



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – CAMPUS JOÃO PESSOA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

THIAGO LIMEIRA DE SOUZA

GESTÃO ENERGÉTICA EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA NO BRASIL:
DIAGNÓSTICO E MELHORIAS

JOÃO PESSOA
2019

THIAGO LIMEIRA DE SOUZA

**GESTÃO ENERGÉTICA EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA NO BRASIL:
DIAGNÓSTICO E MELHORIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção de João Pessoa do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial da obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Dr. Ricardo Moreira da Silva

JOÃO PESSOA
2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S729g Souza, Thiago Limeira de.

GESTÃO ENERGÉTICA EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA NO
BRASIL: DIAGNÓSTICO E MELHORIAS / Thiago Limeira de
Souza. - João Pessoa, 2019.

56 f. : il.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Energia elétrica. 2. Indústria automotiva. 3.
Eficiência energética. 4. ISO 50001. I. Título

UFPB/BC



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Thiago Limeira de Souza

Título do trabalho: GESTÃO ENERGÉTICA EM UMA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA NO BRASIL: DIAGNÓSTICO
E MELHORIAS

Trabalho de Conclusão do Curso defendido e aprovado em 12/09/19 pela banca examinadora:

Ricardo Moreira da Silva

Orientador - Prof. DR. RICARDO MOREIRA DA SILVA

Ivson Ferreira dos Anjos

Examinador interno - Prof. DR. IVSON FERREIRA DOS ANJOS

Jailson Ribeiro de Oliveira

Examinador interno - Prof. Msc. JAILSON RIBEIRO DE OLIVEIRA

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo realizar a análise do setor de energia elétrica no Brasil, entendendo as possíveis formas de contratação de energia, como também examinando a questão da eficiência energética. Em seguida, é realizado um diagnóstico energético de uma indústria automobilística, com a finalidade de propor soluções de redução de consumo da energia. Assim, são explicitados os dados de energia da empresa em questão, analisando o fluxo dos vetores energéticos, como também os dados pertinentes ao consumo. O diagnóstico é realizado com base na metodologia da norma ISO 50001: 2011. Ademais, constatado que a energia elétrica representa o maior consumo da planta, influenciando diretamente no custo do veículo, foram propostas oportunidades de melhorias baseadas principalmente na modificação da lógica de funcionamento da automação da climatização, resultando em uma redução nos custos da empresa. Tais mudanças, que foram empregadas no ano de 2018, apresentaram grandes benefícios para a organização, uma vez que as linhas de consumo de água gelada antes e depois da realização do diagnóstico energético evidenciaram a redução do consumo para o principal vetor energético (energia elétrica).

Palavras-chave: Energia elétrica. Indústria automotiva. Eficiência energética. ISO 50001.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Consumo de energia para grupos da indústria automotiva em 2017.	9
Figura 2- Distribuição em percentual de potência de geração elétrica.	15
Figura 3- Participação no Mercado Livre de Energia.	18
Figura 4- Evolução do número de agentes por classe.	22
Figura 5- Consumo de energia total por submercado.	23
Figura 6- Fluxo do processo de fabricação do automóveis.	26
Figura 7- Layout da fábrica estudada.	28
Figura 8- Fluxo de energia.	29
Figura 9- Desempenho dos vetores energéticos da Pintura em 2018.	37
Figura 10- Consumo de água gelada da Pintura em relação à produção.	39
Figura 11- Consumo de ar comprimido da Pintura em relação à produção.	39
Figura 12 – Principais perdas financeiras do Polo automotivo.	41
Figura 13- Perdas de energia por tipo na Polo automotivo.	42
Figura 14- Sistema de climatização.	43
Figura 15- Interface Homem- Máquina.	44
Figura 16- Válvula de controle proporcional.	44
Figura 17- Pendências no Sistema de Ar condicionado.	45
Figura 18- Chillers localizados no Energy Center.	46
Figura 19- Esquema típico de um sistema de expansão indireta.	46
Figura 20- Localização do Energy Center no Polo automotivo.	48
Figura 21- Unidade de Tratamento de Ar (AHU).	48
Figura 22- Arranjo físico das AHUs nos galpões.	49
Figura 23- Antes e Depois do Sistema de Supervisão do Energy Center.	50
Figura 24- Consumo de água gelada antes e depois do projeto.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Capacidade de Geração de Energia no Brasil.	15
Tabela 2 - Critérios vigentes para se tornar Consumidor Livre ou Especial.	25
Tabela 3- Consumo de energia elétrica e gás natural em 2018.	31
Tabela 4- Consumo de energia para produção de água gelada, ar comprimido e água de resfriamento em 2018.	31
Tabela 5- Consumo de energia por área em 2018.	32
Tabela 6- Consumo dos vetores secundários por área em 2018.	32
Tabela 7- Distribuição do consumo de gás natural em 2018.	33
Tabela 8- Indicadores de desempenho por área em 2018.	34
Tabela 9- Resumo do consumo na Pintura.	38
Tabela 10- Ferramenta 5W1H.	47
Tabela 11- Consumo de água gelada em MWh no 1º semestre de 2018 e de 2019.	51
Tabela 12- Resumo do consumo energético.	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	TEMA E PROBLEMA	7
1.2	JUSTIFICATIVA	8
1.3	OBJETIVOS	10
1.4	METODOLOGIA.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	SETOR ELÉTRICO NO BRASIL	13
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	16
2.3	MERCADO LIVRE E MERCADO CATIVO DE ENERGIA.....	18
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
3.1	A EMPRESA	26
4	MODIFICAÇÃO DE LÓGICA DE FUNCIONAMENTO DA AUTOMAÇÃO DA CLIMATIZAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE ENERGIA	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA E PROBLEMA

O primeiro veículo motorizado foi produzido há mais de um século, e desde então, os carros fazem parte da rotina de toda a população mundial. Produzidos inicialmente com a função de dar maior mobilidade às pessoas, atualmente os veículos automotivos possuem diversas tecnologias utilizadas, com funções jamais imaginadas no século em que foi criado.

Porém, o desenvolvimento de tais tecnologias acaba gerando um custo significativo no valor final do veículo, o que acaba impactando na concorrência entre as empresas deste ramo. Por este motivo, a presente monografia demonstra a importância da eficiência energética na redução de custos de uma empresa, que impacta diretamente em uma redução do preço do veículo, melhorando assim a competitividade do mesmo no mercado.

Para isto, no primeiro capítulo foi analisado o funcionamento do setor elétrico brasileiro, permeando pela sua história no território nacional ao longo dos anos. Em seguida, estuda-se o tema da eficiência energética, que será analisado com a finalidade de propor melhorias ao fim do trabalho. Além disso, o mercado de energia possui mais de uma forma de contratação do que a convencional, que é aquela contratada pela maioria dos consumidores, em que há um pagamento de taxas que aumentam gradativamente conforme o consumo.

O estudo das duas formas de contratação demonstra mais uma vez a capacidade de reduzir custos que as empresas possuem, a partir de um diagnóstico energético e do conhecimento deste ramo, que, como será visto, chega a representar uma grande parte do custo final de um veículo.

Dando prosseguimento, o capítulo seguinte se propõe a realizar um diagnóstico energético da fábrica automotiva estudada, demonstrando a importância que uma gestão de energia possui no contexto geral de uma fábrica. Deste modo, foram estudados os dados de consumo da unidade fabril no ano de 2018, como também como ocorre o fluxo de energia dos diversos vetores energéticos dentro da empresa, como por exemplo, a energia elétrica e o gás natural.

Dessa forma, a principal contribuição desse trabalho é apresentar um projeto de melhoria na fábrica em questão, demonstrando que a partir de uma análise energética fundamentada, é possível identificar diversas oportunidades de melhorias, e que progredindo

com a gestão de energia, podem ser realizadas uma série de ajustes que levam a uma redução do consumo, com uma consequente redução de custos. No caso do projeto proposto no trabalho, realizou-se, primeiramente, a modificação da lógica de automação da climatização para reduzir o consumo de energia elétrica existente no local para a produção de água gelada.

Em outras palavras, a problemática em que o presente trabalho se propõe a explicar é importância da eficiência energética para a redução de custos a partir de um projeto de melhoria implementado.

1.2 JUSTIFICATIVA

Diante do atual cenário de globalização, não só as pessoas do mundo inteiro estão se aproximando, como as empresas se tornam multinacionais cada vez mais fácil, atuando em mais de um país e se relacionando com diversas outras companhias de multinacionalidade. Assim, a competitividade e a concorrência também crescem, alinhada a busca dos clientes por produtos de alta qualidade por preços menores.

Assim, o presente trabalho tem grande relevância inicialmente para a empresa, que poderá obter uma redução de custos com o projeto proposto no último capítulo, sem que haja qualquer interferência na qualidade do produto, apenas diminuindo seu custo final. Além disso, tanto o diagnóstico energético como o projeto proposto, a partir da demonstração dos resultados obtidos, servirão de incentivo para a produção de novos projetos, demonstrando assim a importância da gestão e da eficiência energética no que se refere à melhoria contínua da empresa.

A indústria automobilística representa uma grande parcela do setor industrial mundial, com uma tendência de crescimento com o passar dos anos. No Brasil, por exemplo, esse setor já representa cerca de 20% do Produto Interno Bruto Nacional. A indústria automotiva compreende não só a produção de veículos automotivos, como também toda a parte de projetar, desenvolver, realizar o marketing e a venda dos mesmos. Porém, apesar de abarcar uma gama de setores, ainda existe uma espécie de concentração deste ramo em poucas companhias multinacionais que detém a maior parte do mercado.

Apesar disso, existe uma grande concorrência neste meio, tendo em vista que o setor anda atrelado ao desenvolvimento tecnológico, que tem se mostrado cada vez maior nos últimos anos, os consumidores tornam-se mais exigentes quanto à tecnologia empregada nos

veículos, o que acaba gerando um custo maior no desenvolvimento, mas que nem sempre é o esperado pelos clientes.

Assim, com a finalidade de investir naquilo que os consumidores mais buscam, um grande foco das indústrias automotivas deve ser a redução de custos no momento da produção, para que haja uma compensação com os gastos empregados no desenvolvimento de tecnologias necessárias à competitividade que existe neste ramo.

Para clarear a influência do gasto energético no custo de um veículo, pode-se analisar na Figura 1, a quantidade média de energia utilizada na produção de um carro, encontradas a partir de relatórios públicos das companhias em questão. Percebe-se que, ao comparar a influência do custo relativo ao consumo de energia, a empresa Hyundai terá bem menos preocupações relativas a este problema do que a Toyota, podendo assim utilizar o recurso e a margem do valor do veículo para investir em tecnologia e atrativos aos clientes.

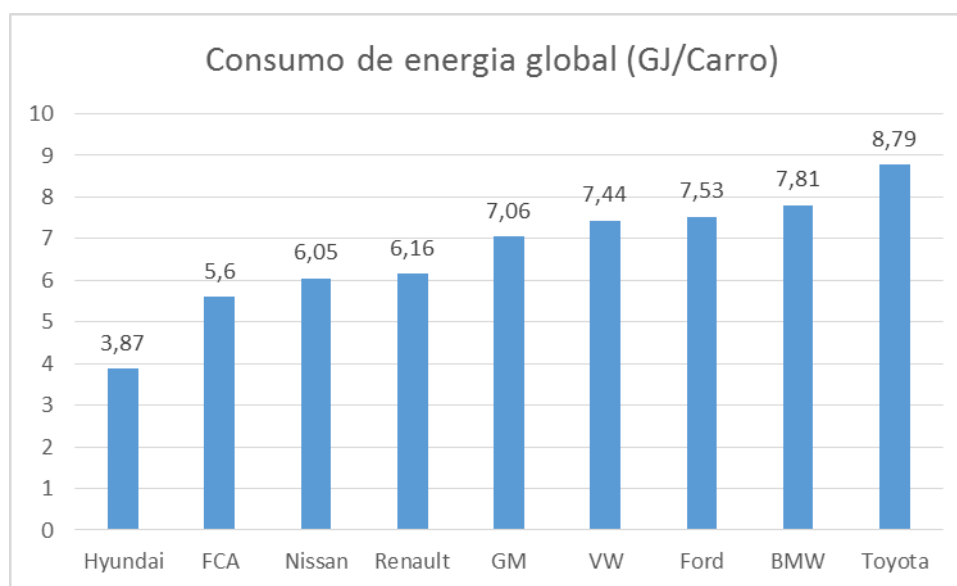


Figura 1- Consumo de energia para grupos da indústria automotiva em 2017.

Fonte: Relatórios de sustentabilidade dos fabricantes de 2017.

Considerando a tarifa da divulgada pela Aneel para o estado de Pernambuco no ano de 2018 de 0,549R\$/kWh, o gasto em energia para a empresa com maior consumo chega a quase mil e quatrocentos reais, cerca de oitocentos reais acima do valor de consumo por veículo da empresa que menos consome.

Assim, torna-se nítido que a utilização dos conceitos e das técnicas que permeiam a eficiência energética, acabam se tornando a alternativa mais viável de redução de custos sem qualquer interferência na qualidade do produto. Sendo assim, para analisar as possíveis

chances de melhorias dentro da planta automotiva, é necessário realizar uma análise energética dentro da cadeia produtiva.

No tocante à importância do trabalho para o discente, é nítida a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo dos anos de estudo sendo aplicados na prática, desenvolvendo projetos de melhoria na gestão para grandes empresas, como por exemplo as ferramentas de gestão PDCA e 5W1H, utilizadas no desenvolvimento do projeto.

Além disso, a monografia também se justifica pela relevância acadêmica do tema de eficiência energética e projetos de melhoria implementados na fábrica automotiva, tendo em vista que outros docentes ao tomar conhecimento do trabalho, poderão não só a oportunidade de aplicar os conhecimentos do curso de Engenharia de Produção no dia-a-dia do trabalho, como também entender que nem sempre as melhorias e redução de custos são provenientes de uma ação direta no produto, o que pode gerar um impacto na qualidade. Existem outros insumos indiretos na produção, como a energia no caso em questão, que devem ser monitorados e levados em consideração no momento de propor projetos de redução de custos às empresas.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é realizar uma análise energética de uma indústria automobilística, seguindo os ditames da norma ISO 50001. Para atingi-lo, foram levados em consideração os dados de consumo energético fabril do ano de 2018, para que adiante, sejam mostradas as melhorias desenvolvidas no local.

