



Ana Letícia Pascoto da Silveira

**Análise da eficiência energética de uma
residência**

Projeto de Graduação

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Orientador: Sergio Leal Braga

Rio de Janeiro
Dezembro de 2018

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu amigo e futuro companheiro de profissão Rodrigo D'Amico, por todo apoio e paciência comigo durante este fim de curso. Agradeço também minha querida amiga Gabriela Senra por tornar minha graduação mais sutil, sendo uma menina dedicada e divertida.

A todos os professores que tive durante a faculdade, em especial o professor Sergio Braga com quem tive o prazer de desenvolver este projeto e participar da matéria de Máquinas Térmicas, uma das disciplinas melhor ministradas que tive durante a graduação.

Agradeço principalmente a minha família, a minha querida mãe, por ser o maior exemplo de mulher guerreira e dedicada que conheço, e aos meus irmãos e melhores amigos, a quem devo minhas alegrias diárias. É pensando neles que crio toda força e coragem para me tornar cada dia mais uma pessoa melhor.

Resumo

Análise da eficiência energética de uma residência

No cenário atual, as principais preocupações de um projeto de engenharia estão relacionadas à eficiência e as questões ambientais. Para garantir a satisfação do projeto dentro destas preocupações é preciso estudar principalmente o uso das fontes energéticas. No quesito de eficiência, relaciona-se a quantidade de energia utilizada em uma atividade com a quantidade de energia disponível para sua realização. Já no quesito ambiental, assegura-se na utilização de energias renováveis para o consumo das necessidades energéticas. Além disso, os valores de energia podem ser convertidos para gerar um valor de custo das máquinas térmicas utilizadas, sendo possível avaliar o projeto de acordo com as limitações econômicas geradas pelas máquinas. Este trabalho visa analisar a parte da eficiência energética de uma casa, assim como uma relação entre o consumo energético e a renda de cada região do Brasil.

Palavras-chave

energia; eficiência; residência.

Abstract

Energy efficiency analysis of a residence

Nowadays, the main preoccupations of an engineering project are related to its efficiency and environmental impacts. In order to ensure the project meets this concerns it is necessary to study the use of its energy resources. When it comes to efficiency, the amount of utilized energy is related to the amount of available energy. Regarding the environmental issues, there is a preference to use renewable energy as the main energy resource. Moreover, the cost of energy can be used as an indicator of the cost of the machinery used and, therefore, it is possible to financially avaiate the project's limitations due to machinery. This report aims on analysing the energetic efficiency of a residence as well as to find a relation between energy consumption and wealth of all regions of Brazil.

Keywords

energy; efficiency; residence.

Sumário

1	Introdução	8
1.1	Procel	9
2	Objetivo	11
3	Energia	12
3.1	Formas de energia	13
3.2	Recursos energéticos	15
3.3	Leis da Termodinâmica	15
4	Procedimento	19
5	Distribuição do consumo de energia residencial	20
5.1	Dados	20
5.2	Gráfico da distribuição do consumo	23
6	Análise da residência	25
6.1	Cálculo do CEE	27
6.2	Ar condicionado	28
6.3	Geladeira	28
6.4	Televisão	29
7	Análise do consumo residencial de energia no Brasil	30
8	Conclusão	33

Lista de figuras

1.1	Exemplo do modelo de etiqueta fornecida pelo Procel	10
3.1	Diferentes formas nas quais a energia pode se apresentar	16
5.1	Distribuição do consumo de energia segundo dados do Procel	24
6.1	Método de avaliação para classificação do selo Procel	28
6.2	Método de avaliação para classificação do selo Procel	29
7.1	Gráfico que relaciona o consumo de energia com o PIB de cada região do país em 2016	31
7.2	Gráfico relacionando o PIB per capita e o consumo residencial médio mensal das regiões do Brasil.	32

Lista de tabelas

3.1	Energia disponível em sistemas reais	15
5.1	Tabela referente ao grupo 1: Banheiro.	21
5.2	Tabela referente ao grupo 2: Climatizadores.	21
5.3	Tabela referente ao grupo 3: Computadores.	21
5.4	Tabela referente ao grupo 4: Cozinha.	22
5.5	Tabela referente ao grupo 5: Iluminação.	22
5.6	Tabela referente ao grupo 6: Lavanderia.	23
5.7	Tabela referente ao grupo 7: Televisores.	23
6.1	Distribuição por categorias do consumo de energia do apartamento	25
6.2	Participação dos eletrodomésticos dentro de suas respectivas categorias	26
6.3	Consumo em kWh de cada aparelho ao longo do período estudado	26
6.4	Tabela com os valores mensais e o valor médio do CEE para os aparelhos estudados	27
7.1	Tabelas com dados de consumo energético referentes às regiões do Brasil	30

1

Introdução

Atualmente, existe uma crescente preocupação com os recursos naturais para geração de energia, pois a escassez deles, junto a outros fatores, resulta nos déficits do setor energético, principalmente no Brasil. Em um projeto de engenharia, a parte energética deve ser bem estudada a fim de garantir que os recursos a serem aplicados estejam de acordo com as normas e objetivos do projeto.

Uma forma de avaliar o projeto é por meio da eficiência, que relaciona os recursos empregados com os resultados obtidos. Por sua vez, a eficiência também está diretamente ligada aos custos do funcionamento de um aparelho ou uma máquina, já que é necessário pagar por aqueles recursos. Sendo assim, pode-se estudar a parte energética de maneira ampla, abrangendo desde a escolha dos recursos até sua utilização.

Estudos e medidas que visam melhorar a eficiência energética podem evitar o uso excessivo e desnecessário dos recursos energéticos, diminuindo os custos e primordialmente garantindo a sustentabilidade do projeto.

Sabe-se que a geração de energia tem impacto direto no meio ambiente, por isso, é evidente a crescente demanda por energias renováveis, aquelas que são provenientes de recursos naturais e naturalmente reabastecidas. Utilizá-las como fonte de energia para suprir as necessidades de um projeto é uma forma eficiente de se reduzir o consumo de energia não limpa.

Só nos últimos anos a eficiência energética ganhou importância no Brasil, que tem sofrido com a demanda excessiva de energia. Os índices de perda e desperdício de eletricidade são muito altos, chegando a US\$ 2.8 bilhões por ano segundo o Programa Nacional De Conservação de Energia Elétrica, Procel. Por isso, fazem-se necessárias políticas energéticas que estimulem tanto a eficiência quanto melhorias nos equipamentos utilizados em projetos.

A importância desta preocupação com o consumo de energia e a eficiência não só gera diversas mudanças e transformações do sistema energético mundial, mas também discussões e debates entre países, principalmente os mais preocupados com sua matriz energética. Um exemplo dessas transformações acontece na União Européia, que por meio de políticas energéticas objetiva diminuir o consumo anual de energia em 20%. A partir de normas e regras, as medidas visam melhorar a eficiência em todas as fases da cadeia de energia, certificando produtos, serviços e infraestruturas a uma concepção ecológica que

auxilia não apenas na redução do consumo de energia em sua totalidade, como também na sustentabilidade e economia dos países.

O Brasil trabalha com as metas do Acordo de Paris, que garante o aumento do uso de bioenergia sustentável na sua matriz energética em 18% até 2030. No entanto, além das energias renováveis, é preciso evitar o desperdícios de energia e aumentar a eficiência, ou seja, gastar menos energia e realizar mais trabalho consumindo menos energia.

