média unitária foi calculada com os dois valores obtidos. Sendo que P_4 é o preço (R\$ 5.300,07) do aparelho da marca FUJITSU, modelo Split Inverter de 30.000 BTU/h; e P_5 é o preço (R\$ 3.599,00) do aparelho da marca ELETROLUX, modelo Eco Turbo de 30.000 BTU/h.

Na Equação (3) pode ser observado que P_e representa o preço médio de um aparelho Split-inverter com 60.000 BTU/h.

$$P_e = 60.000 * \frac{P_{u24} + P_{u30}}{2} \quad (3)$$

3.5 Situações adotadas sobre a aquisição do aparelho inverter

O aparelho de ar-condicionado atual utilizado na biblioteca (do tipo convencional) encontra-se em perfeito estado de funcionamento. Desta forma, o investimento necessário para a compra do novo aparelho deverá ser considerado integralmente para a realização dos cálculos.

Por outro lado, se o aparelho atual danificar, será necessário à compra de um novo equipamento. Portanto, deve ser levada em consideração a diferença dos preços de compra entre o tipo convencional e o tipo inverter.

Além disso, a instalação pode ser realizada por uma empresa terceirizada ou pelos próprios funcionários do setor de manutenção da prefeitura.

A partir dessas considerações foram criadas 4 suposições, que serão apresentadas nas subseções a seguir.

3.5.1 Caso 1

A primeira suposição foi composta pela aquisição do condicionador de ar Split-inverter e a remoção do aparelho atual mesmo que esteja em perfeito estado de funcionamento. Foi considerado, nesta suposição, o custo de R\$ 500,00 de mão de obra terceirizada, necessária para a retirada do aparelho

antigo (convencional) e também para a instalação do novo aparelho (inverter). Ao valor do preço estimado para o novo aparelho (P_e) deve ser adicionada a quantia de R\$ 500,00.

3.5.2 Caso 2

Nesta suposição a aquisição do condicionador de ar Split-inverter e a retirada do aparelho atual (convencional) serão realizadas pelos próprios funcionários do setor de manutenção da Prefeitura. Desta forma, o valor a ser considerado foi o próprio preço estimado (P_e).

3.5.3 Caso 3

Neste caso é considerado que o aparelho atual está danificado e é necessária a substituição pelo Split-inverter utilizando mão de obra terceirizada. A aquisição do Split-inverter deve ter descontado o valor do Split-condicionador, uma vez que a compra de novo aparelho seria inevitável. O valor do novo aparelho equivale ao preço estimado para o inverter subtraído do preço do modelo convencional (ou seja, $P_e - P_{conv}$). Ao valor obtido, deve ser somado também o custo de R\$ 500,00, referente ao pagamento dos serviços de mão de obra terceirizada.

3.5.4 Caso 4

Queima do aparelho atual e sua substituição pelo Split-inverter sem a contratação da mão de obra terceirizada. O valor do novo aparelho condicionador de ar deve ter o desconto do inverter com relação ao aparelho convencional, isto é, " $P_e - P_{conv}$ ".

3.6 Análise de engenharia econômica

Cada sub-cenário foi avaliado quanto aos indicadores econômicos TIR, VPL e Payback (PB) sendo apresentados em tabela com uma análise qualitativa destes fatores. Para a recomendação de substituição do sistema de

condicionamento de ar será adotado o critério de Payback menor que 48 meses (4 anos), tempo esse delimitado principalmente devido a gestão pública ser limitada por 4 anos também, dado este que um tempo de retorno maior pode levar o gestor a analisar outros setores da prefeitura cuja economia seja mais lucrativa do que o uso de condicionadores de ar baseados no sistema Split-inverter.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização dos cálculos foram utilizadas os 4 casos, relacionados a substituição ou necessidade de se comprar um aparelho de ar condicionado novo, e a utilização de mão de obra própria ou terceirizada.

Para cada caso foram considerados 3 cenários, onde o compressor do aparelho poderia permanecer ligado 25%, 50%, e 75% do tempo total do funcionamento da biblioteca (10 horas diárias).