Os objetivos específicos foram:

- (1) Estudar a eficiência energética em uma indústria automotiva;
- (2) Realizar diagnóstico energético de uma indústria automotiva, por meio da análise de usos e consumos de energia de um polo automotivo;
- (3) Identificar os vetores energéticos e as áreas significativas de consumo;
- (4) Identificar oportunidades de melhoria;
- (5) Demonstrar os benefícios da melhoria implementada.

1.4 METODOLOGIA

Essa seção apresenta os aspectos metodológicos utilizados para direcionar o presente trabalho, e quanto a sua natureza, a pesquisa é caracterizada como de campo.

Quanto à metodologia utilizada no trabalho, com a finalidade de rever a trajetória do setor elétrico no Brasil, utilizou-se o método histórico para reunir as informações necessárias que traçaram o comportamento do setor ao longo dos anos. No que concerne às técnicas de pesquisas, foi aplicada a técnica de pesquisa documental indireta, a partir de um levantamento de dados realizado mediante pesquisa nos relatórios da empresa estudada. Além disso, realizou-se a pesquisa bibliográfica, examinados diversos tipos de publicações relacionadas ao tema, encontradas, por exemplo, em livros, artigos científicos, teses, monografias, periódicos e sites.

Entretanto a principal técnica utilizada foi o estudo de caso, que compreende o estudo de uma entidade bem definida, que no caso foi a indústria automotiva. A utilização do método objetiva se aprofundar nos motivos em que uma situação se desenvolve, analisando todos os aspectos envolvidos para descobrir o que há nela de mais essencial e característico. O estudo de caso decorre de acordo com uma perspectiva pragmática, que visa simplesmente apresentar uma perspectiva global, tanto quanto possível completa e coerente, do objeto de estudo do ponto de vista do investigador.

O desenvolvimento da pesquisa foi realizado a partir de seis principais etapas:

- (1) Foi desenvolvida uma pesquisa teórica a fim de demonstrar o funcionamento do setor elétrico brasileiro, suas formas de contratação, como também a problemática principal que se refere a eficiência energética, analisando suas definições autores e ano de publicação e/ou apresentação.
- (2) Seleção do modelo de análise da gestão energético, que no caso, foi escolhida a metodologia da certificação ISO 50001: 2011.
- (3) Foram realizados os estudos dentro da fábrica automotiva, em que se procedeu a etapa de coleta de dados *in loco*.
- (4) Realizou-se um diagnóstico destes dados.
- (5) Foi desenvolvido um projeto de melhoria energética.
- (6) Por fim, foi apresentado os resultados do projeto implementado.

Cumpre anotar ainda, que a norma da ISO se baseia no conhecido ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA), composto de quatro passos de acordo com cada palavra que o nomeia. No primeiro passo (*plan*) deve ser realizada toda a revisão energética e o estabelecimento tanto da linha de base, como dos indicadores de desempenho energético (IDEs), objetivos, e planos de ação necessários para obter resultados desejados. Prosseguindo para o passo intitulado de “*do*”, é feita a implementação dos planos de ação da gestão de energia que foram gerados na etapa anterior. Em seguida, como o próprio nome indica, o passo refere-se a checar o que foi feito a partir do monitoramento dos processos e características principais de operações que determinam o desempenho energético. Por fim, o último passo intitulado de *act*, tomou-se ações para melhorar continuamente o desempenho energético e o SGE.

No que se refere à aplicação da metodologia da certificação ISO 50001, o principal item utilizado foi o 4.4.3, composto em síntese pelas seguintes etapas: 1. Analisar o uso e consumo de energia com base em medições e outros dados, ou seja: a. Identificar as fontes de energias atuais; b. Avaliar o uso e consumo de energia atual e passado. 2. Com base na análise do uso e consumo de energia, identificar as áreas de uso significativo de energia, isto é: a. Identificar as instalações, equipamentos, sistemas, processos e pessoal trabalhando para a organização ou em seu nome que afetam significativamente o uso e consumo de energia; b. Identificar outras variáveis relevantes que afetam os usos significativos de energia; c. Determinar o desempenho energético de instalações, equipamentos, sistemas e processos relacionados aos usos significativos de energia identificados e d. Estimar o uso e consumo de energia futuros. 3. Identificar, priorizar e registrar oportunidades de melhoria do desempenho energético.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SETOR ELÉTRICO NO BRASIL

É de conhecimento comum o quanto a energia elétrica está presente em nossas vidas, seja nas atividades mais simples do dia-a-dia, como acender uma luz ou uma televisão, como também nas grandes indústrias na fabricação de produtos. Entretanto, apesar disso, poucas pessoas sabem como funciona o mercado de energia elétrico no Brasil, bem como seus órgãos reguladores e as formas de contratação possíveis.

Antes de adentrar na trajetória do setor elétrico no Brasil, cumpre anotar brevemente a conceituação de energia. Apesar da ideia de energia ser presente desde a antiguidade, seu conceito levou anos para ser desenvolvido, passando por diversos pensadores e cientistas, e até hoje há quem diverge dos conceitos existentes. No senso comum, o termo “energia” é comumente empregado como sinônimo de eletricidade. No entanto, existem diversas outras variações que dificultam a conceituação, como por exemplo a energia cinética, gravitacional, química, térmica, radiante, nuclear, dentre outras.

Dando seguimento, vale relembrar celeremente a história do setor elétrico no país. A trajetória inicia-se a partir de uma relação direta com a urbanização e a industrialização, uma vez que até o século XIX, a principal atividade econômica no Brasil era a agricultura, e a demanda por energia elétrica começou a aparecer no início do século XX, com o desenvolvimento da indústria cafeeira, e consequente processo de urbanização gerado pelo crescimento das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.

Diante deste cenário, iniciam-se alguns investimentos de capitais estrangeiros, com a finalidade de iniciar o processo de instalação de companhias de energia elétrica. A partir disso, e do enorme potencial hidroelétrico brasileiro, em 1934 temos um acontecimento relevante neste sentido, que foi a promulgação do Código das Águas, responsável por traçar diretrizes de permissão ao poder público para controlar e incentivar o aproveitamento industrial da água. Em outras palavras, a propriedade de áreas com potencial hidroelétrico não mais seria do proprietário da terra, e sim patrimônio do Estado.

Duas décadas depois, iniciou o período no qual os estados federativos brasileiros começaram a absorver empresas estrangeiras e constituir as suas próprias estatais de energia elétrica, bem como, a criação de centrais elétricas pelo governo federal, como por exemplo, a Hidrelétrica do Vale da Paraíba em 1961. Com o passar dos anos e do crescimento dos centros

urbanos e industriais, mais usinas foram surgindo, como a usina de Furnas, a maior na época de sua construção em 1963, e a Usina de Tucuruí, a primeira hidrelétrica de grande porte construída na Amazônia, dentre diversas outras que foram surgindo.

No ano de 1985, no mesmo ano que entra em operação a primeira usina nuclear brasileira, intitulada de Usina Termonuclear Angra I, o governo federal cria o Programa Nacional de Conservação de Energia, conhecido como PROCEL, com o objetivo de incentivar a racionalização do uso de energia elétrica, tendo em vista o seu crescimento exponencial no decorrer dos anos.

Devido a essa mesma questão, e em meio à crise econômica que rondou a década de 90, o então presidente Fernando Collor de Mello, sancionou a Lei nº 8.031 de 1990, posteriormente revogada e alterada pela Lei nº 9.491 de 1997, que cria o Programa Nacional de Desestatização (PND). Tal plano visava a privatização das empresas estatais, e que teria início com o setor de energia elétrica, em que, a priori, teve as empresas controladas pela Eletrobrás incluídas no Programa Nacional de Desestatização.

Anos após, em 1997, temos a criação de um dos mais importantes órgãos reguladores do setor de energia elétrica: a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A ANEEL é uma autarquia sob regime especial que atua até os dias atuais, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que objetiva principalmente a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, seguindo todas as diretrizes do governo federal.

No ano de 2001, o país passou por uma enorme crise de abastecimento de eletricidade, causada também pela falta de chuvas, e por este motivo as ações de eficiência energética e apoio às energias renováveis começam a ganhar evidência. A partir disso, ocorreu um consequente aumento dos custos de eletricidade devido ao baixo nível dos reservatórios e à falta de planejamento no setor, levando assim consumidores e empresas a adotarem algumas medidas para poupar.

Atualmente, o Brasil possui cerca de 7.450 empreendimentos geradores de energia em operação, totalizando 165.478.788 kW de potência instalada. Além disso, existem mais de 200 empreendimentos em construção, e cerca de 350 mapeados para ocorrer nos próximos anos, gerando um acréscimo de 21 milhões de kW na capacidade de geração brasileira.

A capacidade de geração elétrica brasileira decorre principalmente das Usinas Hidrelétricas, que representam cerca de 60% da potência total. Em segundo lugar, encontram-se as usinas termelétricas, com mais de 3 mil unidades situadas no território nacional, gerando mais de 40 milhões de kW de potência fiscalizada, conforme a Tabela 1 e o Figura 2 abaixo:

Tipo		Quantidade	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	Central Geradora Hidrelétrica	703	717.037	0,4
EOL	Central Geradora Eólica	614	15.063.893	9,1
PCH	Pequena Central Hidrelétrica	426	5.228.426	3,2
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica	2.474	2.103.239	1,3
UHE	Usina Hidrelétrica	217	99.922.634	60,4
UTE	Usina Termelétrica	3.014	40.453.559	24,5
UTN	Usina Termonuclear	2	1.990.000	1,2
Total		7.450	165.478.788	100

Tabela 1- Capacidade de Geração de Energia no Brasil.

Fonte: BIG – Banco de informações de Geração (Aneel 2019).

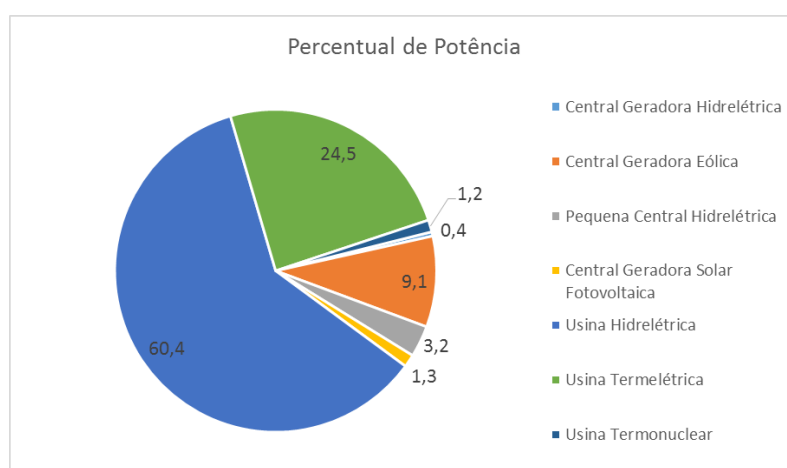


Figura 2- Distribuição em percentual de potência de geração elétrica.

Fonte: BIG – Banco de informações de Geração (Aneel 2019).

No entanto, ainda falta uma gestão eficiente de eletricidade no Brasil, principalmente, nos mais diversos setores que a consomem, como as indústrias, residências, setor comercial, agropecuário, dentre outros. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética do Ministério das Minas e Energia (EPE), os setores com maior potencial de redução são o industrial, o comércio e o setor público, uma vez que há um consumo mais elevado na maioria das vezes. Diante deste cenário, percebe-se a nítida necessidade de implantação de medidas relacionadas à eficiência energética, apontadas a seguir.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A energia, como visto anteriormente, está presente em praticamente todas as atividades do dia-a-dia, e por este motivo, existem diversos estudos com a finalidade de utilizá-la da forma mais eficiente possível. Tais estudos são conhecidos como eficiência energética, que segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2010) seria a relação entre a quantidade de energia final utilizada e um bem produzido ou serviço realizado. Nesta mesma seara, tanto a Eletrobrás como a Agência Internacional de Energia, conceituam eficiência energética como uma forma de gerenciar e restringir o constante aumento do consumo de energia.

Em outras palavras, consideramos algo como eficiente energeticamente, quando há a entrega de uma maior quantidade de produtos com o mesmo gasto energético, ou então a mesma quantidade de produção com um gasto inferior. Por este motivo, a eficiência energética tem seu palco principal no meio industrial, tendo em vista que uma gestão de qualidade pode apresentar diversos benefícios, dentre eles a redução do custo de produção, a melhoria na qualidade do produto com o consequente aumento da competitividade, e também benefícios ao meio ambiente como a redução na poluição do ar.

Assim, a eficiência energética pressupõe uma implementação efetiva de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação e ao longo da respectiva cadeia de valor. Para Godoi (2011), eficiência energética é a racionalização de energia, isto é, “ações ou medidas comportamentais, tecnológicas e econômicas, as quais, ao serem realizadas sobre sistemas e processos de conversão/produção, resultem em diminuição da demanda energética, sem prejuízo da quantidade ou da qualidade dos bens e serviços produzidos”.

No ano de 2009, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) realizou um estudo sobre a eficiência energética na indústria, e os resultados demonstram a importância que essa questão tem nas mais diversas áreas, e que os benefícios vão muito além da simples redução de custo. Na área ambiental, por exemplo, os resultados mostram que 94% dos programas revelam nítidos ganhos ambientais relacionados ao ganho de eficiência. Na esfera financeira, cerca de 82% das indústrias que trabalham em uma eficiente gestão energética possuem um incentivo financeiro ou tributário.

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2012) afirma que pode-se entender a eficiência energética como a fonte energética prioritária para a elaboração de políticas públicas visando o desenvolvimento sustentável da sociedade, isto porque, a redução do

consumo de energia está diretamente ligada com a sustentabilidade, tendo em vista que o alto consumo energético pode influenciar, por exemplo, na emissão de gases de efeito estufa, dentre outras questões.

Apesar de nítidas vantagens, muitas empresas ainda não implementaram a gestão de energia em sua rotina, seja por não saber como iniciar esse processo, ou por não entender a dimensão de seus benefícios. A Agência Internacional de Energia (2012) afirma que a implementação de um Sistema de Gestão de Energia (SGE) é uma das soluções mais efetivas para reduzir consumo e custos, uma vez que, enquanto uma companhia não gerencia ativamente o seu uso de energia e não tem um planejamento para tal, ela é significativamente menos eficiente energeticamente do que poderia ser.