1.1

Procel

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica é um programa do governo brasileiro, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobras. Suas ações são destinadas ao aumento da eficiência dos bens de serviços, ao desenvolvimento de hábitos, a conhecimentos sobre o consumo eficiente de energia e também a avaliar os investimentos do setor elétrico a fim de diminuir os impactos ambientais, gerando benefícios para toda sociedade.

A partir de sucessivas crises nacionais e internacionais, afetando o abastecimento, durante as quais a economia de energia passou a fazer parte de um grande esforço nacional de combate ao desperdício, o Procel ampliou sua área de atuação, desenvolvendo uma série de projetos dirigidos para as classes de consumo industrial, comercial, residencial, iluminação pública, rural e poder público, com ênfase em prédios públicos.

O programa possui um Selo de Economia de Energia, instituído por um Decreto Presidencial em 1993, que identifica os equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes e que menos consomem energia. O objetivo deste selo, além de informar ao consumidor, é estimular a produção e a disponibilidade de equipamentos cada vez mais eficientes, e para isso, os equipamentos são submetidos a ensaios em laboratórios indicados pela Eletrobras, sendo que, os que atingirem os índices de desempenho estabelecidos garantem o Selo Procel.

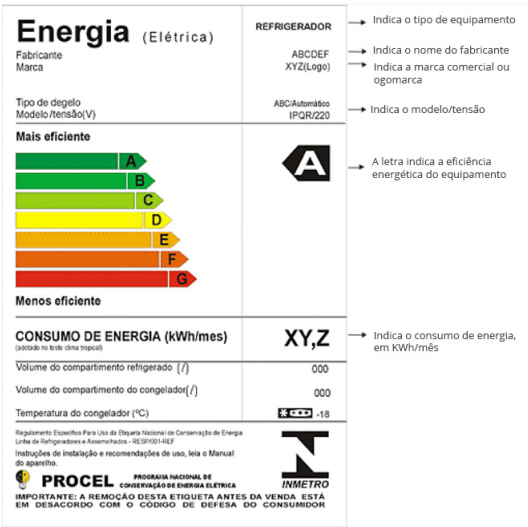


Figura 1.1: Exemplo do modelo de etiqueta fornecida pelo Procel

Ao economizar energia, adia-se a necessidade de construção de novas usinas geradoras e sistemas elétricos associados, disponibilizando recursos para outras áreas e contribuindo para a preservação da natureza. A conservação de energia, como conceito socioeconômico está apoiada em duas ferramentas para conquistar sua meta: mudança de hábitos e eficiência energética.

2

Objetivo

Este projeto de graduação final visa avaliar a eficiência energética de um modelo de residência, analisando os equipamentos utilizados e garantindo a veracidade das suas respectivas etiquetas de energia.

Os cálculos serão feitos de acordo com estimativas do consumo mensal para uma residência, feita a partir de dados retirados do site do Procel, e com os princípios da termodinâmica para as máquinas estudadas.

Além disso, o relatório objetiva encontrar uma relação entre o nível de consumo energético e o poder aquisitivo para cada região do Brasil.

3

Energia

O estudo de Energia é muito amplo, diverso e está presente de diferentes maneiras em nossa vida. Essa diversidade cobre desde o uso dos recursos naturais até o desempenho das máquinas modernas. Assim, pode-se relacionar os temas técnicos (análise termodinâmica), sócio-econômicos e ambientais (emissões e custos).

No século IV A.C, Aristóteles identificava energia como uma “realidade em movimento”, mas em uma concepção mais moderna, o conceito de energia é desenvolvido juntamente com a Termodinâmica. Uma das definições usuais descreve a energia como “medida da capacidade de efetuar trabalho”, mas essa perde o sentido quando aplicado ao calor, uma forma de energia que é apenas parcialmente convertida em trabalho, enquanto outras formas de energia como mecânica e elétrica, por exemplo, podem ser totalmente convertidas em outras formas.

Uma melhor proposta para a definição de energia foi dada por Maxwell em 1872: “energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste à essa mudança”. Esta definição pode ser melhor entendida se pensarmos em transformações: alteração das condições e do estado de um sistema. Essas mudanças de estado implicam vencer resistências e, para isso, usa-se a energia, ou seja, ela é a fonte motriz para tais modificações nas condições de estado de um sistema.

Portanto, definir energia é quase tão importante quanto perceber sua existência como a motivação de qualquer mudança. A maior parte das leis físicas que regem a natureza são variantes das leis básicas dos fluxos energéticos.

A potência, que é a velocidade com que a energia é transformada, é um conceito importante para tratar de processos onde o tempo é essencial. Para uma sociedade que tende a atender as demandas energéticas de forma rápida, a preocupação com a potência é tão importante quanto com a energia.

A energia pode ser convertida e armazenada em suas diversas formas, o que facilita os processos no qual a energia disponibilizada não está na forma como se necessita. Em geral, os sistemas energéticos são constituídos de diversas conversões e transformações da energia através de uma sequência de processos, visando atender adequadamente cada demanda.

Um dos exemplos de uma transformação de energia é quando esfregamos nossas mãos e percebemos um aumento da temperatura delas. Neste caso, temos a energia mecânica do movimento das mãos se transformando em calor.

Existe também o conceito de tipos de energia de acordo com a posição destas energias numa sequência de processos.

- Energia primária

Energia fornecida pela natureza e pode ser usada diretamente ou convertida em outra forma energética.

- Energia secundária

Energia resultante de uma conversão. O objetivo da energia secundária seria se adequar ao uso e à demanda, pode ser também convertida em outras formas de energia.

- Energia útil

Forma energética efetivamente demandada pelo usuário.

A relação entre a energia útil (a energia realmente utilizada no processo) e a demanda de energia (muitas vezes a energia secundária) é dada pela eficiência energética do equipamento.

3.1

Formas de energia

A energia se apresenta de diversas formas que podem ser convertidas entre si. Nestes processos de conversão, identifica-se a existência da energia que pode surgir como forma de calor ou trabalho. De forma prática, o calor é o fluxo de energia decorrente de uma diferença de temperatura e o trabalho é caracterizado pelo fluxo de energia de um processo análogo à elevação de um peso. Algumas formas de energia serão listadas a seguir:

- Energia nuclear

Resultado da fusão dos núcleos de átomos de hidrogênio, que resulta também numa diferença de massa entre os reagentes e produtos de reação, liberando grandes quantidades de energia.

- Energia atômica

Relacionada com o processo de fissão de átomos pesados e seus isótopos, que tendem a fissionar-se e se converter em elementos com número atômico menor, provocando uma liberação de energia devido à perda de massa.

- Energia química

Energia acumulada na forma de ligações entre átomos e moléculas. As ligações químicas existentes nas moléculas dos reagentes contêm mais

energia do que as ligações nas moléculas dos produtos. Nos processos de combustão, a energia química de reações nos combustíveis é convertida em energia térmica na forma de gases, já nas baterias e pilhas elétricas, observa-se a transformação de energia química em eletricidade. Nos músculos, a energia química dos alimentos é transformada em energia mecânica para suas atividades vitais.

– Energia elétrica

Associada à circulação de cargas elétricas através de um campo elétrico e pode ser definida como o produto entre a potência elétrica e o tempo no qual esta potência se desenvolve.