Foi considerado, que para cada cenário a utilização do aparelho com a tecnologia inverter (em comparação com a tecnologia convencional) poderia fornecer uma economia na fatura de energia elétrica de 10%, 20%, 30% e 40%.

Para a realização de todas as análises foi necessário calcular um total de 48 valores distintos para cada um dos indicadores econômicos considerados, sendo o Payback, TIR e VPL.

4.1 Resultados para o Caso 1

O quadro 2 apresenta o resultado de todos os indicadores econômicos para os sub-cenários do Caso 1. Verifica-se que o Cenário 1 não apresenta viabilidade econômica, enquanto o Cenário 2 apresenta apenas para os sub-cenários com 30% e 40% , isso significa que o compressor do aparelho Split-inverter deve (obrigatoriamente) apresentar uma economia de, pelo menos, 30% em relação ao ar convencional. Caso isso seja comprovado o gestor não deve executar a simples troca deste produto sem ponderar o tempo de retorno de, aproximadamente, 18 anos que equivale à vida útil do aparelho (20 anos).

Sendo adotado o critério de 48 meses de tempo de retorno como sendo uma boa referência para o gestor optar pela troca, este cenário não é interessante à Prefeitura.

Quadro 2 – Indicadores econômicos para o Caso 1

Cenário 1 (25%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-3,71%	-2,87%	-2,04%	-1,21%
VPL (20a)	-R\$ 78.683,68	-R\$ 61.000,56	-R\$ 43.317,44	-R\$ 25.634,31
PB	inviável	inviável	inviável	inviável
Cenário 2 (50%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-2,87%	-1,21%	0,46%	2,12%
VPL (20a)	-R\$ 61.000,56	-R\$ 25.634,31	R\$ 9.731,93	R\$ 45.098,17
PB	inviável	inviável	176	97
Cenário 3 (75%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-2,04%	0,46%	2,96%	5,46%
VPL (20a)	-R\$ 43.317,44	R\$ 9.731,93	R\$ 62.781,30	R\$ 115.830,66
PB	inviável	176	81	54

Fonte: Autoria própria

O Cenário 3 apresentou-se melhor que os anteriores, sendo que a partir de uma economia de 20% (do sistema Split-inverter com relação ao convencional) já seria viável economicamente a instalação do aparelho. Porém, para todos os sub-cenários o tempo de retorno ficou maior do que o estipulado como limite máximo, que seria de 48 meses.

4.2 Resultados para o Caso 2

No quadro 3 podem ser observados os resultados obtidos para todos os indicadores econômicos dos sub-cenários do Caso 2.

Quadro 3 – Indicadores econômicos para o Caso 2

Cenário 1 (25%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-3,66%	-2,77%	-1,89%	-1,01%
VPL (20a)	-R\$ 73.228,79	-R\$ 55.537,05	-R\$ 37.845,31	-R\$ 20.153,57
PB	inviável	inviável	inviável	inviável
Cenário 2 (50%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-2,77%	-1,01%	0,76%	2,53%
VPL (20a)	-R\$ 55.537,05	-R\$ 20.153,57	R\$ 15.229,90	R\$ 50.613,38
PB	inviável	inviável	152	89
Cenário 3 (75%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-1,89%	0,76%	3,41%	6,06%
VPL (20a)	-R\$ 37.845,31	R\$ 15.229,90	R\$ 68.305,12	R\$ 121.380,33
PB	inviável	152	74	50

Fonte: Autoria própria

Considerando que a troca dos condicionadores seja feita pelo pessoal próprio, membros da equipe de manutenção e, portanto, desconsiderando o valor de mão de obra, esta suposição mostrou-se melhor que a primeira. É possível verificar que o Payback reduziu, em média, 10% nos cenários que apresentaram viabilidade, como por exemplo, no Cenário 2-30%.

Da mesma forma não parece interessante ao gestor investir na troca do aparelho de ar-condicionado atual (do tipo convencional) por outro modelo com a tecnologia inverter, dado que a melhor condição de PB é de 50 meses e dependente diretamente da obtenção da economia de 40% entre os sistemas.

4.3 Resultados para o Caso 3

O quadro 4 apresenta o resultado de todos os indicadores econômicos para os sub-cenários do Caso 3.