Neste cenário, Worrell et al. (2010) afirmam que, como pontos fundamentais em um SGE apropriado, deve-se estabelecer políticas e procedimentos necessários para assegurar os resultados de longo prazo, suporte da direção, metas bem estabelecidas e a adoção da metodologia da melhoria contínua. Vale salientar que estes pontos são premissas para a certificação na norma ISO 50001, uma das ferramentas mais conhecidas para a implantação de um SGE numa companhia. Segundo a Organização Internacional de Normalização (ISO), esta norma: “especifica requisitos para estabelecer, implementar, manter e melhorar o sistema de gestão de energia, cujo propósito é habilitar uma organização a seguir uma abordagem sistemática para a melhoria contínua da performance energética, incluindo eficiência energética, uso e consumo de energia”. (ISO, 2011).

Publicada em 2011, a ISO 50001 baseia-se no ciclo Plan-Do-Check-Act (PDCA), que em português, significa planejar, executar, verificar e agir. Esta ferramenta é responsável por manter a melhoria contínua do SGE, seguindo os quatro passos presentes no seu nome. O primeiro passo, intitulado de plan, inclui executar a revisão energética e estabelecer linha de base, indicadores de desempenho energético (IDEs), objetivos, metas e planos de ação necessários para obter resultados que levarão à melhoria de desempenho energético em conformidade com a política energética da organização. Em seguida, no do, ocorre a implementação dos planos de ação da gestão de energia. Dando continuidade, o passo de check é responsável por monitorar e medir os processos e características principais de operações que determinam o desempenho energético em relação à política e objetivos energéticos. Por fim, o último passo intitulado de act, deve-se tomar ações para melhorar continuamente o desempenho energético e o SGE.

Diante do exposto, percebe-se a complexidade existente no setor elétrico, que passa desconhecido pela sociedade em geral, e que até indústrias em funcionamento há anos

estão começando a se atentar tardiamente para essas questões. Uma dessas questões são as formas de contratações de energia, em que os consumidores em geral contratam compulsoriamente a energia a partir da distribuidora presente em sua região, e desconhecem qualquer outra forma de contratação, que serão expostas ao longo do presente capítulo.

2.3 MERCADO LIVRE E MERCADO CATIVO DE ENERGIA

A maior parte da população desconhece que no Brasil existe mais de uma forma de contratação de energia, e nesse caso, a forma popularmente conhecida permeia o mercado cativo, também intitulado de Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Porém, também existe o mercado livre, ou Ambiente de Contratação Livre (ACL), que apesar de não ser de conhecimento geral, tem cada vez mais despertado interesse, principalmente na esfera comercial. Atualmente, de acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o Mercado Livre de Energia representa aproximadamente 30% do Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme demonstrado na Figura 3.

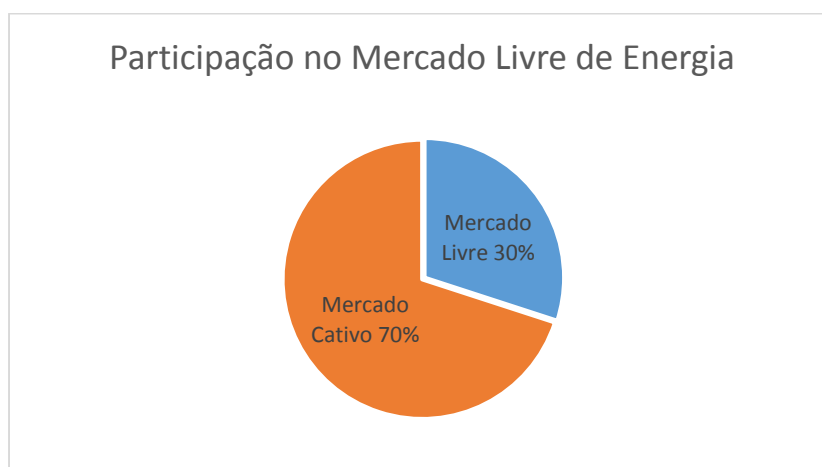


Figura 3- Participação no Mercado Livre de Energia.

Fonte: InfoMercado Dados Gerais 2018 - CCEE.

Para entender melhor essas duas formas de contratação, primeiramente, a Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Abraceel) afirma que no mercado cativo o consumidor contrata energia compulsoriamente via a distribuidora da região em que está, isto é, o consumidor “compra” os serviços de geração e distribuição, mediante o pagamento da fatura recebida mensalmente, que inclui também algumas tarifas de consumo

fixadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), impostas de modo inegociável. Esse mercado é composto principalmente de consumidores residenciais e rurais.

Por outro lado, temos o Ambiente de Contratação livre, definido pela Abraceel, como o mercado em “que os consumidores podem escolher livremente seus fornecedores de energia, exercendo seu direito à portabilidade da conta de energia elétrica”. Diferentemente do mercado cativo, no mercado livre o pagamento pode ser feito mediante o pagamento da fatura referente ao serviço de distribuição para o fornecedor local, através de uma tarifa regulada, ou então mediante uma ou mais faturas referentes à compra da energia (preço negociado de contrato). Sendo assim, percebe-se que apesar do mercado cativo possuir tarifas inegociáveis, neste ambiente livre há a negociação das condições de contratação pelos consumidores e fornecedores de energia, permitindo às partes negociar livremente os preços, condições de pagamento, prazo de entrega, e quaisquer outros aspectos que influenciem na contratação.

À primeira vista, a possibilidade de negociar por si só já demonstra uma certa vantagem do mercado livre em face ao mercado cativo, entretanto, existem diversas outras questões que estão levando ao desenvolvimento desse ambiente livre de contratação de energia. O custo da energia envolve diversos fatores, muitas vezes inimagináveis pela grande parte dos consumidores, como por exemplo, até as condições climáticas podem influenciar nos encargos embutidos na conta de energia. Sendo assim, uma negociação feita entre consumidor e fornecedor de energia, pode mitigar as influências externas na variação do custo da energia elétrica através da constante elevação de tarifas. A Abraceel estima que os consumidores que optam pelo mercado livre podem obter uma economia média de 15% em relação à fatura que seria paga na contratação regulada, devido a concorrência entre os agentes comercializadores de energia.

Além da economia, outra questão levada em consideração ao definir a vantagem de migrar ao ACL é a determinação da isonomia na medição das duas principais formas de contratação de energia, que tornou menos burocrática e mais rápida a transição do consumidor ao mercado livre. Anteriormente havia uma diferenciação na medição de consumo de energia entre os ambientes cativo e livre, que era sinalizada como um grande empecilho na expansão do mercado livre.

Hodiernamente, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) passou a regulamentar a flexibilização na medição no Ambiente Livre de Contratação por meio da normativa 759/2017, buscando a isonomia supracitada através de uma simplificação dos processos relacionados ao Sistema de Medição e Faturamento (SMF). Antes da normativa da

Aneel, seria necessário que o consumidor cativo fizesse uma série de ajustes estruturais para realizar a migração ao mercado livre, e poder finalmente obter os benefícios que o ambiente livre possibilita.

a) A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

Criada no ano de 2004, sucedendo a Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia Elétrica – Asmae (1999) – e o Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE (2000), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é uma instituição pública de direito privado sem fins lucrativos regulada pela ANEEL, responsável principalmente pela gestão de contratos do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e do Ambiente de Contratação Livre (ACL).

Dentre suas principais atribuições, destaca-se o registro da energia gerada e consumida no Sistema Interligado Nacional, a realização de leilões de compra e venda de energia no ACR, a implantação e divulgação de regras e procedimentos de comercialização de energia, como também a apuração de infrações que sejam cometidas pelos agentes do mercado e calcular penalidades. A CCEE serve ainda como uma espécie de fórum de discussão de ideias e políticas, que tem suma importância no desenvolvimento e aprimoramento do mercado energético.

A CCEE agrupa diversas empresas que atuam no setor de energia elétrica brasileiro, dentre elas encontram-se tanto empresas de geração de serviço público como produtores independentes e comercializadoras, dentre diversas outras categorias. De modo sucinto, essas empresas atuantes da CCEE se dividem em: Geração, Distribuição, e Comercialização.

Inicialmente, na categoria de geração de energia existe ainda uma subdivisão de classes. Um classe relevante é a de de Concessionário de Serviço Público de Geração, que, como o próprio nome afirma, compreende ao agente titular de concessão para exploração de ativo de geração a título de serviço público, outorgada pelo Poder Concedente. Existem também os Produtores Independentes de Energia Elétrica, que é aquele agente que recebe concessão, permissão ou autorização do Poder Concedente para produzir energia destinada à comercialização. Outra classe interessante consiste no Autoprodutor, em que encontra-se o agente com concessão, permissão ou autorização para produzir energia destinada a seu uso exclusivo, podendo comercializar eventual excedente de energia desde que autorizado pela Aneel. Vale salientar que todos os agentes geradores, desde que autorizados, podem

comercializar a energia tanto no Ambiente de Contratação Regulada - ACR como no Ambiente de Contratação Livre - ACL.

Dando prosseguimento, na categoria de Comercialização, compreendem tanto às empresas importadoras, exportadoras e comercializadoras de energia elétrica, como os consumidores livres e dos consumidores especiais. A comercialização do mercado ocorre seguindo um fluxo, em que, primeiramente, o comercializador compra energia por meio de contratos bilaterais celebrados dentro do mercado livre de energia, podendo realizar a venda tanto a outros comercializadores, como também para geradores, distribuidores e consumidores livres e especiais.

Em seguida, tem-se o consumidor livre, que pode escolher seu fornecedor de energia elétrica, seja um agente gerador ou comercializador, a partir da livre negociação diante das opções, enquanto o consumidor especial tem seu direito de escolha restrito a fornecedores aos quais possuem energia oriunda de fontes incentivadas especiais. Além disso, existe o agente importador, que a partir da obtenção de uma autorização do Poder Concedente, passa a realizar importação de energia elétrica, tanto para abastecer o mercado nacional como o exportador.

Por fim, tem-se os agentes da categoria Distribuição incluindo as empresas concessionárias distribuidoras de energia elétrica, responsáveis por realizar o atendimento da demanda de energia aos consumidores com tarifas e condições de fornecimento reguladas pela Aneel.

Os associados podem ter sua participação no CCEE de forma obrigatória ou facultativa. Os consumidores livres e especiais, por exemplo, possuem uma participação obrigatória no CCEE, enquanto usinas geradoras com capacidade instalada inferior a 50 MW têm participação facultativa. Além disso, é importante perceber que a quantidade de agentes associados vem crescendo paulatinamente com o passar dos anos, conforme demonstrado na Figura 4.

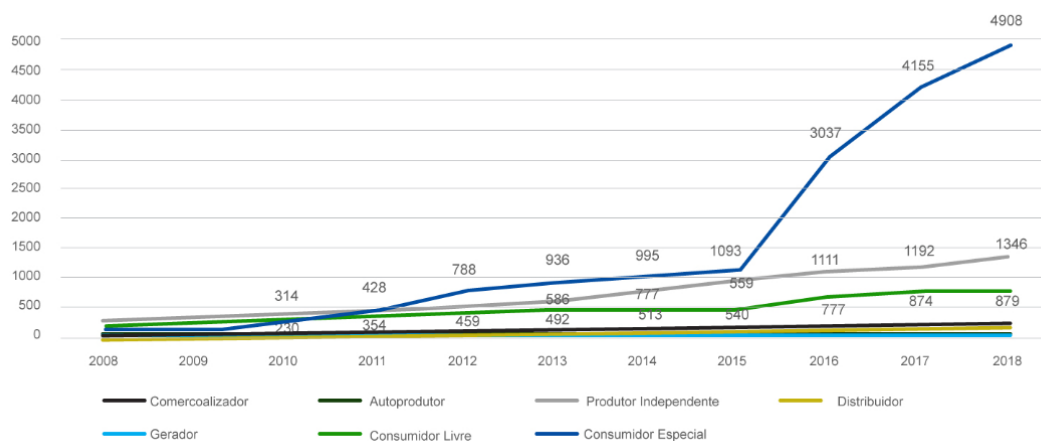


Figura 4- Evolução do número de agentes por classe.

Fonte: *Website* do Mercado livre de energia (2019).

Diante do exposto, é notável a importância da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica no mercado energético brasileiro, não só pela regulação de diversas questões que envolvem esse meio, como também por possuir uma base diversificada de agentes que acaba gerando discussões com opiniões dos diversos lados, resultando em um aprimoramento do mercado com regras mais equânimes.

b) O mercado livre de energia e suas formas de contratação

Na contemporaneidade, percebe-se cada vez mais o aumento da concorrência entre as empresas, principalmente devido ao fenômeno da globalização, que permite a troca de informações e de mercadorias entre os mais diversos países do mundo, em um pequeno lapso de tempo. Nesse âmbito, a competitividade do mercado leva as grandes empresas a terem um foco na redução de custos, para direcionar a receita em investimentos na busca pela melhoria contínua.

Por este motivo, o mercado livre vem ganhando mais espaço entre grandes companhias, uma vez que proporciona a seus consumidores não só a almejada redução de custos, como também uma previsibilidade orçamentária, evitando assim gastos inesperados que impactem na receita da organização. Além disso, dentro de uma cadeia produtiva, os empresários buscam negociar todos os insumos necessários na produção, e assim, a oportunidade de negociar a energia elétrica vem ganhando espaço no cenário atual, sendo visto como um iminente meio de economizar, mas que consiste em uma forma segura e confiável de adquirir energia.

Como anteriormente explanado, o mercado livre representa 30% da carga total do Sistema Integrado de Energia, e ao analisar a distribuição dessa forma de contratação no território brasileiro, encontra-se o seguinte cenário: o submercado Sudeste/Centro-Oeste responde por 58% do mercado livre nacional, enquanto os submercados Sul e Nordeste representam 18% e 16% respectivamente e Norte, 8%. Essa distribuição pode ser observada na Figura 5.