– Energia térmica

Apresenta-se de duas formas: radiação térmica ou energia interna. Na radiação térmica, a energia não precisa de qualquer meio material para se propagar, pois se trata de uma radiação eletromagnética. A energia interna associa-se à agitação térmica de um material, que pode ser medida pela temperatura.

– Energia mecânica (potencial ou cinética)

A energia potencial se associa a uma força estática e pode ser potencial elástica, que se acumula em molas ou gases comprimidos, ou gravitacional, que depende da posição de uma massa em um campo gravitacional. A energia mecânica cinética está associada à inércia das massas em movimento considerando as velocidades lineares.

As formas de energia apresentadas não esgotam todas as maneiras de se ter energia, já que esta existirá sempre que houver alguma mudança de estado. Além das definições, todas as formas de energia podem ser calculadas e mensuradas em variáveis energéticas. Como a energia é um conceito muito amplo e está presente em nossas vidas de diversas maneiras, as variáveis energéticas permitem traduzir em uma mesma linguagem estes fenômenos distintos do universo, desde o movimento da Terra em volta do Sol até o consumo de energia de uma residência. Todas essas mudanças e transformações com a manifestação de fluxos energéticos. A tabela 3.1 ¹ apresenta alguns valores para energia associados aos processos reais, naturais ou tecnológicos.

¹Tabela retirada do livro “EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES”, referência número 5

Tabela 3.1: Energia disponível em sistemas reais

Sistema	Energia [J]
Energia emitida pelo Sol em 24H	3×10^{32}
Radiação recebida pela Terra em 24H	5.5×10^{24}
Maior bomba de Hidrogênio testada	2.4×10^{17}
Energia química em 100ton de carvão mineral	2.5×10^{12}
Consumo anual de gasolina de um carro compacto	4×10^{10}
Energia química em um barril de petróleo	6.5×10^9
Energia cinética de uma bola de tênis a 25m/s	1.5×10^1
Energia cinética de uma gota de chuva caindo a 6m/s	7.5×10^{-5}

3.2

Recursos energéticos

Recursos energéticos são as reservas de energia disponíveis na natureza e que podem ser utilizados para atender as demandas da população, sendo classificados como recursos fósseis ou recursos renováveis.

– Recursos fósseis

Referem-se aos materiais estocados que armazenam energia química que é acumulada a partir da radiação solar, como acontece no petróleo, carvão mineral, gás natural.

– Recursos renováveis

São dados por fluxos naturais, como a energia hidráulica, energia solar, energia geotérmica, ou seja, fluxos de energia que dependem do movimento da terra.

As reservas destas energias fósseis são finitas e se reduzem à medida que são consumidas e, por isso, é importante manter as escalas de uso bem definidas para evitar o desperdício. Enquanto isso, os recursos renováveis estão dispostos no meio ambiente, renovando-se a uma taxa maior do que a do consumo humano. Ainda assim, é considerável observar que a utilização inadequada dos recursos renováveis pode gerar sua exaustão, quando a exploração é maior que sua taxa natural de reposição.

3.3

Leis da Termodinâmica

Uma característica essencial das formas energéticas é a capacidade de intraconversão. Deste modo, as formas energéticas podem se converter em outras formas, de modo espontâneo ou intencional, de maneira que se adequem as utilizações desejadas. A figura 3.1 apresenta as principais formas de conversão de energia entre as seis formas básicas de energia.

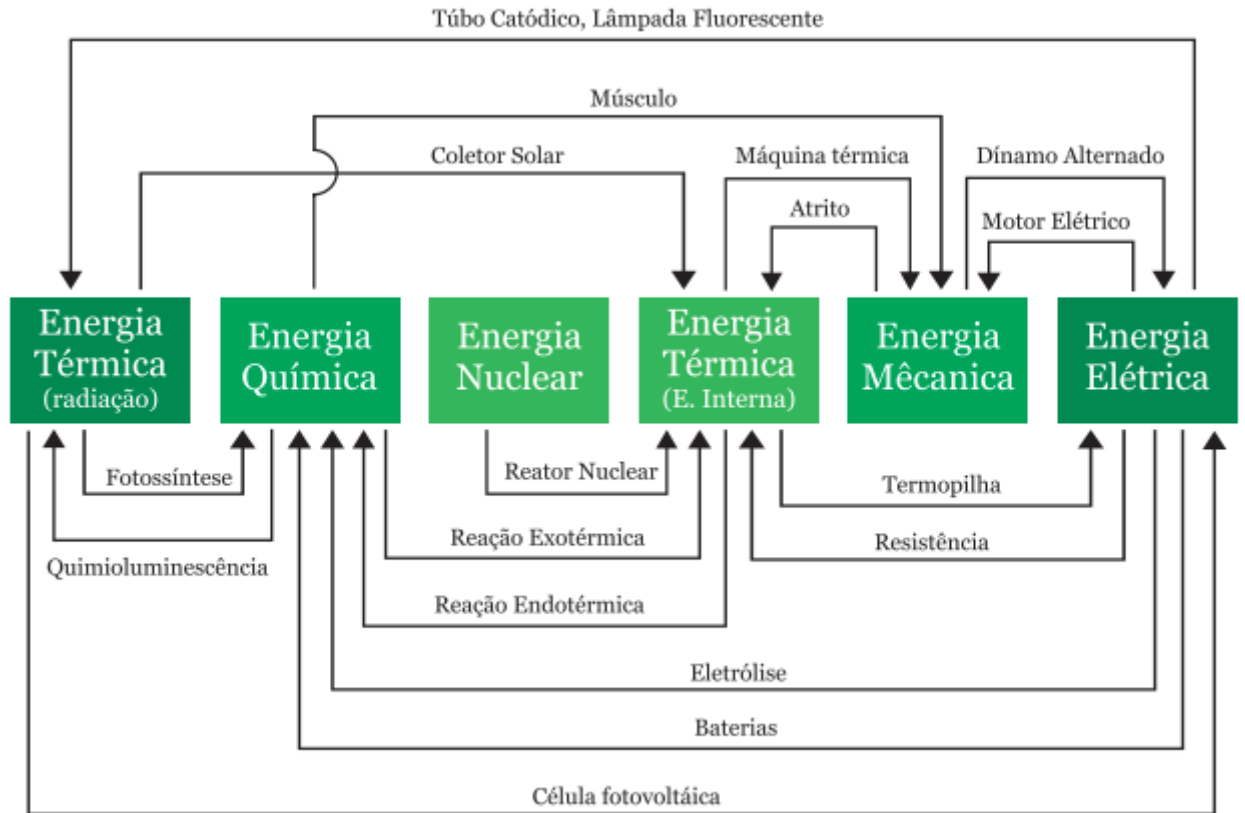


Figura 3.1: Diferentes formas nas quais a energia pode se apresentar

Independente dos sistemas estudados e dos tipos de energia envolvidos, os processos de conversão são regidos por duas leis fundamentais.

– Primeira lei da Termodinâmica

A lei propõe que a energia não se cria nem se destrói, garantindo que a energia está sempre sendo transformada. A partir disso, nota-se que em um dado período de tempo, o somatório dos fluxos energéticos em um sistema é constante e se apresenta desta forma:

$$\dot{E}_{entra} + \dot{E}_{gerada} = \dot{E}_{sai} + \dot{E}_{perdas}$$

A aplicação desta lei pressupõe uma convenção de sinais para os fluxos energéticos: o fluxo é positivo quando tende a aumentar a energia do sistema. Assim, pode-se determinar e quantificar o balanço dos fluxos de energia (entrando e saindo) em sistemas.