Neste Caso verifica-se que o Cenário 1 apresenta viabilidade econômica para os sub-cenários 1-30% e 1-40%, mas o valor do PB não é menor do que 48 meses. Além disso, é necessário que o Split-inverter apresente, pelo menos, 30% de economia em relação ao modelo convencional.

O gestor deve repensar a substituição deste produto se considerar somente a análise do Cenário 1, pois o tempo de retorno deste investimento seria de, aproximadamente, 19 anos a 5,5 anos com o Split-inverter apresentando uma economia entre 30 e 40% (respectivamente).

Quadro 4 – Indicadores econômicos para o Caso 3

Cenário 1 (25%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-2,43%	-0,33%	1,78%	3,88%
VPL (20a)	-R\$ 20.452,79	-R\$ 2.761,05	R\$ 14.930,69	R\$ 32.622,43
PB	inviável	inviável	107	68
Cenário 2 (50%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-0,33%	3,88%	8,09%	12,30%
VPL (20a)	-R\$ 2.761,05	R\$ 32.622,43	R\$ 68.005,91	R\$ 103.389,38
PB	inviável	68	40	29
Cenário 3 (75%)	10%	20%	30%	40%
TIR	1,78%	8,09%	14,41%	20,72%
VPL (20a)	R\$ 14.930,69	R\$ 68.005,91	R\$ 121.081,12	R\$ 174.156,33
PB	107	40	25	18

Fonte: Autoria própria

O Cenário 2 apresentou-se melhor que o primeiro, no qual uma economia de 20% do sistema Split-inverter (sobre o convencional) seria suficiente para tornar a troca economicamente viável tendo, porém, um tempo de retorno alto (aproximadamente 5,5 anos) com uma taxa interna de retorno de 3,88 %am. No entanto, quando analisados os sub-cenários 2-30% e 2-40% verifica-se um Payback inferior ao estabelecido na metodologia (48 meses) sendo de 40 e 29 meses (respectivamente), apresentado ao gestor uma excelente opção de investimento.

Já o Cenário 3 apresentou-se o melhor, como esperado, mostra-se viável para todos os sub-cenários, dado que a relação de economia do Split-inverter é relacionada ao consumo de energia e neste cenário os compressores ficam ligados por 75% do tempo total de uso. É possível verificar que o tempo de retorno pode chegar a um ano e meio (Cenário 3-40%), caso o sistema Split-inverter apresenta a economia máxima indicada pelos fabricantes (em alguns modelos).

Os sub-cenários 3-20%, 3-30% e 3-40% apresentaram tempos de retorno inferiores aos 48 meses estipulados como Payback ótimo neste trabalho, mostrando ser uma boa escolha fazer a troca do condicionador mesmo com mão de obra terceirizada (estimada em R\$ 500,00).

Destaca-se que o aparelho Split-inverter escolhido deve apresentar economia maior que 30% no caso de o compressor trabalhar 50% do tempo de uso do ar condicionado ou apresente apenas 20% de economia caso o compressor trabalhe 75% do tempo de uso do ar.

Supondo não ser possível garantir que o uso do compressor seja de 25% ou 75% do tempo de funcionamento do condicionador de ar convencional, é possível, ainda, indicar a substituição do sistema quando o Split-inverter apresentar economia superior a 30%.

4.4 Resultados para o Caso 4

O quadro 5 apresenta o resultado de todos os indicadores econômicos para os sub-cenários do Caso 4.

Este caso é o mais favorável à troca do condicionador de ar, porque nele o gestor deve considerar que gastará apenas a diferença do valor entre os dois aparelhos condicionadores, utilizando-se de mão de obra própria para a retirada do aparelho queimado e a instalação do novo aparelho.

A análise é similar ao Caso 3 porém constata-se que o tempo de retorno (PB) fica, em média, 35% menor nos sub-cenários 2-30%, 2-40%, 3-20%, 3-30% e 3-40%.