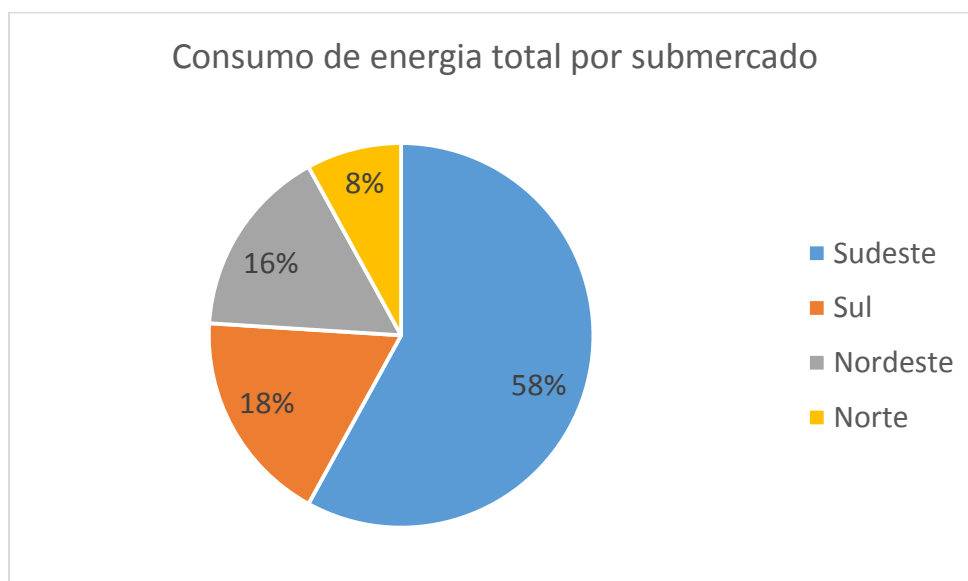


Figura 5- Consumo de energia total por submercado.

Fonte: *Website* do Mercado livre de energia (2019).

A contratação realizada no Mercado Livre de Energia pode ocorrer de forma incentivada ou convencional. A primeira refere-se a uma modalidade criada pelo Governo com a finalidade de propagar o consumo de fontes renováveis, seja mediante energia Eólica, Solar, de Biomassa ou até pequenas hidroelétricas. O modelo de incentivo ao consumo de energia limpa ocorre mediante descontos feitos nas tarifas de uso do sistema de distribuição. Cumpre anotar ainda que existe a limitação de 30MW de potência nesse tipo de contratação. Por outro lado, a forma convencional é oriunda dos demais tipos de geradores, como grandes usinas hidroelétricas ou térmicas.

Em outras palavras, pode-se constatar que também constitui uma grande vantagem nesse ambiente, a possibilidade de o consumidor escolher entre os diversos tipos de contratos, não só levando em consideração a parte da negociação dos valores e tarifas, como também existe a possibilidade de escolher meios de energia renovável para utilizar em sua empresa.

Na negociação do contrato, ao realizar a previsão da demanda energética, acaba surgindo tanto a possibilidade de contratar menos energia do que necessário, como também pode ocorrer a contratação de mais energia do que utilizada durante o mês, por exemplo. Na primeira situação, a empresa que consumir uma quantidade maior de energia do que a contratada, poderá realizar contratos adicionais paralelos, ou pagar o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) relativo o extra que será consumido. Definido pela CCEE, o PLD é um preço de referência para o custo da energia no mercado livre no curto prazo, e por este motivo, costuma ser mais alto do que os firmados em contrato de médio e longo prazo.

Na situação contrária, o consumidor livre pode optar por vender o excedente por meio de contratação direta com outras empresas, ou então liquidar a sobra na CCEE, que também leva em consideração o PLD. Por fim, cumpre anotar que o PLD resulta de uma apuração realizada entre a oferta e a demanda de energia em todo o sistema nacional, pode variar de acordo com diversos fatores, como por exemplo o preço dos combustíveis, ou índice das chuvas, dentre outros.

Além das duas formas de contratação, outra classificação consiste nos tipos de consumidores que permeiam esse mercado, intitulados de consumidor especial e livre. A classificação leva em consideração a demanda e a tensão mínima para distinguir os consumidores, influenciando diretamente no tipo de contratação permitida para cada caso. O Consumidor Especial, por exemplo, apenas pode contratar na forma de energia incentivada, e cada unidade consumidora deverá contratar uma carga mínima de 500 kW e tensão mínima de 2,3 kV. Essa faixa também poderá ser utilizada para conjuntos de unidades consumidoras que estão localizadas em áreas adjacentes ou que possuem o mesmo CNPJ, em caso de empresas.

O Consumidor Livre, por outro lado, tem a opção de contratar de forma convencional ou incentivada, de acordo com sua preferência. Quanto a demanda e tensão mínima, recentemente foi publicado a Portaria nº 314/2019 do Ministério de Minas e Energia, que modificou os critérios quanto ao consumidor livre. Anteriormente, cada unidade consumidora deve apresentar demanda contratada a partir de 3.000 kW e tensão mínima de 69 kV, para data de conexão elétrica anterior a julho/1995, ou 2,3 kV, para ligação após julho/1995.

Atualmente, com o aumento da procura pelo mercado livre de energia, ocorreu a diminuição da carga mínima para contratação, e também a extinção dos critérios de tensão mínima. A partir de Janeiro de 2021, para tornar-se um consumidor livre a carga mínima é de 1.500kW, independentemente do nível de tensão. A partir de Julho do mesmo ano, a carga mínima diminui 500 kW. No ano seguinte em diante, a carga mínima considerada será de

500kW, definindo ainda que, neste ano, devem ser realizados estudos sobre as medidas regulatórias para liberar o mercado livre para consumidores com carga inferior aos 500kW pre-definidos. Os critérios vigentes para ser tornar Consumidor Livre ou Especial podem ser observados resumidamente na Tabela 2.

Consumidor	Fonte	Demanda mínima	Tensão mínima	Data de início
Livre	Convencional ou Incentivada	1500 Kw	Qualquer tensão	A partir de 01/01/21
		1000 Kw		A partir de 01/07/21
		500 Kw		A partir de 01/01/22
Especial	Incentivada		2,3kV	Qualquer data

Tabela 2 - Critérios vigentes para se tornar Consumidor Livre ou Especial.

Fonte: Portaria N° 314 de 07 de Agosto de 2019.

Analisando rapidamente o cenário mundial, diferentemente do que ocorre no Brasil, no Mercado Europeu de Energia os consumidores residenciais podem optar livremente pela forma de contratação que lhe favorece, sem limites mínimos de potência ou tensão. Além disso, alguns países da América Latina apresentam critérios de elegibilidade bem mais abrangentes que o Brasil.

Entretanto, como visto a partir da Portaria n° 314/2019 do Ministério de Minas e Energia, a tendência nacional é que o mercado livre continue a crescer e expandir seus critérios de contratação pelo consumidor cativo. Tramita atualmente no Congresso o Projeto de Lei do Senado n° 232, de 2016, que propõe reduzir gradativamente o limite de demanda contratada mínima para ingresso no mercado, zerando qualquer imposição até 2028.

Assim, a partir da análise do funcionamento do setor de energia no Brasil, dando continuidade ao presente trabalho será realizado um diagnóstico da eficiência energética em uma indústria automobilística multinacional, localizada no território brasileiro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 A EMPRESA

A presente monografia se propôs a estudar uma fábrica localizada no estado de Pernambuco, que faz parte de uma das maiores multinacionais de veículos, presente em praticamente todos os países do mundo. A capacidade de produção anual pode chegar a duzentos e cinquenta mil automóveis, no ano de 2018, por exemplo, esse número atingiu a marca de 201.147 carros, dentre os três modelos diferentes que são produzidos, referentes a dois veículos utilitários esportivos e uma pick-up grande.

Ao analisar a cadeia produtiva da empresa, verifica-se que na produção de veículos automotivos, a utilização da energia pode ser encontrada em todas as áreas da fábrica, entretanto, as áreas referentes à manufatura são as que mais consomem, por compreender às principais etapas de fabricação, que podem ser vistas na figura abaixo:

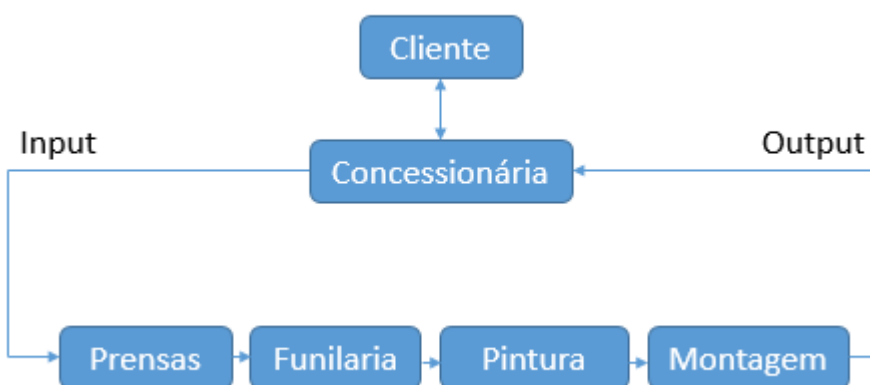


Figura 6- Fluxo do processo de fabricação do automóveis.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, com a análise da Figura 6, percebe-se que o primeiro passo da fabricação de um automóvel refere-se à área de prensas, responsável por formatar as peças de aço, consumindo assim uma grande quantidade de energia, tendo em vista há o corte e a moldagem de grandes componentes de aço, que resultam no processo inicial da formação da carroceria. Neste momento também são realizadas algumas linhas de estampagem, responsáveis por transformar as chapas nas peças principais, como o capô e as portas.

Em seguida, conforme demonstra a Figura 6, as peças de aço resultantes do processo de prensagem são encaminhadas para a funilaria, momento em que ocorre a soldagem automatizada das mesmas, realizadas por centenas de robôs, que produz como resultado a carroceria do veículo. Neste momento também há a aplicação de alguns adesivos estruturais, que variam conforme o modelo do automóvel.

A etapa seguinte representa o maior consumo de todo o processo, segundo Feng e Mears (2015), que é a etapa da pintura, representando cerca de 60% do consumo energético. Essa etapa segue os passos de pré-tratamento da carroceria, em seguida ocorre a cataforese, para que então seja realizada a sigilatura, responsável por impedir qualquer entrada e vazamento de ar, água e ruídos dentro do veículo, e por fim ocorre a aplicação de tinta e de verniz. Após essas três etapas, a fase final da manufatura compreende a montagem das peças, momento em que são colocados o motor, os bancos e os demais componentes e acessórios do veículo.

Assim finaliza o processo de manufatura e todas suas etapas, ficando nítido o porquê esta área da fábrica possui o maior consumo de energia da planta. Entretanto, cumpre anotar que ainda existem áreas auxiliares, como a área da administração da fábrica, os restaurantes, as portarias, a Estação de Tratamento dos Efluentes, a Ilha ecológica (reciclagem e reaproveitamento de resíduos) e o *Energy Center*. Abaixo a Figura 7 ilustra as principais áreas da fábrica, representadas pelos quatro galpões da manufatura, o *Communication Center* (área administrativa), e o *Energy Center*:

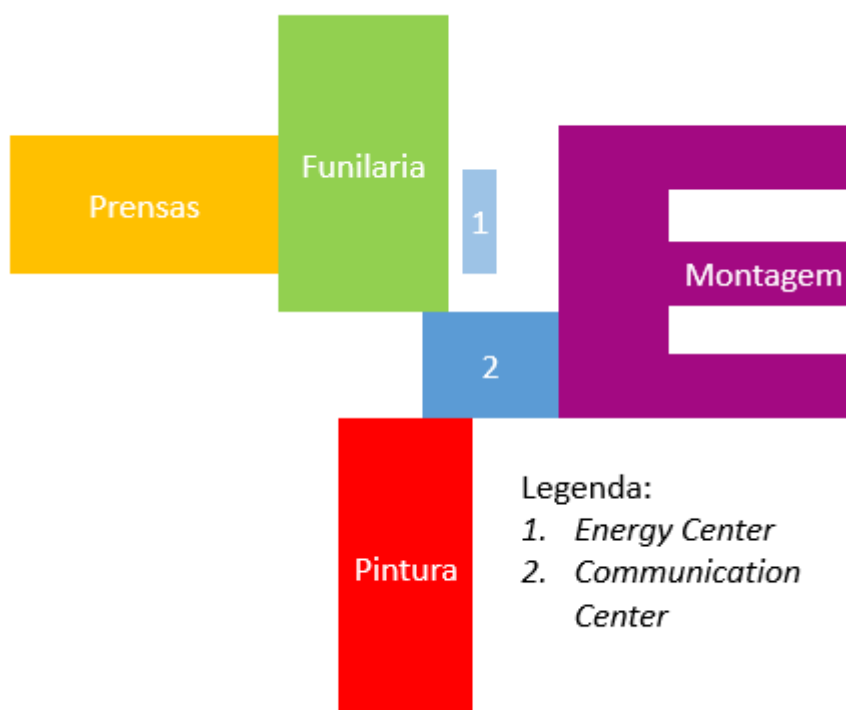


Figura 7- Layout da fábrica estudada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O *Energy Center* se responsabiliza pela gestão dos vetores energéticos da fábrica, que compreendem não só a energia elétrica, mas também o gás natural, a água gelada, o ar comprimido e água de resfriamento. Por este motivo, a proposta de aplicação da eficiência energética e consequente redução de custos serão realizadas posteriormente nesta área.

a) *Energy Center* e os vetores energéticos

A utilização de energia de qualquer indústria, a primeira vista de um leigo, parece ser realizada apenas a partir da energia elétrica. Entretanto, como anteriormente explanado, existem diversas formas de utilização de energia, que são classificadas em vetores energéticos primários, e os secundários que são aqueles que derivam dos primeiros. Na planta automotiva em estudo, os primários utilizados são a energia elétrica e gás natural, que por sua vez geram os vetores secundários. Assim, a energia elétrica se responsabiliza pela geração da água gelada, do ar comprimido e da água de resfriamento, enquanto o gás natural é utilizado para gerar a água quente, conforme pode ser observado no fluxo da energia ilustrado na Figura 8.