O conceito de eficiência energética está associado à primeira lei da Termodinâmica, porque relaciona energia útil e consumo de energia do

sistema, e ambas taxas podem ser extraídas a partir do balanço de energia do sistema.

– Segunda Lei da Termodinâmica

Esta lei pode ser justificada pelos sistemas irreversíveis, nos quais o aumento da entropia garante a mudança de configurações e estados do sistema. Assim, é quase impossível garantir que um sistema seja reversível e esse é apenas utilizado para estudos teóricos em ciclos de geração de energia. A irreversibilidade, quando aplicada aos sistemas térmicos, nos propõem outros tipos de definições.

Nos sistemas térmicos a segunda lei garante que para qualquer processo de conversão de energia, existe uma parcela de energia térmica como produto. Se o objetivo do processo é transformar energia mecânica em calor, tal conversão pode ser total. Porém, se o propósito for o inverso, a conversão de energia térmica em mecânica, ela será sempre parcial.

Nessa perspectiva, essa lei mostra as limitações impostas pela natureza quando se transforma calor em trabalho e é baseada em três enunciados²:

- Enunciado de Clausius

“É impossível construir um dispositivo que opere, segundo um ciclo, e que não produza outros efeitos, além da transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente.”

Em outras palavras, esse enunciado afirma a impossibilidade de um corpo transferir calor para outro corpo de temperatura mais elevada sem intervenção do meio exterior, ou seja, não é possível construir um “refrigerador” ideal.

- Enunciado de Kelvin-Planck

“É impossível construir um dispositivo que opere em um ciclo termodinâmico e que não produza outros efeitos, além do levantamento de um peso (isto é, trabalho) e troca de calor com um único reservatório térmico.”

Esse enunciado atesta que não se pode criar um motor térmico que seja capaz de converter integralmente em trabalho o calor absorvido pela máquina.

- Enunciado de Carnot

“Para que uma máquina térmica realize trabalho são necessárias duas fontes térmicas de diferentes temperaturas.”

²As definições foram retiradas do livro Borgnakke, Sonntag, “*Fundamentos da Termodinâmica 8ª edição*”, Edgard Blucher Ltda, 2013.

Esse enunciado diz que todo ciclo opera entre uma fonte fria e uma fonte quente.

A partir destes enunciados, é fácil concluir que não é possível construir uma máquina térmica que transforme integralmente o calor em trabalho.

A primeira lei da termodinâmica, ou lei da conservação de energia, permite quantificar os fluxos energéticos em um sistema em regime permanente, isto é, quando não há variação da energia com o tempo.

Baseia-se, nesta lei, o conceito de eficiência energética ou desempenho de um sistema, que relaciona o efeito energético útil com o consumo energético do sistema. A eficiência pode ser melhor compreendida pela relação custo/benefício. O custo pode ser visto como a energia consumida, isto é, a quantidade de energia que “pagamos” para ser utilizada. Já o benefício, está associado à parcela da energia consumida que é utilizada para o fim da máquina. Deste modo:

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\textit{beneficio}}{\textit{custo}} \\ \eta &= \frac{\textit{energia consumida} - \textit{perdas}}{\textit{energia consumida}}\end{aligned}\tag{3-1}$$

Assim, é possível realizar o cálculo da eficiência relacionando a energia consumida/energia útil e as perdas, com os parâmetros específicos do sistema a ser analisado.

4

Procedimento

A caracterização da situação energética baseia-se na avaliação dos recursos energéticos disponíveis e na quantificação dos fluxos das várias formas de energia e da sua repartição pelos diversos sectores que definem a estrutura económica da residência.

Para realização dessa avaliação foi necessário coletar uma série de dados disponíveis nos sites do Procel, Inmetro e EPE (Empresa de Pesquisa Energética), como consumo médio mensal, potência nominal, tempo de uso, tudo específico para cada tipo de aparelho consumidor de energia elétrica da rede. Tais aparelhos foram divididos em categorias de acordo com função que desempenham na residência, como, por exemplo, Climatizadores (ar condicionado e ventilador), Cozinha (geladeira, microondas), Televisores (televisão, internet, DVD's).

Uma vez na posse desses dados, foi possível plotar um gráfico de pizza o qual mostra a participação percentual aproximada do consumo de energia elétrica de diferentes grupos de aparelhos.

Além de fazer uso de informações publicamente disponíveis, foi utilizada a conta de luz de um apartamento localizado em um bairro nobre de Niterói, Rio de Janeiro, com o objetivo de aplicar a distribuição de consumo previamente estimada para se obter, aproximadamente, o consumo energético dos principais produtos eletrônicos.

Dessa maneira, foi possível calcular a eficiência de cada aparelho estudado a partir da estimativa da sua energia consumida da rede elétrica e da parcela da energia que representa o benefício proporcionado pelo respectivo eletrodoméstico.

Nessa perspectiva, sabendo uma aproximação para o coeficiente de eficiência energética e utilizando os critérios de classificação do Inmetro, foi possível categorizar cada aparelho estudado. Assim, foi feita uma comparação entre os resultados obtidos e a classificação dada por aquele órgão.

5

Distribuição do consumo de energia residencial

5.1

Dados

Como já foi dito anteriormente, os dados apresentados abaixo foram retirados do site do Procel¹.

Para facilitar o entendimento, os aparelhos eletrônicos foram subdivididos, de acordo com sua utilização, em sete categorias:

1. Banheiro;
2. Climatizadores;
3. Computadores;
4. Cozinha;
5. Iluminação;
6. Lavanderia;
7. Televisores.

Abaixo seguem tabelas, divididas conforme essas categorias, contendo o consumo médio mensal dos eletrodomésticos que existem na residência estudada.

5.1.1

Banheiro

Nessa categoria foram incluídos os aparelhos normalmente encontrados em banheiros, como chuveiro elétrico, chapinha e secador de cabelo. Aqui também foi incluída a bomba d'água, pois é no banheiro que consome a maior quantidade de água em uma residência.²

¹A tabela da qual foram retirados os valores nessa seção encontra-se no seguinte endereço eletrônico: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000}>

²Dados retirados do item 7 da lista de referências.

Tabela 5.1: Tabela referente ao grupo 1: Banheiro.

Aparelho elétrico	Consumo Médio Mensal (kWh)
Bomba d'água	7,2
Chuveiro Elétrico	72
Chapinha	0,33
Secador de Cabelo - 1000W	5,21
Total consumido:	84,74

5.1.2 Climatizadores

Ar condicionado, ventiladores, são exemplos das máquinas dessa categoria.³

Tabela 5.2: Tabela referente ao grupo 2: Climatizadores.

Aparelho elétrico	Consumo Médio Mensal (kWh)
Ar-condicionado Split de 20.001 a 30.000 btu/h	439,2
Ventilador de teto	17,52
Total consumido	456,72

5.1.3 Computadores

A essa categoria pertencem os acessórios associados a computadores, como, por exemplo, impressoras, roteadores, monitores.⁴

Tabela 5.3: Tabela referente ao grupo 3: Computadores.