Quadro 5 – Indicadores econômicos para todos os sub-cenários do Caso 4

Cenário 1 (25%)	10%	20%	30%	40%
TIR	-2,08%	0,37%	2,83%	5,28%
VPL (20a)	-R\$ 15.006,51	R\$ 2.685,23	R\$ 20.376,97	R\$ 38.068,71
PB	inviável	184	83	55
Cenário 2 (50%)	10%	20%	30%	40%
TIR	0,37%	5,28%	10,20%	15,11%
VPL (20a)	R\$ 2.685,23	R\$ 38.068,71	R\$ 73.452,18	R\$ 108.835,66
PB	184	55	33	24
Cenário 3 (75%)	10%	20%	30%	40%
TIR	2,83%	10,20%	17,56%	24,93%
VPL (20a)	R\$ 20.376,97	R\$ 73.452,18	R\$ 126.527,40	R\$ 179.602,61
PB	83	33	21	16

Fonte: Autoria própria

Estes sub-cenários mencionados apresentaram Payback menor que 48 meses, dos quais é interessante ao gestor buscar aparelhos Split-inverter que garantam economia maior que 30%.

Neste cenário a condição para o tempo necessário para que o compressor permaneça em funcionamento é similar ao do Caso 3, porém as condições favoráveis dadas pelo critério de queima (inutilização) do aparelho convencional mostram viabilidade em qualquer condição de uso do compressor do sistema convencional, se a utilização do aparelho Split-inverter apresentar economia superior a 20%.

5 CONCLUSÕES

Foi chegada a uma conclusão inicial de que a troca do aparelho condicionador de ar atualmente instalado na biblioteca não seria viável ser trocado por um modelo inverter, nem com a utilização de mão de obra terceirizada (Caso 1), nem com a utilização de mão de obra própria (Caso 2).

Porém a engenharia econômica mostrou a viabilidade na substituição no Cenário 2, sendo que nesta condição a economia do modelo inverter em relação ao modelo convencional deve ser de, no mínimo, 30%. Uma economia mínima de 20% seria suficiente para ocasionar a viabilidade para o Cenário 3. Contudo o tempo de retorno (payback) ficou superior ao estipulado na metodologia (que foi de 48 meses).

É viável a aquisição do modelo com tecnologia inverter caso ocorra alguma avaria que torne inutilizável o aparelho convencional atualmente instalado na biblioteca. Com a instalação realizada por de mão de obra terceirizada (Caso 3), seria necessário obter economia de 30% entre os sistemas analisados, e a utilização do Split-inverter seria indicada se constatado o Cenário 2 ao longo do horário de atendimento da biblioteca.

De forma similar, é indicada a substituição do aparelho quando ocorrer a queima (inutilização) do ar-condicionado atualmente instalado e com a utilização de mão de obra própria para a instalação do novo aparelho (Caso 4). Este caso apresenta uma redução média de 35% no tempo de retorno (payback), sendo este caso o recomendado ao final da realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758>>. acesso em: 11 abr. 2017.

DAIKIN. **Low-Impact Products**. Disponível em: <<http://www.daikin.com/csr/environment/production/index.html>>. acesso em 11 abr. 2017.

JACOBI, Pedro. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. Caderno Pesquisa, São Paulo, n.118, p. 1-17, mar. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

PEREIRA, Natanael C. Apostila de Introdução à Administração. Introdução à Administração do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de São Paulo. São Carlos, 2015.

PIONEER. **Inverter Air Conditioners**. Disponível em: <<http://pioneerair.com.au/air-conditioning-products-for-australia/inverter-air-conditioners/>>. acesso em: 11abr. 2017.

ELETROBRÁS - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Gestão Energética**: guia técnico. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 188 p.

MORALES, Clayton. Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio à gestão: classificação por prioridade de atuação na universidade de São Paulo. 2016. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SAMSUNG. **Recurso Smart Inverter**. Disponível em: <<http://www.samsung.com/br/consumer/home-appliances/air-conditioners/inverter/ASV09PSBTXAZ>>. acesso em: 11abr. 2017.

TOSHIBA. **Toshiba Air Conditioners - Modern Technologies**. Disponível em: <http://www.ahi-toshiba.com/quality/index.php?ELEMENT_ID=355>. acesso em: 11abr. 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU – **Estado do Paraná**. Disponível em: <<http://www.pmfi.pr.gov.br/turismo/?idMenu=1227>>. Acesso em: 11 abr. 2017.