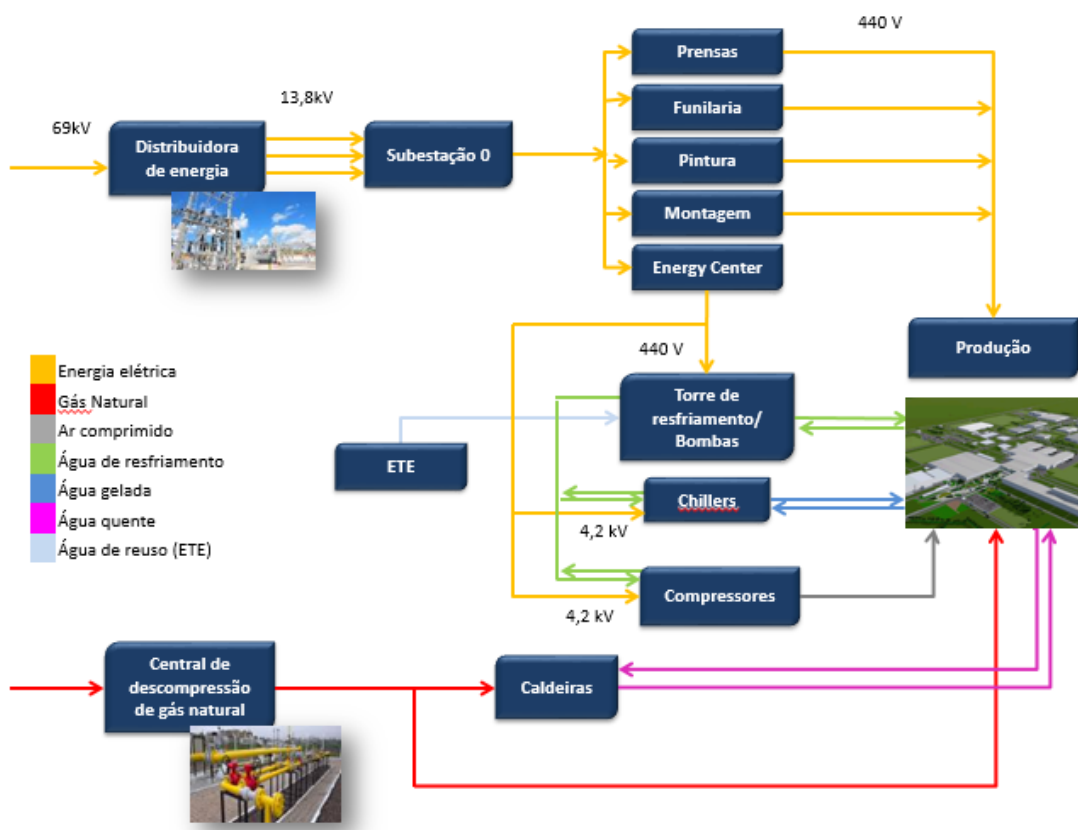


Figura 8- Fluxo de energia.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Destes vetores, podem-se destacar algumas particularidades entre as áreas de consumo. É nítido que o vetor energético principal é a energia elétrica, consumida em todas as áreas e galpões da planta, e por este motivo, desde o ano de 2016 a fábrica estudada passou a contratar esta energia pelo mercado livre, com a finalidade de diminuir os gastos. Por outro lado, o gás natural é recebido pela distribuidora local, é utilizado exclusivamente no galpão da pintura, que conseqüentemente, torna-se responsável pela produção do vetor secundário de água quente.

Os demais vetores secundários, isto é, a água gelada, o ar comprimido e o ar de resfriamento são produzidos no *Energy Center*, área que é formada por compressores e secadores de ar, chillers, torres de resfriamento e bombas de água para fornecimento. Ou seja, além do *Energy Center* se responsabilizar pela gestão de energia através de seus funcionários, também realiza a produção de vetores energéticos utilizados na produção de veículos.

Antes de realizar a análise do consumo de energia na planta, deve-se compreender o funcionamento de cada componente do *Energy Center*. Inicialmente, tem-se a central de compressores que realiza a produção do vetor de ar comprimido. Esta área possui cinco

compressores centrífugos e dois de parafuso, além de três secadores de ar. Neste momento também é utilizado o vetor de água de resfriamento que objetiva resfriar os compressores. A média de produção neste caso, é de cerca de 35.000 m³/h de ar comprimido.

Dando continuidade, a água gelada é proveniente da central de chillers, que possui nove equipamentos responsáveis por fornecer água a 6°C para as unidades de tratamento de ar localizadas acima dos galpões, que por sua vez fazem a climatização. Além desta serventia, a água gelada também auxilia na cataforese e nas cabines de aplicação de tinta no galpão da Pintura.

O calor resultante do resfriamento da água descrito no processo anterior é dissipado nas torres de resfriamento, que se localizam acima do prédio do *Energy Center*. O processo ocorre da seguinte forma: primeiramente, a entrada de água se dá através de bombas que elevam a água até a entrada pela parte superior da torre; em seguida, a água sai das torres a uma temperatura de 28°C, sendo utilizada para resfriar as máquinas, principalmente, das Prensas e Funilaria. Finalizando o processo, os vetores energéticos secundários gerados no *Energy Center* são distribuídos para as áreas produtivas por dois *pipe-racks*.

b) Análise do consumo energético

A gestão de energia é realizada pelos funcionários da área de utilidades, que as informações armazenadas em um Sistema Integrado de Gerenciamento de Energia, intitulado de SIGE, ferramenta que comporta todos os dados relativos aos vetores energéticos da empresa. O SIGE possui uma visão mais técnica, que tem a finalidade de demonstrar os medidores e suas variáveis. Além disso, existe uma visão gerencial, em que há uma visão mais facilitada em dashboards, tornando os dados mais visíveis.

Em outras palavras, quando uma pessoa necessita analisar qualquer dado relativo aos vetores energéticos, seja o histórico de consumo, como também o consumo por área, por exemplo, acessando o sistema encontrará com fácil acesso tais informações.

A coleta destes dados de energia armazenados no SIGE é realizada a partir de medidores instalados em locais específicos pela planta. A medição de energia elétrica, por exemplo, é realizada a partir de subestações, que são instalações elétricas de alta potência, responsáveis por transmitir e distribuir a energia. Cada subestação possui pontos de redistribuição de energia para cada galpão ou área da fábrica, e nestes pontos são instalados medidores para coleta do consumo.

Outras áreas possuem medidores específicos para cada vetor energético utilizado, como no Energy Center, que possui medidores de vazão, temperatura e pressão para os vetores produzidos. Por outro lado, também pode-se citar a área da Pintura, que possui medidor de gás natural na entrada e medidores de vazão e temperatura para a água quente.

Para a análise de consumo realizada na presente monografia, foram utilizados os dados ano de 2018. Neste ano, a energia representou aproximadamente 10% dos custos de transformação da fábrica analisada, e quanto ao consumos dos vetores primários, isto é, a energia elétrica e o gás natural, encontram-se os seguintes valores demonstrados na Tabela 3.

	GJ	%
Energia elétrica	439.740	69,83%
Gás Natural	190.029	30,17%
Total	629.768	100%

Tabela 3- Consumo de energia elétrica e gás natural em 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como visto anteriormente, a partir dos vetores energéticos primários listados acima, são produzidos os vetores secundários. A energia elétrica, a partir de um processo realizado em chillers de compressão, produz o vetor secundário da água gelada. Além disso, utilizando-se também da energia elétrica, porém, a partir de processos envolvendo compressores centrífugos e torres de resfriamento, são gerados respectivamente o ar comprimido e a água de resfriamento. Os vetores secundários também têm suma importância na fábrica, e por este motivo também devem ser monitorados. Assim, a Tabela 4 demonstra tanto os equipamentos utilizados para a produção de cada vetor, como o seu consumo no ano de 2018.

Equipamento	Vetor energético	GJ	%
Chillers	Água gelada	87.562	64,85%
Compressores	Ar comprimido	40.724	30,16%
Torres de resfriamento	Água de resfriamento	6.739	4,99%
	Total	135.024	100%

Tabela 4- Consumo de energia para produção de água gelada, ar comprimido e água de resfriamento em 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizando uma breve análise da tabela, percebe-se que o vetor energético secundário que mais necessita de energia elétrica para sua produção é a água gelada, e tal situação pode ser justificada uma vez que indústria em questão localiza-se no Nordeste do Brasil, região que possui médias de temperaturas altas ao longo do ano, resultando em uma necessidade contínua de climatização dos galpões, realizada a partir da circulação de água gelada. Conforme demonstrado na tabela 4, a água gelada é produzida a partir da utilização de chillers de compressão, que consomem cerca de 1.398 kW de potência por equipamento.

Além da análise de dados realizada a partir de cada vetor energético, uma importante demonstração refere-se a distribuição dos dados por galpão, tendo em vista que essa visão pode demonstrar quais locais demandam mais projetos voltados à redução do consumo de energia. As Tabelas 5 e 6 abaixo, demonstram o consumo energético detalhado por área, a partir dos vetores primários (Tabela 5) e vetores secundários (Tabela 6).

LOCAL	Energia elétrica (GJ)	Gás (GJ)	Total (GJ)	%
Prensas	33.695		33.695	5,4%
Funilaria	53.399		53.399	8,5%
Pintura	124.178	181.617	305.795	48,6%
Montagem	44.459		44.459	7,1%
ETE	4.759		4.759	0,8%
CD	20.726		20.726	3,3%
Energy C.	135.024		135.024	21,4%
Blocos auxiliares	23.500	8.412	31.911	5,1%
Total (GJ)	439.740	190.029	629.768	100%

Tabela 5- Consumo de energia por área em 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

	Água gelada (GJ)	Ar comprimido (GJ)	Água de resfriamento (GJ)	Total (GJ)
Prensas	10.053	5.281	1.922	17.257
Funilaria	23.616	16.558	4.816	44.991
Pintura	43.157	14.024		57.181
Montagem	10.736	4.861		15.597
Total (GJ)	87.562	40.724	6.739	135.024

Tabela 6- Consumo dos vetores secundários por área em 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando brevemente as tabelas, nota-se que a área que mais consome energia elétrica é o Energy Center, e tal situação é justificada principalmente pela produção de água gelada para resfriamento da fábrica, apesar de também ser utilizada para os compressores de ar, nas torres de resfriamentos, dentre outros equipamentos. Em segundo lugar quanto ao consumo de energia elétrica, encontra-se a pintura, que possui o maior consumo energético quando somados os vetores, principalmente devido ao gás natural. Este vetor é utilizado apenas na pintura e nas áreas auxiliares, que compreendem aos os locais não produtivos, com exceção do Centro de Distribuição e à Estação de Tratamento de Efluentes, que possuem medições apartadas. Neste caso, a área auxiliar que utiliza o gás natural compreende aos restaurantes, conforme visualizado abaixo:

Local	Gás natural (GJ)	%
Pintura	181.617	95,57%
Restaurantes	8.412	4,43%
Total	190.029	100%

Tabela 7- Distribuição do consumo de gás natural em 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

c) Análise das áreas de maior consumo

A partir da análise energética realizada na seção anterior, nota-se que algumas áreas representam o maior consumo energético em relação as demais, se destacando neste aspecto os galpões de Prensas, Funilaria, Pintura, Montagem e o Energy Center. A importância de determinar as áreas de maior consumo refere-se ao estudo de possibilidades de melhoria e redução de consumo, que devem ser priorizadas inicialmente nestas áreas.

Assim, para aprimorar o diagnóstico energético, torna-se necessário restringir o consumo para variáveis particularizadas de cada área. Na área de Prensas, define-se como principal unidade os golpes, isto é, o momento em que cada peça é prensada pelos equipamentos. Em seguida, na Funilaria, galpão responsável pela soldagem das peças prensadas proveniente das Prensas, a principal variável é de carroceria acabada.

A carroceria proveniente da Funilaria, é encaminhada para o galpão da Pintura, que por sua vez, possui como variável a carroceria pintada. Por fim, o produto resultante das áreas anteriores é encaminhado para Montagem, momento final do processo produtivo, e por este motivo, designa-se como variável principal o carro. Como visto, o Energy Center

também representa grande parte do consumo da planta, e os vetores energéticos produzidos nesta área, são utilizados ao longo de todo o processo de fabricação do veículo, e sendo assim, a unidade de medição também será GJ/Carro, assim como para a Planta.

Definidas as variáveis das áreas significativas de consumo, a Tabela 8 abaixo representa o consumo total em GJ de cada área (segunda coluna), em seguida a quantidade de golpes, carrocerias acabadas e pintadas ou carros, conforme definido para cada local (terceira coluna), e por fim, o resultado na coluna de indicador.

Local	Consumo (GJ)	Fator	Indicador	Unidade
Prensas	33695	4112960	8,19	Gj/golpes*1000
Funilaria	53399	198518	0,27	Gj/carroceria acabada
Pintura	305795	201209	1,52	Gj/carroceria pintada
Montagem	44459	201147	0,22	Gj/carro
Planta	629768	201147	3,13	Gj/carro
Energy Center	135024	201147	0,67	Gj/carro

Tabela 8– Indicadores de desempenho por área em 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cumpra anotar que o consumo energético da Planta inclui as áreas auxiliares, como restaurantes e outros. Assim, analisando a tabela, nota-se que por produto que resulta de cada área, o galpão de Prensas possui o maior consumo. Entretanto, quando é estudado o gasto total de energia por área, a Pintura é responsável por praticamente metade do consumo da Planta, sendo assim, a principal área relativa a esta questão, independentemente de consumir menos GJ por variável.

Castro (2015) realizou um estudo em sua tese de mestrado intitulada “Gestão energética nos setores transversais para redução do consumo de energia em uma empresa automobilística”, em que analisou os dados relativos ao consumo de energia elétrica, ar comprimido e água gelada em uma montadora de veículos, chegou a conclusão de que 39% da energia elétrica, 57% do ar comprimido e 83% da água gelada da planta são destinados à área de Pintura.

Portanto, nota-se que tal comportamento de consumo relativo à Pintura está presente no universo das fábricas automotivas como um todo, e por esta razão, torna-se necessário

realizar um estudo mais profundo nesta área a fim de detalhar o processo, e entender os motivos que levam ao consumo elevado.

e) Pintura

Como visto anteriormente, o processo produtivo que ocorre na pintura é dividido em quatro principais etapas, que são intituladas de unidades técnicas elementares ou UTEs. O primeiro passo, ocorre no momento em que as carrocerias acabadas são recebidas da funilaria, recebendo inicialmente o pré-tratamento. Neste momento, a carroceria é imersa em soluções químicas, com a finalidade de prepará-la para o processo seguinte, que é a cataforese.