Aparelho elétrico	Consumo Médio Mensal (kWh)
Computador	15,12
Impressora	0,45
Modem de internet	1,92
Monitor	13,2
Notebook	4,8
Roteador	1,44
Total consumido:	36,93

³Dados retirados do item 7 da lista de referências.

⁴Dados retirados do item 7 da lista de referências.

5.1.4 Cozinha

Os aparelhos destinados à cozinha foram agrupados nessa categoria, como geladeira, freezer.⁵

Tabela 5.4: Tabela referente ao grupo 4: Cozinha.

Aparelho elétrico	Consumo Médio Mensal (<i>kWh</i>)
Micro-ondas	13,98
Freezer vertical - frost free	54
Geladeira 2 portas - frost free	56,88
Grill	3,2
Liquidificador	0,8
Sanduicheira	3,35
Torradeira	4
Total consumido:	136,21

5.1.5 Iluminação

Todos os tipos de lâmpadas utilizadas na residência foram classificadas nessa categoria.⁶

Tabela 5.5: Tabela referente ao grupo 5: Iluminação.

Aparelho elétrico	Consumo Médio Mensal (<i>kWh</i>)
Lâmpada incandescente - 60W	9
Lâmpada fluorescente compacta - 15W	2,25
Total consumido:	11,25

⁵Dados retirados do item 7 da lista de referências.

⁶Dados retirados do item 7 da lista de referências.

5.1.6

Lavanderia

Aqui foram incluídos os seguintes aparelhos: ferro de passar roupa e máquina de lavar roupa.⁷

Tabela 5.6: Tabela referente ao grupo 6: Lavanderia.

Aparelho elétrico	Consumo Médio Mensal (<i>kWh</i>)
Ferro elétrico - 1200W	7,2
Lavadora de roupas	1,76
Total consumido:	8,96

5.1.7

Televisores

Os dispositivos relacionados à televisão foram agrupados nessa categoria.⁸

Tabela 5.7: Tabela referente ao grupo 7: Televisores.

Aparelho elétrico	Consumo Médio Mensal (<i>kWh</i>)
Blue Ray	0,19
DVD	0,24
Sistema de Som	6,6
Televisão LCD 32"	14,25
Televisão LED 40"	12,45
Videogame	1,44
Total consumido:	35,17

5.2

Gráfico da distribuição do consumo

Fazendo uso dos valores apresentados acima, foi possível plotar o seguinte gráfico que informa, em termos de porcentagem, como o consumo de energia é distribuído nas categorias apresentadas.

Sobre a figura 5.1, é possível perceber que a categoria Climatizadores consome, aproximadamente, um percentual de 60%. Isso pode ser utilizado como um indicador da necessidade dos eletrodomésticos incluídos nessa categoria de serem os mais eficientes possíveis, uma vez que eles são os que mais consomem energia, em média, em uma residência.

⁷Dados retirados do item 7 da lista de referências.

⁸Dados retirados do item 7 da lista de referências.

Uma das razões para essa disparidade entre Climatizadores e outras categorias se dá no fato da potência nominal desses aparelhos ser muito alta em relação aos outros. Assim, mesmo a categoria Cozinha - a qual engloba aparelhos que ficam ligados o tempo todo, como geladeira - não alcança um nível de consumo tão alto.

Outro detalhe a ser considerado refere-se à categoria Iluminação que representa um total, em média, de 1.46%. Nessa distribuição, foram consideradas apenas lâmpadas incandescentes e fluorescentes que são menos eficientes do que as lâmpadas de LED mais modernas. Desse modo, em uma residência onde se utilizam lâmpadas de LED, espera-se que o gasto energético com iluminação seja ainda menor.

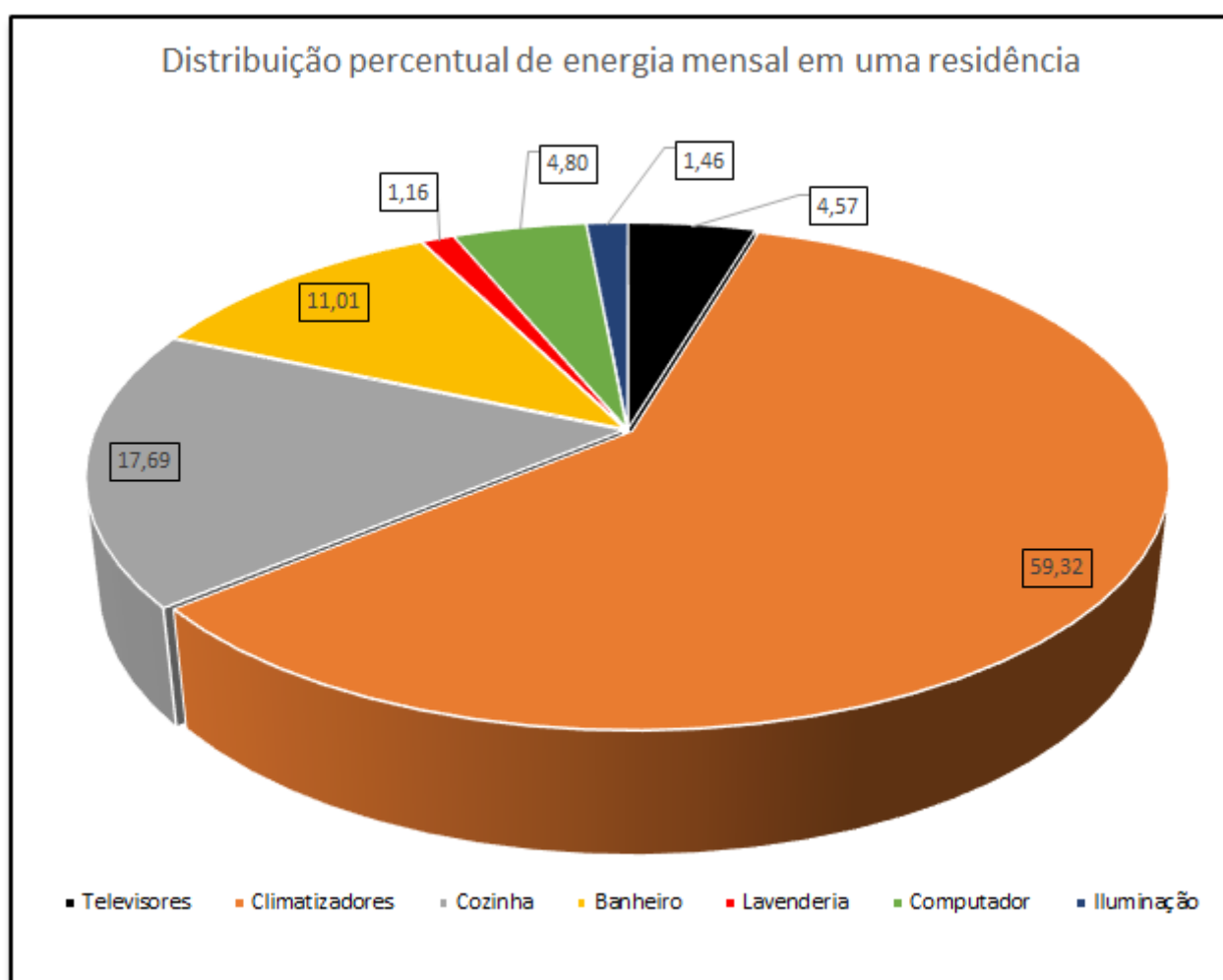


Figura 5.1: Distribuição do consumo de energia segundo dados do Procel

6

Análise da residência

O primeiro passo para fazer a verificação da veracidade das etiquetas do Procel foi estimar o quanto cada eletrodoméstico consome, em média, por mês.