O produto decorrente da Funilaria possui diversas substâncias e óleos provenientes do processo de soldagem, que se não forem devidamente removidos, podem alterar e danificar o processo de pintura. Assim, o processo de limpeza inicia-se com uma solução de limpeza inserida na parte interna, seguida de uma aspersão para remoção do óleo da superfície, e por fim há a imersão completa em solução alcalina seguida de um enxague para remover qualquer produto restante.

Após a descontaminação, a carroceria é preparada para o processo de cataforese, e tal preparação é feita a partir do depósito de microcristais, responsáveis por facilitar a aderência de fosfato na etapa seguinte, necessárias para aumentar a resistência contra a corrosão.

Entendido o processo que ocorre nesta primeira fase, deve-se entender o motivo pelo qual há um grande consumo de energia neste momento. As etapas iniciais de limpeza da carroceria devem ocorrer a uma temperatura elevada, entre 50 e 60°C, que ocorre a partir de uma troca de calor com o circuito de água quente em trocadores de placas. Este circuito, por sua vez, é mantido por dois aquecedores de água, de 3500 kW de potência cada, alimentados a partir do gás natural. Cada aquecedor de água tem capacidade para aquecer 150 m³/h de água de 70°C para 90°C, e a temperatura dos gases expelidos pode chegar a 180°C. Assim, nota-se a quantidade de energia necessária para que ocorram esses aquecimentos a temperaturas elevadas.

Finalizado o tratamento da carroceria, inicia-se a cataforese, que significa, em outras palavras, a aplicação da primeira camada de tinta pelo princípio da eletrodeposição. Neste processo, o principal vetor energético consumido é a água gelada, responsável por manter a estabilidade. No próximo passo, a carroceria passa por um forno, que se

responsabiliza por aquecer a tinta de cataforese na carroceria antes da aplicação das próximas camadas. Vale salientar que neste momento o aumento de temperatura da carroceria é gradual, pois choques térmicos são danosos à qualidade do processo, ocorrendo até atingir a temperatura média de 170 °C.

A segunda UTE refere-se à aplicação da sigilatura, que é um material de vedação, impedindo qualquer vazamento de água ou ruídos. A aplicação manual ocorre nas estações de trabalho, que compreendem cabines fechadas, ventiladas por uma unidade de fornecimento de ar que funcionam utilizando troca de calor com a água gelada. Após a aplicação de sigilatura na carroceria, a mesma passa novamente por um forno com a temperatura de 160°C.

A terceira etapa geral da pintura refere-se às cabines de aplicação, onde são colocadas a tinta base e o verniz. Estes processos ocorrem nas cabines de aplicação, que devem possuir um ambiente preparado para tal, isto é, evitando a entrada de contaminantes e a saída de tinta por aspersão. Neste momento, há o resfriamento da cabine, que deve ser mantida a mais o menos a 24,5°C, e até a umidade é controlada a cerca de 70%. O controle utiliza dois vetores energéticos: a água gelada para o controle da umidade e o gás natural para controle da temperatura.

Na cabine, são aplicadas duas camadas de tinta base em todas as superfícies da carroceria. Neste momento do processo, a tinta deve ser aquecida e permanecer em uma temperatura de 65°C para permitir a evaporação parcial da água contida na fórmula. O ar seco torna a evaporação da água da camada de tinta mais eficiente, reduzindo a temperatura requisitada pelo forno.

Dando prosseguimento, as carrocerias são encaminhadas para a aplicação de verniz transparente, em que, para evitar a contaminação por excesso de aspersão, cada área de aplicação é separada das outras mediante cortinas de ar. O último forno, intitulado de Top coat, é contínuo e em linha. São duas unidades em paralelo, em que a temperatura da carroceria chega a 140°C.

No momento final da Pintura, ocorre a revisão final, em que os funcionários verificam a existência de qualquer possível falha que possa ter ocorrido ao longo do processo, e caso seja identificada, direcionar a carroceria à cabine responsável por realizar o ajuste. Em suma, podemos definir a UTE 1 como a etapa de pré-tratamento e cataforese, UTE 2 referente à aplicação da sigilatura, UTE 3 responsável pela pintura, e UTE 4 quando ocorre a revisão final. Entendido o processo, serão analisados em seguida os vetores energéticos utilizados no galpão.

Os principais vetores energéticos utilizados nesta área, são os vetores primários (energia elétrica e gás natural), sendo a responsável pelo maior consumo do gás natural, e ficando em segundo lugar quando se trata da energia elétrica. A Figura 9, demonstra o consumo dos vetores energéticos levando em consideração a unidade de GJ por carroceria pintada no ano de 2018. Vale salientar que, além dos vetores primários, também é utilizada a água gelada e o ar comprimido, que na Figura abaixo, são representadas pela energia elétrica consumida para a produção de ambos no Energy Center.

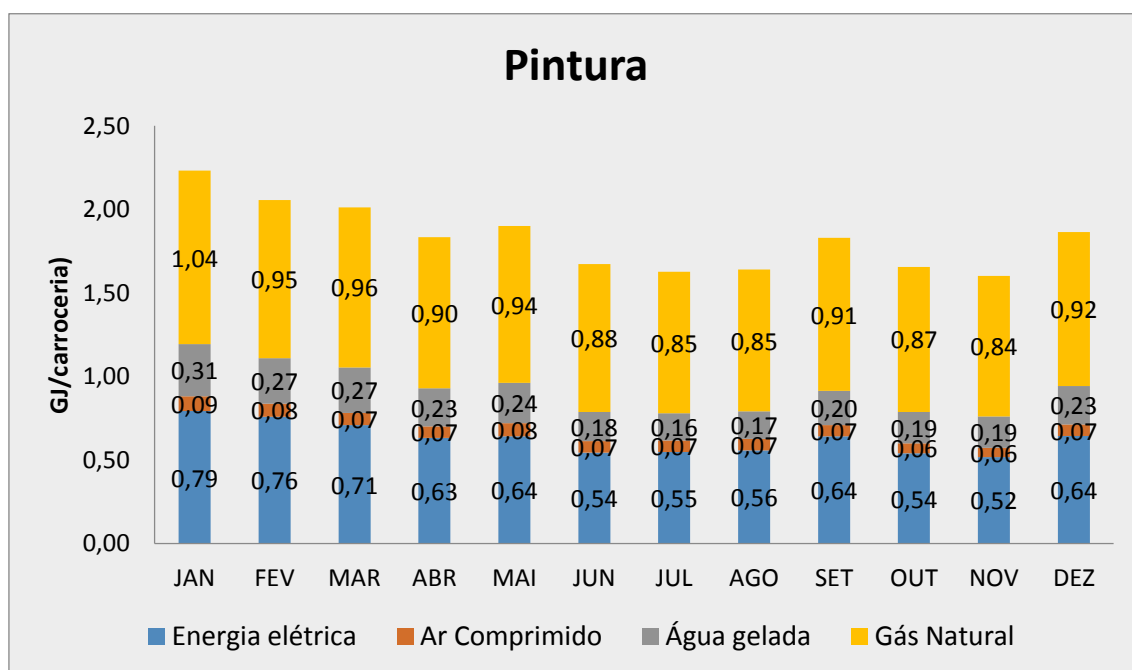


Figura 9- Desempenho dos vetores energéticos da Pintura em 2018.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Visualizando a Figura acima, nota-se que o gás natural representar o maior percentual do consumo de energia, com 50% do total. Porém, ao analisar o custo relativo ao consumo, energia elétrica acaba ultrapassando o gás natural quando analisado o valor em R\$/GJ.

Um dos fatores que influencia no alto consumo energético da Pintura, é que esta área possui processos que necessitam estar operando, mesmo que haja variação no número de carros produzidos, o que ocorre, por exemplo, nos fornos e cabines de pintura, que como visto na análise das UTEs, possuem temperaturas e umidades específicos que devem ser controladas para que não haja variação na qualidade do produto final.

Em dias em que não há produção, por exemplo, o pensamento inicial é de que o consumo é nulo, entretanto, a Pintura ainda acaba consumindo quase metade do consumo médio de um dia produtivo, que pode chegar a produzir mais de 800 carrocerias como produto. Neste caso, o consumo elevado justifica-se pela necessidade de atividades de manutenção que precisam ser realizadas quando não há produção. Outra variação de consumo é percebida no terceiro turno de trabalho, relativo ao horário noturno, uma vez que ocorre certa diminuição na quantidade de produção.

A Pintura possui cerca de 80% dos pontos de energia elétrica medidos internamente, e a partir deles, é possível verificar os setores de maior consumo, conforme Tabela 9. As UTEs 1 e 3 representam a maior parte do consumo deste vetor, principalmente devido à cataforese, à cabine de pintura e aos fornos.

Percentual de gasto energético						
	UTE 1	UTE 2	UTE 3	UTE 4	Ventilação	Iluminação
Consumo de energia elétrica na Pintura	38%	11%	35%	3%	8%	4%
Consumo de gás natural na Pintura	48%	17%	35%	0%	0%	0%

Tabela 9- Resumo do consumo na Pintura.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os consumidores de gás natural são os aquecedores de água, as unidades de tratamento do ar das cabines de aplicação e os fornos. O gás natural apresentou uma parcela fixa de consumo inferior à da energia elétrica. Em dias não produtivos, a média de consumo foi de 8043 m³, ou seja, 34% do quantitativo de um dia trabalhado. Este consumo é justificado pelos mesmos fatores descritos para a energia elétrica.

A oficina possui medidores de gás em cada queimador existente, com exceção do queimador dos aquecedores de água. Estes têm o consumo estimado através da vazão de água aquecida e diferença de temperaturas antes e depois, sendo incluso na UTE 1.

Água gelada e ar comprimido são enviados pelo Energy Center, local em que há a coleta dos dados. A água chega à Pintura a aproximadamente 6,6°C e retorna a 11,6°C. Ela é consumida principalmente no controle de temperatura das cabines de aplicação de tinta

(70%) e na cataforese (16%). O consumo de água gelada (Gj) em 2018 na Pintura em relação a sua produção (carrocerias pintadas) é mostrado na Figura 10.

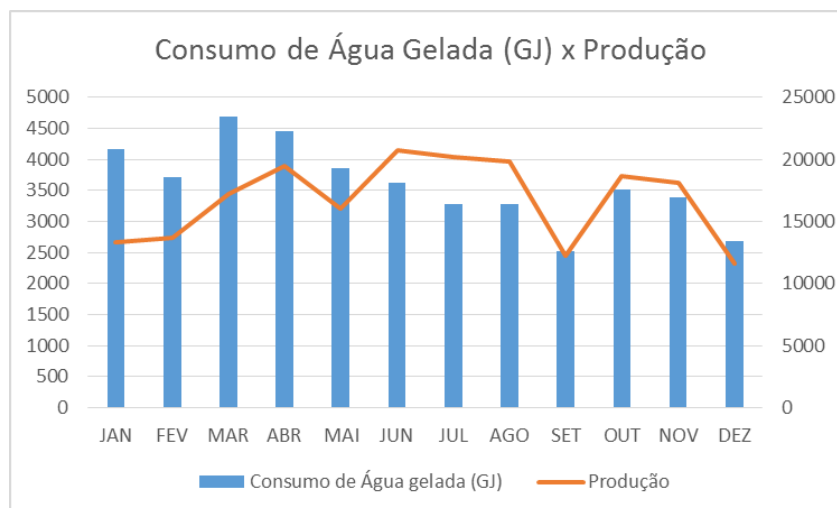


Figura 10- Consumo de água gelada da Pintura em relação à produção.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ar comprimido, por sua vez, é gerado a 8,3 bar e a maior parcela entregue também é utilizada nas cabines (em média, 88%). Esta pressão é considerada alta se comparada a de outras fábricas do mesmo segmento, que trabalham a aproximadamente 6 bar. O consumo de ar comprimido é mostrado na Figura 11.

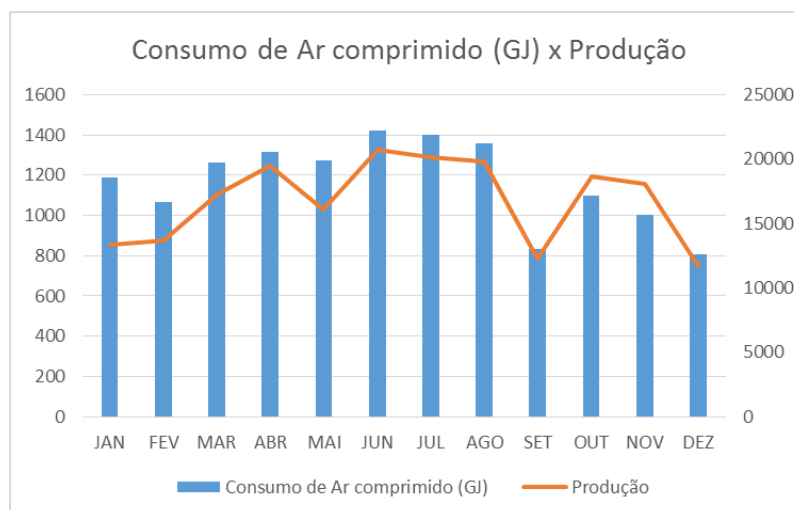


Figura 11- Consumo de ar comprimido da Pintura em relação à produção.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos mostram as variações que os consumos dos vetores energéticos apresentam, ou seja, pode-se perceber que há oportunidade de melhoria no controle destes insumos, de forma que a demanda se adeque melhor à produção.

Após análises dos dados de consumo e das instalações da fábrica, foram identificadas oportunidades de melhoria do desempenho energético, uma vez que o consumo representa um grande impacto financeiro para a empresa. Por este motivo, qualquer melhoria para reduzir este impacto é fundamental para redução de custos. Assim, tendo em vista que o *Energy Center* é uma das áreas de maior representatividade nos custos relacionados à energia na planta analisada, representando cerca de 20% do total, o capítulo seguinte se responsabilizará por demonstrar algumas melhorias implementadas.

4 MODIFICAÇÃO DE LÓGICA DE FUNCIONAMENTO DA AUTOMAÇÃO DA CLIMATIZAÇÃO PARA OTIMIZAÇÃO DE ENERGIA

Por meio das constatações feitas na execução do diagnóstico energético, foram analisadas outras formas de operar energeticamente a planta. Primeiramente, o estudo foi realizado com o objetivo de reduzir a perda financeira de energia, que é a segunda maior do polo automotivo. Conforme observado na Figura 12.

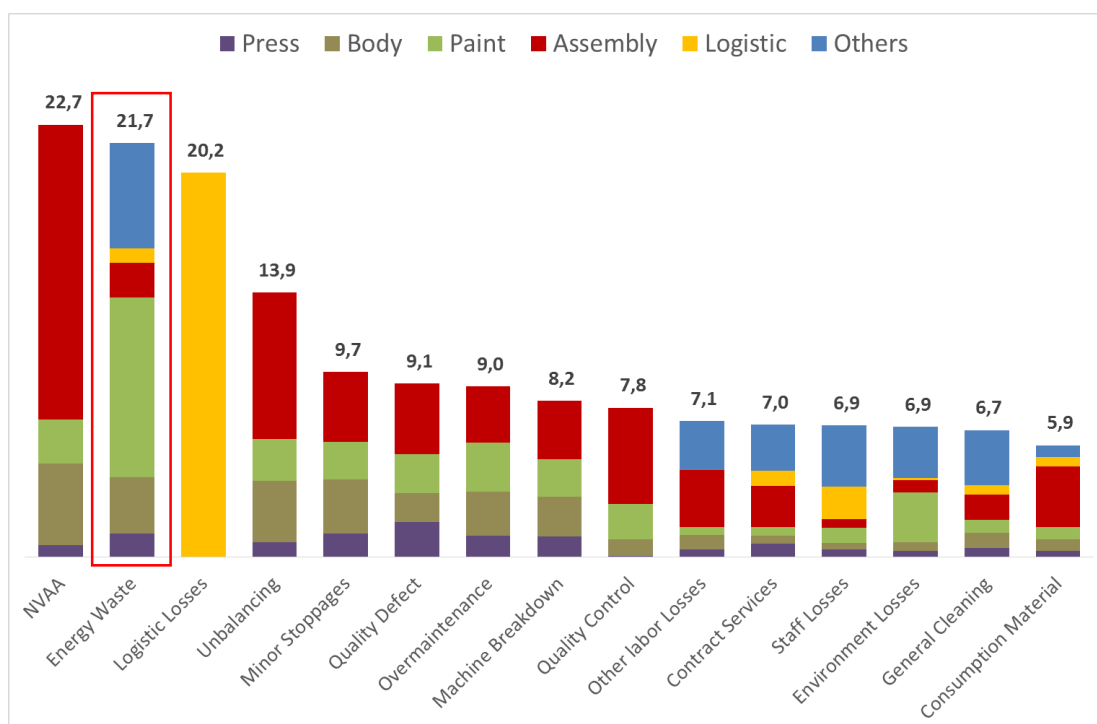


Figura 12 – Principais perdas financeiras do Polo automotivo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi constatado então, por meio análises, que na climatização existia perdas de energia, que são classificadas em 6 diferentes tipos. Primeiramente, temos a perda tipo 1 que é relativa ao consumo desnecessário. Já a perda tipo 2, refere-se ao consumo excessivo, enquanto a perda tipo 3 relaciona-se com a não otimização. As perdas tipo 4 e 5, dizem respeito respectivamente, a perda por não utilização de energia residual e a transmissão. Por fim, a tipo 6 é a perda de transformação. A perda de energia identificada na climatização é categorizada como uma perda tipo 2, ou seja, consumo excessivo, que é a maior perda da planta conforme observado na Figura 13.

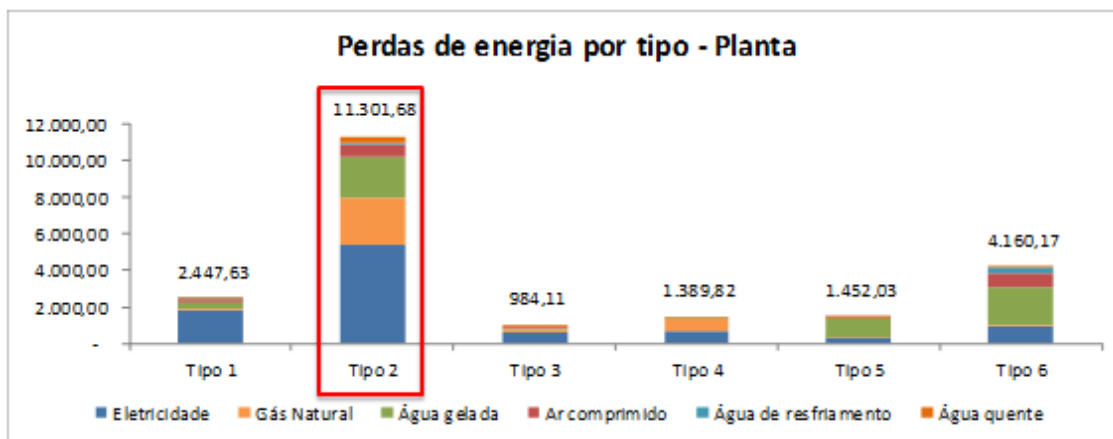


Figura 13- Perdas de energia por tipo na Polo automotivo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na segunda etapa do projeto, foi entendido o problema de forma detalhada a partir de ferramentas de gestão, como por exemplo: 5G e 5W1H. Os 5G é um método para compreender e agir de acordo com um determinado objetivo ou uma necessidade, e assim, encontrar as principais causas desses problemas, garantindo sua resolução de forma precisa e eficaz. O nome 5G é derivado de cinco palavras japonesas, cada uma representando um ponto do método: Gensoku é a utilização de procedimentos e normas para a melhoria de processos; Gemba se refere ao local em que a situação ocorre, exigindo que todos os envolvidos, estejam próximos para que possam compreender os detalhes da situação enfrentada; Genbutsu é princípio que está ligado a condição real do objetivo; Genjitsu se refere a realidade atual do processo, que deve ser analisada de forma completa.

O 5W1H permite considerar todos os fatores da situação estudada de forma cuidadosa e objetiva, levando em consideração os seguintes itens: Primeiramente, “What” que significa o que está acontecendo; o segundo W é o “When” relativo ao momento em que acontece o problema; o terceiro W (“Where”) refere-se onde ocorre a questão analisada; o quarto W (“Why”) representa o porquê há esse ponto; o “Who” demonstra quem está envolvido na situação; o último W é o “Which” que expõe qual a condição estudada; por fim, o “How” apresenta como ocorre o fato.

A partir da metodologia do 5G, realizou-se inicialmente o Gemba, em que foi verificado que a automação da climatização estava funcionando de forma inadequada insuflando um ar com temperatura abaixo do ideal criando problemas de segurança devido à condensação do ar em contato com a superfície abaixo do ponto de orvalho do ambiente. Conforme pode ser observado na Figura 14.



Figura 14- Sistema de climatização.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).

Em seguida, a partir do Gembutsu, foi constatado que a automação da AHU (Unidade de Tratamento de Ar) tinha uma lógica que, para evitar a condensação, caso o ar insuflado estivesse abaixo de 13 graus Celsius, o Controlador Lógico Programável (CLP) dava um comando para fechamento completo da válvula de controle proporcional (Figura 15 e Figura 16). Esta situação além de ineficiente para o controle da temperatura danificou várias válvulas devido uma grande ciclagem de abertura e fechamentos.

Depois de desenvolver a programação do Controlador Lógico Programável (CLP), é utilizada a interface homem-máquina (IHM) para realizar a supervisão dos dados. A IHM diz respeito a uma aplicação em uma tela, responsável por tornar mais visível e facilitar a troca de dados entre pessoas e máquinas. Em outras palavras, pode-se considerar a IHM como um monitor que permite o gerenciamento e a análise das informações, com a finalidade de identificar pontos de melhoria.



Figura 15- Interface Homem- Máquina.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).



Figura 16- Válvula de controle proporcional.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).

Dando continuidade, no Genijitsu, foi feito um levantamento das pendências no início deste projeto que mostravam que componentes essenciais para a automação da climatização ainda estavam em falta, conforme observado na Figura 17.

Sistemas de Ar Condicionado (AHU) Montagem											
Instrumentos de controle e Medição	AHU 001	AHU 002	AHU 003	AHU 004	AHU 005	AHU 006	AHU 007	AHU 008	AHU 009	AHU 010	COD. SAP
Sensor De Temperatura (SIEM. QAM2451040) Inter.	OK	OK	OK	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	OK	C3000019181613
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	XXX	NOK	OK	XXX	NOK	XXX	OK	OK	XXX	OK	C3009920463672
Demper 002 (SIEM. G CA166.1E)	XXX	NOK	OK	XXX	NOK	XXX	OK	OK	XXX	OK	C3009920463672
Válvula de Água Gelada (BEL P6150W4500E-IMP)	OK	OK	NOK	XXX	NOK	OK	NOK	XXX	OK	OK	C3009920463673
Sistemas de Ar Condicionado (AHU) Funilaria											
Instrumentos de controle e Medição	AHU 001	AHU 002	AHU 003	AHU 004	AHU 005	AHU 006	AHU 007	AHU 008	AHU 009		COD. SAP
Sensor De Temperatura (SIEM. QAM2451040) Inter.	OK	NOK	OK	OK	NOK	OK	OK	OK	OK		C3000019181613
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		C3009920463672
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		C3009920463672
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		C3009920463672
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		C3009920463672
Válvula de Água Gelada (BEL P6150W4500E-IMP)	OK	NOK	OK	OK	OK	OK	OK	XXX	OK		C3009920463673
Sistemas de Ar Condicionado (AHU) Pressas											
Instrumentos de controle e Medição	AHU 001	AHU 002	AHU 003	AHU 004							COD. SAP
Sensor De Temperatura (SIEM. QAM2451040) Inter.	OK	NOK	NOK	OK							C3000019181613
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	OK	OK	OK	OK							C3009920463672
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	OK	OK	OK	OK							C3009920463672
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	OK	OK	OK	OK							C3009920463672
Demper 001 (SIEM. G CA166.1E)	OK	OK	OK	OK							C3009920463672
Válvula de Água Gelada (BEL P6150W4500E-IMP)	OK	OK	OK	OK							

Legenda	Status
Instrumento Com Medição correta	OK
Instrumento Com Defeito	NOK
Não Possui Instrumento	XXX
Teste não Efetuado por Falta de acesso à IHM	###

Figura 17- Pendências no Sistema de Ar condicionado.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).

No quarto G, intitulado de Genri, constata-se que, apesar do sensor de temperatura ambiente também ter medição de umidade, este valor não era considerado na lógica. A partir disso, percebe-se que o ponto de orvalho pode ser calculado em função dessas duas grandezas (temperatura ambiente e umidade), definindo-o como a temperatura até a qual o ar (ou gás) deve ser resfriado para que a condensação de água se inicie. Desta forma, poderia-se calcular exatamente qual a mínima temperatura de insuflamento do ar sem que houvesse condensação do ar ambiente nos difusores, aumentando a eficiência da climatização.

Por fim, a metodologia 5G traz a etapa de Gensoku, em que verifica-se que o resfriamento do ar na AHU ocorre por expansão indireta, conforme demonstrado no esquema da Figura 18, logo, para resfriar o ar é utilizada a água gelada fornecida pelo chiller (Figura 18) que consome cerca de 1398 kW elétrico para retirar 7350 kW térmico.



Figura 18- Chillers localizados no Energy Center.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).

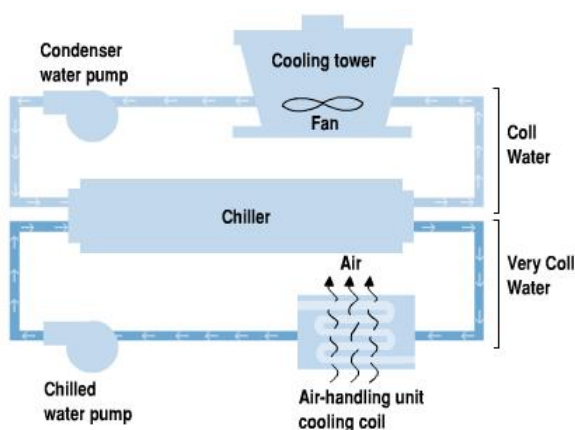


Figura 19- Esquema típico de um sistema de expansão indireta.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).

Vale salientar, que a lógica utilizada na climatização previa controles desnecessários para clima local e que não foi totalmente definido pela engenharia. O controle de umidade também não foi adaptado ao clima local o que acabou causando um funcionamento inadequado do sistema de refrigeração.

Dando prosseguimento, como anteriormente explanado, iniciou-se o processo de utilização da metodologia do 5W1H, conforme mostrado na Tabela 10.

5W1H	
WHAT? (QUE)	Perda de energia
WHEN? (QUANDO)	Contínua e principalmente em horários não produtivos
WHERE? (ONDE)	Nos prédios produtivos que são climatizados por expansão indireta
WHO? (QUEM)	Manutentores do Energy Center
WHICH? (QUAL CONDIÇÃO)	Devido à problemas na lógica da automação da climatização e esquecimento dos manutentores no desligamento dos equipamentos
HOW? (COMO)	Através da modulação errada da válvula de duas vias e controles de desligamento das máquinas em horários não produtivos

Tabela 10- Ferramenta 5W1H.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio disso, conclui-se que o fenômeno analisado refere-se à perda de energia contínua, principalmente em horários não produtivos nos prédios climatizados por expansão indireta devido à problemas na lógica da automação da climatização por funcionamento inadequado das válvulas duas vias, como também devido ao esquecimento dos manutentores no desligamento dos equipamentos.

Contudo, antes de iniciar a análise da causa do fenômeno em questão, cumpre entender tanto a localização espacial do Energy Center, como a localização de cada elemento dentro do fluxo. O Energy Center está localizado ao lado da Funilaria (Body Shop) de acordo com o esquema representado na Figura 20. No interior do Energy Center são encontrados os chillers conforme supracitado na Figura 18, em que a água gelada proveniente desses equipamentos é encaminhada para as AHUs onde ocorre a troca de calor com o ar, responsável pela climatização dos galpões.



Figura 20- Localização do Energy Center no Polo automotivo.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).