Para isso, foi utilizada a conta de luz de um apartamento localizado em Niterói, Rio de Janeiro, da qual foi possível retirar os valores reais do consumo mensal de energia elétrica dele.

Assim, a tabela a seguir foi criada. Ela apresenta o consumo mensal do apartamento desde Outubro de 2017 até Setembro de 2018. A cada mês desse período, foi aplicada a distribuição apresentada na figura 5.1. Assim, estimou-se o consumo de energia de cada categoria.

Tabela 6.1: Distribuição por categorias do consumo de energia do apartamento

Total (kWh):	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
	470	570	690	620	790	1010	890	550	510	490	430	460
Banheiro	51.73	67.73	75.94	68.23	86.94	111.16	97.95	60.53	56.13	53.93	47.32	50.63
Climatizadores	278.78	338.10	406.28	367.76	468.60	599.09	527.91	326.24	302.51	290.65	255.06	272.85
Computadores	22.54	27.34	33.09	29.74	37.89	48.44	42.69	26.38	24.46	23.50	20.62	22.06
Cozinha	83.14	100.83	122.06	109.68	139.75	178.67	157.44	97.30	90.22	68.68	76.07	81.37
Iluminação	6.87	8.33	10.08	9.06	11.54	14.76	13.00	8.04	7.45	7.16	6.28	6.72
Lavanderia	5.47	6.63	8.03	7.21	9.19	11.75	10.36	6.40	5.93	5.70	5.00	5.35
Televisores	21.47	26.04	31.52	28.32	36.08	46.13	40.65	25.12	23.30	22.38	19.64	21.01

Porém, é preciso saber o consumo médio de cada aparelho. Para isso, verificou-se a participação de cada aparelho estudado dentro do seu próprio grupo. Será ilustrado o cálculo da participação do ar condicionado dentro da categoria Climatizadores:

consumo médio do ar condicionado = 439,2 kWh

consumo médio total da categoria climatizadores = 459,72 kWh

participação do ar dentro da categoria = $\frac{439,2}{459,72} = 0.9616$

Assim, estima-se que 96.16% da energia consumida pela categoria Climatizadores seja destinada ao ar condicionado.

Repetindo esse cálculo para os demais aparelhos estudados foi possível obter os valores apresentados na tabela abaixo.

Tabela 6.2: Participação dos eletrodomésticos dentro de suas respectivas categorias

Aparelho	Participação na categoria [%]
Ar condicionado	96,16
Chuveiro elétrico	84,97
Geladeira	41,76
Televisão	35,4

Dessa maneira, pode-se estimar o consumo mensal de cada aparelho pelo produto entre sua respectiva participação no consumo da categoria e o total consumido pela categoria. Abaixo, essa conta é exemplificada para o ar condicionado no mês de Outubro de 2017:

participação do ar dentro da categoria = 0,9616

total consumido pela categoria no mês de outubro de 2017 = 278,78 kWh

consumo estimado do ar = $0,9616 * 278,78 = 268,09$ kWh

Assim, estima-se que o ar condicionado estudado tenha consumido 268,09kWh de energia elétrica no mês de Outubro de 2017.

Para se obter o consumo de energia de cada eletrodoméstico, repetiu-se essa mesma conta para os diferentes aparelhos em todos os meses estudados. A tabela a seguir informa o consumo de cada aparelho ao longo do período de tempo já citado.

Tabela 6.3: Consumo em kWh de cada aparelho ao longo do período estudado

Aparelho / Total	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro
	470	570	690	620	790	1010	890	550	510	490	430	460
Ar condicionado	268,09	325,13	393,58	353,65	450,62	576,11	507,66	313,72	290,91	279,50	245,27	262,39
Chuveiro elétrico	43,95	53,30	64,52	57,98	73,87	94,44	83,22	51,43	47,69	45,82	40,21	43,01
Geladeira	34,72	42,11	50,97	45,80	58,36	74,61	65,75	40,63	37,67	36,20	31,76	33,98
Televisão	7,60	9,22	11,16	10,02	12,77	16,33	14,39	8,89	8,25	7,92	6,95	7,44

Logo, sabendo uma estimativa para o consumo de energia mensal de cada aparelho e seu consumo nominal, valor retirado de tabelas certificadas pelo Inmetro, pode-se calcular o coeficiente de eficiência energética (CEE) para cada equipamento em cada mês estudado. Sendo assim, para cada eletrodoméstico serão calculados 12 CEE's.

Uma média entre os diferentes coeficientes do mesmo eletrodoméstico será utilizada como o valor representativo do CEE. A esse valor será aplicado o critério de classificação do Inmetro.

Assim, será comparada a classificação obtida nesse estudo com a classificação fornecida pela etiqueta do Procel.

6.1

Cálculo do CEE

Será exemplificado o procedimento utilizado para a determinação do CEE para o ar condicionado estudado, o qual se trata de um LG, modelo ASNQ242CRZ1, com capacidade nominal de $22.000 BTU/h$.

Para o cálculo dos CEE's é preciso que ambos o consumo, até agora expresso em kWh , e a potência nominal estejam na mesma unidade.

A seguir será ilustrado o cálculo tanto da conversão de unidades de BTU/h para kWh , quanto do coeficiente de eficiência energética do ar condicionado estudado para o mês de Outubro de 2017.

$$1 \text{ BTU/h} \approx 0,3W$$

$$22000 \text{ BTU/h} \approx 6447,54W$$

De acordo com o site do Procel, estima-se que o ar condicionado funcione 8 horas por dia, durante 30 dias no mês. Logo,

$$8 \text{ h/dia} * 30 \text{ dias/mes} = 240 \text{ h/mes}$$

$$\text{Potência nominal} = 6447,54 \text{ W} * 240 \text{ h/mes} = 1547,42 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Consumo em Outubro de 2017: } 268.09 \text{ kWh}$$

$$CEE = \frac{\text{Potência}}{\text{Consumo}} = \frac{1547,41}{268.09} = 5,77$$

Esse procedimento foi utilizado para todos os meses e todos os eletrodomésticos. Dessa maneira, foi possível obter os valores do CEE de cada aparelho apresentados a seguir. A tabela 6.4 também informa o CEE médio que será utilizado para verificação do selo de etiqueta do Procel.

Tabela 6.4: Tabela com os valores mensais e o valor médio do CEE para os aparelhos estudados

	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	CEE médio
Ar condicionado	5,77	4,76	3,93	4,38	3,43	2,69	3,05	4,93	5,32	5,54	6,31	5,90	4,67
Geladeira	0,62	0,76	0,92	0,82	1,05	1,34	1,18	0,73	0,68	0,65	0,57	0,61	0,83

6.2

Ar condicionado

A figura 6.1 foi retirada da tabela de ar condicionados split hi wall publicada pelo Procel e ilustra o método de avaliação que imposto pelo Inmetro utilizado para etiquetagem desse tipo de eletrodoméstico.

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
Selo PROCEL de Economia de Energia

CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL Data atualização: 14/8/2018

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall			
			Rotação Fixa		Rotação Variável	
A	3,23	$<CEE$	390	42,5%	336	92,3%
B	3,02	$<CEE \leq 3,23$	182	19,8%	22	6,0%
C	2,81	$<CEE \leq 3,02$	276	30,1%	6	1,6%
D	2,60	$\leq CEE \leq 2,81$	70	7,6%	0	0,0%

Figura 6.1: Método de avaliação para classificação do selo Procel

Segundo o método utilizado, como o coeficiente de eficiência energética médio encontrado foi de 4,67, ele deveria receber a classificação A.

Conforme a mesma tabela já citada, referência número 5, esse mesmo aparelho que se encontra na última linha da página 25, também recebeu a classificação A.

Porém, houve uma divergência entre o valor do CEE encontrado nesse relatório e o fornecido pela tabela de 3,24. Essa diferença se origina de diversas estimativas utilizadas nos cálculos apresentados e, também, no fato de que para o cálculo CEE apresentado pelo Procel, o aparelho é submetido a testes padronizados. Logo, as condições de trabalho foram diferentes em cada cálculo, contribuindo para a diferença no valor encontrado.

6.3

Geladeira

A geladeira utilizada é da marca Bosch, modelo KSU 40, de 260 litros.

De acordo com os dados utilizados, o índice encontrado foi de 0,83. Fato esse, que faz com que essa geladeira receba a classificação A.

Novamente, o resultado encontrado aqui é condizente com a classificação fornecida, nesse caso, pelo Inmetro - para mais informações referência número 6.

Classes	Índices mínimos	Categorias							
		Combinado frost-free		Congelador vertical		Congelador vertical frost-free		Congelador horizontal	
A	0,869	52	78,80%	20	55,60%	6	75,00%	24	63,20%
B	0,949	4	6,10%	0	0,00%	0	0,00%	6	15,80%
C	1,02	8	12,10%	9	25,00%	0	0,00%	2	5,30%
D	1,097	0	0,00%	3	8,30%	2	25,00%	1	2,60%
E	1,179	0	0,00%	3	8,30%	0	0,00%	0	0,00%
F	1,267	2	3,00%	1	2,80%	0	0,00%	3	7,90%
G	1,362	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	2	5,30%
		66	un	36	un	8	un	38	un

Figura 6.2: Método de avaliação para classificação do selo Procel

6.4 Televisão

Infelizmente não foi possível fazer a verificação do selo de etiqueta da televisão estudada.

Como já á foi dito, os testes realizados pelo Inmetro para o cálculo da eficiência ocorrem sob condições específicas de uso. No caso dos aparelhos televisores, as etiquetas de classificação referem-se ao modo de espera da televisão (“stand by”), o qual consome uma parcela mínima de energia.

Mesmo sabendo a demanda energética dessa aparelho, com os recursos utilizados nesse estudo, não havia maneira de se determinar quanto desse consumo era destinado ao modo de espera - para que se possa fazer o mesmo cálculo e então poder utilizar o mesmo método de avaliação do programa de etiquetagem.

Sendo assim, nesse relatório, nada se afirmará sobre a eficiência energética do aparelho televisor.

7

Análise do consumo residencial de energia no Brasil

Segundo dados fornecidos pela EPE em seu anuário de 2017 sobre o consumo de energia e pelo IBGE à respeito da renda per capita das diferentes regiões do Brasil, foi possível traçar um paralelo entre esses dois indicadores.

As tabelas abaixo, retiradas do anuário de 2017 da EPE, ajudam a relacionar diferentes parâmetros estudados: população da região, número de consumidores residenciais, consumo residencial médio mensal. Além delas, foi utilizada uma planilha publicada pelo IBGE com o PIB referente às cinco regiões do Brasil.

Dessa maneira, criou-se o gráfico 7. Esse gráfico representa visualmente a quantidade total de energia que foi consumida, a quantidade de energia que é destinada ao uso residencial e o PIB de cada região.

Tabela 7.1: Tabelas com dados de consumo energético referentes às regiões do Brasil

Brasil	2016
População	206.871 mil
Consumo na rede	460.829 GWh
Consumo per capita	2.228 kWh/hab
Consumidores	80.621 mil
Consumidores Residenciais	69.277 mil
Consumo Médio	476 kWh/mês
Consumo Residencial Médio	160 kWh/mês

Região Norte	2016
População	17.822 mil
Consumo na rede	34.071 GWh
Consumo per capita	1.912 kWh/hab
Consumidores	5.174 mil
Consumidores Residenciais	4.312 mil
Consumo Médio	549 kWh/mês
Consumo Residencial Médio	183 kWh/mês

Região Sudeste	2016
População	86.653 mil
Consumo na rede	229.970 GWh
Consumo per capita	2.654 kWh/hab
Consumidores	35.713 mil
Consumidores Residenciais	31.514 mil
Consumo Médio	537 kWh/mês
Consumo Residencial Médio	171 kWh/mês

Região Nordeste	2016
População	57.085 mil
Consumo na rede	80.147 GWh
Consumo per capita	1.404 kWh/hab
Consumidores	21.422 mil
Consumidores Residenciais	18.482 mil
Consumo Médio	312 kWh/mês
Consumo Residencial Médio	121 kWh/mês

Região Sul	2016
População	29.542 mil
Consumo na rede	82.063 GWh
Consumo per capita	2.778 kWh/hab
Consumidores	12.030 mil
Consumidores Residenciais	9.746 mil
Consumo Médio	586 kWh/mês
Consumo Residencial Médio	177 kWh/mês

Região Centro-Oeste	2016
População	15.768 mil
Consumo na rede	34.579 GWh
Consumo per capita	2.193 kWh/hab
Consumidores	6.282 mil
Consumidores Residenciais	5.223 mil
Consumo Médio	459 kWh/mês
Consumo Residencial Médio	175 kWh/mês

Comparando as regiões Nordeste e Sul, percebe-se que ambas consomem quase a mesma quantidade de energia. No entanto, como a primeira região é mais populosa e possui um maior número de consumidores residenciais, ela apresenta um menor consumo residencial médio mensal. Enquanto no Sul esse valor é de $177kWh/mes$, no Nordeste o mesmo índice apresenta o valor de $121kWh/mes$.

A região Sudeste é a mais consumidora de energia, totalizando $2229.970GWh$ no ano de 2016. Entre outras razões, isso é justificável pelo

fato dessa região ser a mais industrializada e populosa do Brasil.

As regiões Centro-Oeste e Norte possuem valores muito parecidos. As apresentam uma demanda de aproximadamente 34.000GWh de energia em 2016. Porém, como aquela região é um pouco menos populosa, ela apresentou um consumo per capita maior do que a segunda região - $2.193\text{kWh}/\text{hab}$ em comparação a $1.912\text{kWh}/\text{hab}$. Por outro lado, a região Centro-Oeste teve um consumo residencial médio mensal inferior ao da região Norte - $175\text{kWh}/\text{mes}$ contra $183\text{kWh}/\text{mes}$ - devido ao maior números de consumidores residenciais daquela região.

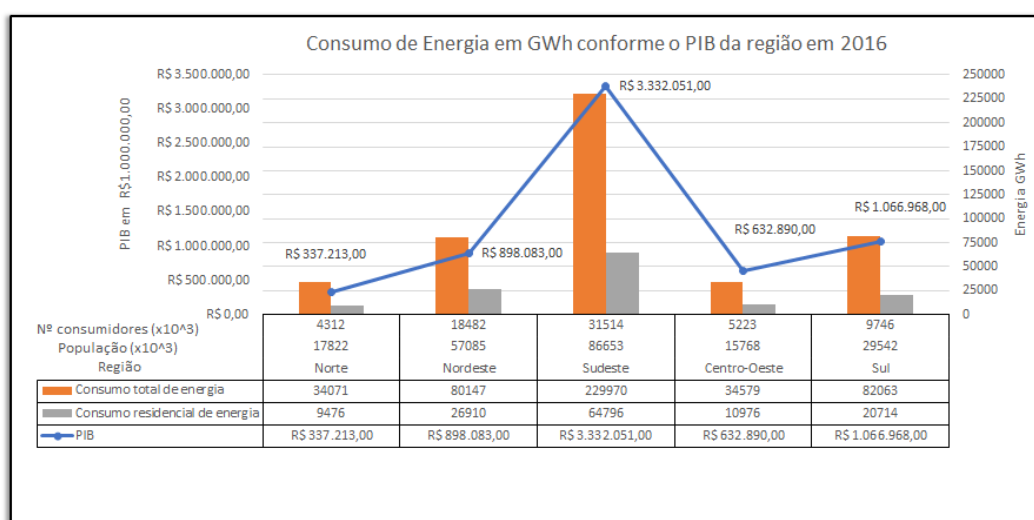


Figura 7.1: Gráfico que relaciona o consumo de energia com o PIB de cada região do país em 2016

Como se pode perceber pelo gráfico, existe uma relação direta entre o poder aquisitivo da região, representado pelo seu respectivo PIB, e o total de energia consumida.

As regiões que mais contribuem para o PIB brasileiro são as que mais consomem energia. Na ordem decrescente de PIB: Sudeste, Sul, Nordeste, Centro-Oeste e Norte.

Ao juntar as informações sobre o PIB per capita e o consumo residencial médio mensal obtém-se o seguinte gráfico.

O gráfico 7.2 deixa claro que existe uma relação estrita, e com exceção à região Sul, essa relação é direta, entre renda per capita e consumo médio de uma residência em cada região do país.

Em primeira análise, o consumo médio elevado da região Norte pode ser surpreendente. Entretanto, essa é a região com o menor número de consumidores residenciais - apenas 4312 consumidores -, por isso, ela apresenta o maior consumo residencial médio.

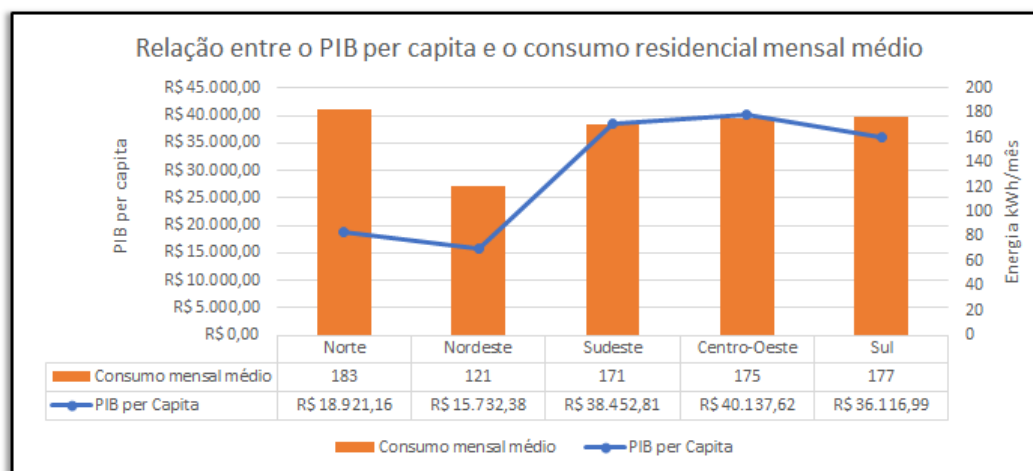


Figura 7.2: Gráfico relacionando o PIB per capita e o consumo residencial médio mensal das regiões do Brasil.

Na região Nordeste, tanto o PIB per capita quanto a demanda mensal reduziram. Ela apresenta o menor consumo mensal, o qual é parcialmente explicado pelo fato dela ser a segunda região do Brasil com o maior número de consumidores residenciais, totalizando 18482 consumidores, quatro vezes mais do que a região Norte.

O Sudeste é região com a maior quantidade de consumidores residenciais - total de 31514 consumidores. Apesar disso, o seu consumo mensal médio não é muito distante em relação às outras regiões, exceto o Nordeste. Isso ocorre pela alta demanda energética da região que apresenta uma renda per capita elevada, implicando diversos aparelhos eletrônicos e eletrodomésticos que demandam grandes quantidades de energia.

A região Centro-Oeste se parece muito com a região Sudeste quando a comparação é feita por consumidor. Apesar de existir uma grande disparidade entre PIB de cada região e das suas respectivas demandas de energia, quando esses índices são normalizados pela quantidade de habitantes/consumidores, os valores finais se aproximam muito. Isso expressa uma semelhança estatística nas demandas energéticas delas.

O Sul é a única região que não seguiu uma relação direta entre PIB per capita e consumo residencial médio. Embora sua renda por habitante seja menor do que a do Sudeste, sua demanda residencial média é maior. Isso pode ser explicado pelo número inferior de consumidores residenciais, 9746 consumidores.

8

Conclusão

De acordo com os resultados encontrados, pode-se dizer que a classificação do modelo de ar condicionado e geladeira estudados encontrada no selo de energia do Procel estão corretos. Em ambos os casos a classificação calculada nesse relatório é igual à classificação na etiqueta. Nos dois casos os aparelhos receberam a classificação A.

Além disso, foi possível perceber uma relação direta entre o consumo de energia e o PIB de cada região do Brasil. Foi visto que quanto maior o consumo de energia maior é o PIB, sendo a região Sudeste a mais consumidora e a região Norte a que menos demanda energia.

Outra relação percebida ocorre entre o consumo residencial médio mensal de energia e o PIB per capita de cada região. A relação entre esses dois indicadores seguiu uma proporcionalidade quase que igual à relação PIB/consumo total, com exceção à região Sul que apesar de uma renda per capita menor do que as regiões Sudeste e Centro-Oeste, apresenta uma demanda média mensal de energia maior que ambas as regiões.

Referências Bibliográficas

- [1] *Ministério de Minas e Energia. Balanço energético Nacional*,
<https://ben.epe.goc.br/>
- [2] *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*,
<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={E6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000}>
- [3] *Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia*,
<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>
- [4] *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*,
<https://www.ibge.gov.br/>
- [5] Tabela fornecida pelo Procel com dados dos condicionadores de ar,
http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_piso-teto_indicenovo.pdf
- [6] Tabela fornecida pelo Inmetro com dados de refrigeradores,
<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/pbetab2.asp>
- [7] Tabela fornecida pelo Procel com o consumo médio mensal estimado de diferentes eletrodomésticos
<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>
- [8] Borgnakke, Sonntag, “*Fundamentos da Termodinâmica 8ª edição*”, Edgard Blucher Ltda, 2013.
- [9] Elektro, Universidade Federal de Itajubá Excen, Fupai, “*EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES*”, 2012