Assim, entendido o fluxo do processo de climatização dos galpões, passa-se a compreensão da localização de cada elemento. Primeiramente, na Figura 21 abaixo, nota-se uma AHU em cima de um dos galpões da planta automotiva, e em seguida, observa-se o arranjo físico das AHUs nos galpões da Montagem (1), da Funilaria (2) e nas Prensas (3), locais onde houveram as intervenções do projeto, representada na Figura 22.



Figura 21- Unidade de Tratamento de Ar (AHU).

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).



Figura 22- Arranjo físico das AHUs nos galpões.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).

No que concerne a análise da causa do problema, realizada a partir da identificação do fenômeno, à priori, houve a percepção de que as máquinas permanecem ligadas em horários não produtivos, uma vez que estas dependem dos manutentores lembrarem de realizar o desligamento, como também devido a falta de automação com programação horária dos equipamentos. Outra causa identificada foi a não utilização dos inversores de frequência para modular os ventiladores das AHUs, tendo em vista que a lógica de funcionamento original não contempla este parâmetro. Outras questões importantes são: a modulação inadequada da válvula de duas vias para o controle da quantidade de água gelada e a lógica inadequada de controle para evitar condensação.

Definidas as principais causas da situação, foram realizadas medidas com a finalidade de suprimir os problemas identificados. No que diz respeito ao não desligamento das máquinas em horários não produtivos, houve a implementação de função de programação horária para desligamento automático. Relativo a ausência de lógica de funcionamento de frequência dos ventiladores, foi desenvolvida uma lógica de controle dos ventiladores afim de evitar o consumo desnecessário de energia. Por fim, quanto ao objetivo de evitar a condensação na climatização, foi feita uma mudança da lógica de controle da umidade nas AHUs.

Em síntese, o projeto já possuía automação do sistema de climatização feita pelos fabricantes dos equipamentos, assim como um Sistema de Supervisão localizado no centro de controle (Energy Center), responsável por monitorar e controlar esses equipamentos e as demais áreas da fábrica. Entretanto, houve a necessidade de implementar novas funcionalidades e melhorias nos softwares dos PLC's e no Sistema de Supervisão e Controle, para garantir uma melhor operacionalidade, economia de energia e redução com tempo de

manutenção, garantindo ainda a melhoria no controle da climatização como um todo. Também foi preciso realizar o desbloqueio do software do PLC de todas as AHU's, bloqueados pelo fabricante, que impedem uma nova compilação geral e atualização de firmware.

Assim, foi aproveitado o escopo para modernização das telas do supervisório com a finalidade de garantir uma interface mais amigável e com todas as informações à vista. Foram criadas novas telas para controle da temperatura com referência das colunas para localização espacial nas oficinas. Além disso, foram inseridos parâmetros para cálculo da temperatura mínima de insuflamento com base na umidade relativa, e também um quadro de controle da programação horária para desligamento dos equipamentos, conforme observado na Figura 23.

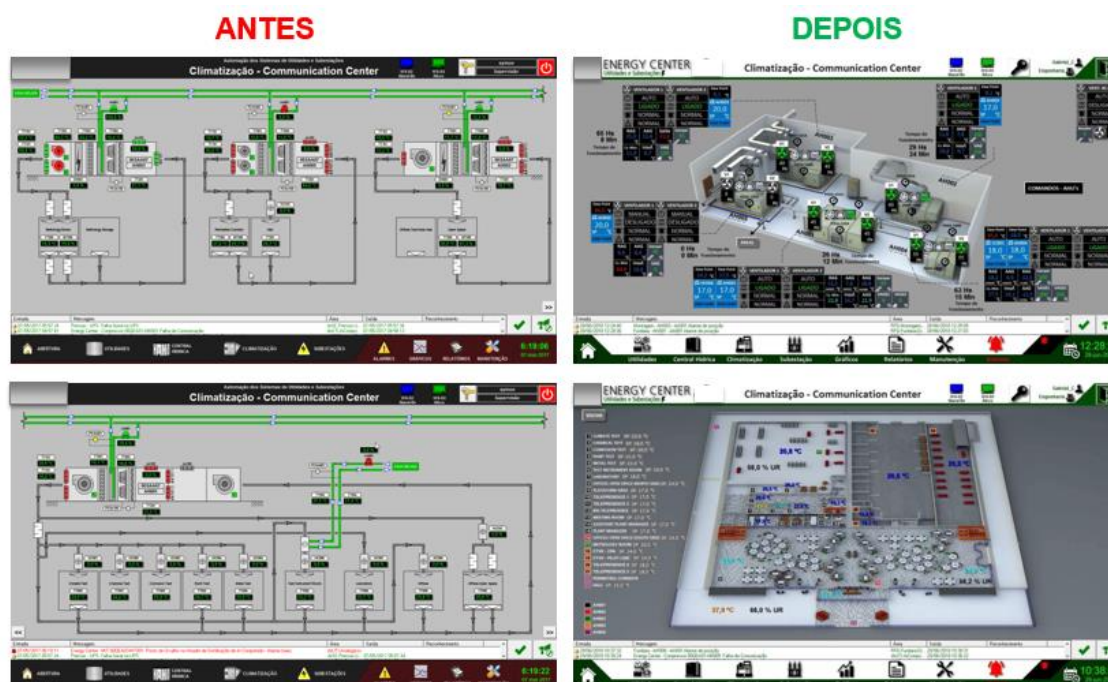


Figura 23- Antes e Depois do Sistema de Supervisão do Energy Center.

Fonte: Equipe de utilidades da empresa (2018).

Destarte, todas as intervenções necessárias foram realizadas em Julho de 2018 e para avaliação dos resultados da implementação das contramedidas citadas anteriormente, foram observados os valores de consumo de água gelada (MWh) em cada prédio (Prensas, Funilaria e Montagem) em 2018 e 2019 para comparação da redução do antes e depois das intervenções. Devido à variação de carga térmica ao longo do ano, foram comparados os

dados do 1º semestre de 2018 (ANTES) com os do 1º semestre de 2019 (DEPOIS) para avaliar o resultado e inibir a contribuição do clima na análise dos dados.

2018	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	TOTAL
Prensas	328,0	251,4	362,3	341,6	293,6	171,0	1747,8
Funilaria	712,0	727,0	896,5	699,7	543,1	423,0	4001,2
Montagem	338,2	271,1	419,1	420,3	284,1	178,3	1911,1
2019	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	TOTAL
Prensas	211,2	273,8	223,5	229,1	178,3	143,2	1259,1
Funilaria	428,0	653,4	490,3	471,9	281,4	239,5	2564,5
Montagem	202,7	311,9	241,1	250,1	151,3	106,5	1263,6

Tabela 11- Consumo de água gelada em MWh no 1º semestre de 2018 e de 2019.

Fonte: Elaborado pelo autor.

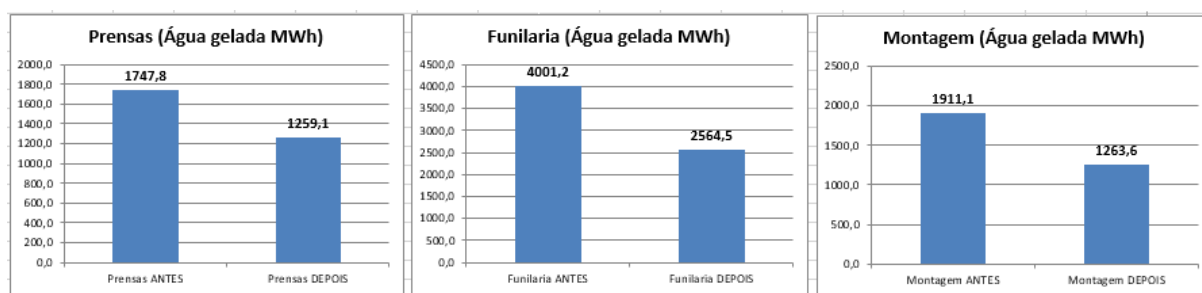


Figura 24- Consumo de água gelada antes e depois do projeto.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do exposto, percebe-se que nas Prensas houve uma redução de 488,7 MWh de consumo de energia comparando os primeiros semestres de cada ano. A Funilaria, por sua vez, obteve o resultado mais expressivo, diminuindo 1436,7 MWh no mesmo período. Já na Montagem houve a redução de 647,5 MWh, conforme demonstrado na Figura 24. Vale salientar que esses valores já contemplam os dias e horas não produtivas. Em conclusão, o projeto gerou uma redução considerável no consumo de água gelada referente a climatização dos galpões das Prensas, Funilaria e Montagem, o que resultou na otimização do uso de energia e na redução de milhares de reais de custo por ano.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao paradigma da sustentabilidade que está sendo vivenciado pelo mundo atualmente, as empresas têm sido obrigadas a repensar suas práticas, criando políticas para diminuir a demanda de energia. O governo e a sociedade têm se mostrado mais rígidas quanto às práticas insustentáveis, exigindo assim uma mudança de postura das empresas. Diante disso, devemos nos atentar que as indústrias são os maiores usuários de energia e ao mesmo tempo possuem enorme potencial de atuação, desde a implementação de um programa de gestão de energia até a escolha de equipamentos mais eficientes.

Além dessa questão, a globalização vem intensificando ainda mais a concorrência entre as empresas, criando uma busca desenfreada pela redução de custos com a finalidade de tornar os produtos cada vez mais competitivos. Na indústria automotiva, os consumidores buscam cada vez mais a redução de custos dos produtos alinhada à alta tecnologia, o que acabam se tornando pontos contrapostos, tendo em vista que o investimento em tecnologia custa montantes financeiros elevados, tornando mais difícil o barateamento do produto.

Por conta dessa necessidade, ao longo dos anos, a redução do consumo energético torna-se uma alternativa que reduz os custos de fabricação do produto, sem interferir necessariamente na sua qualidade. Assim, a gestão de energia tem se tornado uma área de grande relevância dentro das fábricas automotivas. Entretanto, uma vez que cada empresa possui sua particularidade cabe a organização escolher o modelo de gestão mais adequado às características organizacionais que se enquadram na situação.

O caso da indústria automotiva analisada assemelha-se ao de várias outras indústrias localizadas em território nacional, que apesar de ser uma fábrica moderna, possui um grande potencial de otimização em seus processos, podendo diminuir sua demanda de energia com projetos de baixo custo, conforme observado no decorrer do presente trabalho.

Através da realização do diagnóstico energético, e por meio da integração da dimensão econômica, foi possível realizar uma análise simultânea de importantes questões de consumo dos vetores energéticos e também um projeto de melhoria executado, pois sabe-se que um sistema de gestão de energia é uma soma que engloba diversos aspectos, e que apenas quando analisados em conjunto são capazes de aferir com mais exatidão a identificação de perdas e priorização de ações para otimizar o processo.

Dessa forma, podemos sintetizar o consumo energético da empresa no seguinte quadro:

Antes		Depois das melhorias	
Setor	Consumo de água gelada (MWh)	Setor	Consumo de água gelada (MWh)
Prensas	1747,8	Prensas	1259,1
Funilaria	4001,2	Funilaria	2564,5
Montagem	1911,1	Montagem	1263,6

Tabela 12- Resumo do consumo energético.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a tabela, nota-se que nas Prensas a diferença percentual do consumo de energia antes e depois foi de 27,96%, na Funilaria tem-se um resultado ainda maior, de 35,91% e na Montagem houve a redução em cerca de 33,8%.

Outro fator que merece relevo no presente trabalho, são as escolhas dos indicadores de energia, que levam os responsáveis pela administração a perceber onde estão os gargalos e onde podem ser aprimorados os processos e políticas da empresa.

As discussões relacionadas à eficiência energética, apesar de atualmente estarem incluídas em vários locais, ainda não representam ações que são desenvolvidas cotidianamente em um grande número de organizações. No cenário de empresas brasileiras, e mais especificamente na empresa automobilística estudada, foi concluído que os aspectos associados a gestão de energia são bem desenvolvidos haja vista o número regular de iniciativas e práticas associadas, mas que sempre podem ser encontradas mais oportunidades de melhoria.

Destarte, a partir da análise energética realizada, é possível desenvolver diversos outros estudos, como por exemplo investigar outros fatores que influenciem no consumo de energia da fábrica, realizar uma análise mais detalhada do consumo de gás natural da Pintura, a fim de encontrar possibilidades de economia, além de projetos para adequação das demandas dos vetores secundários (água gelada, água de resfriamento e ar comprimido). Em suma, a partir do diagnóstico energético realizado, podem-se desdobrar mais uma série de projetos de redução do consumo, servindo de referência não só para a fábrica estudada, como também para outras empresas.

REFERÊNCIAS

CASTRO, A.T. Gestão energética nos setores transversais para redução do consumo de energia em uma empresa automobilística. 2015. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional. Brasília: CNI, 2009.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Indústria automobilística e sustentabilidade. Brasília: CNI, 2012.

_____. Lei nº 9.491, de 9 de Setembro de 1997. Brasília, DF: Presidência da República, [1997]. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9491.htm>. Acesso em: 11 de julho de 2019.

ELETOBRAS. Metodologia de realização de diagnóstico energético: Guia básico. Brasília: IEL/NC, 2009. 108 p.

Mercado Livre de energia elétrica. Disponível em:
< <https://www.mercadolivredeenergia.com.br/> >. Acesso em 15 ago. 2019.

FCA Latam. Polo Automotivo Jeep - Como Nasce um Jeep. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=h-BbklAfGZc&list=PLF44bWRWnUkrLO1pZRYCoDISDsikgIR7q&index=4>>. Acesso em 07 jul. 2019.

Banco de Informações de Geração - Capacidade de geração do Brasil. Disponível em:
< <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >. Acesso em 30 jun. 2019.

FERNANDES, J. Diagnóstico energético da indústria de placas de borracha e otimização do sector de pintura. 2010. 170f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2010.

_____. Portaria n.º 314 de 07 de Agosto de 2019. Disponível em: <
<http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-314-de-7-de-agosto-de-2019-209842626> >. Acesso em: 01 set. 2019.

GODOI, J.M.A. Eficiência energética industrial: um modelo de governança de energia para a indústria sob requisitos de sustentabilidade. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Energy Management Programmes for Industry. 2012. 82 p. Disponível em:
<<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/policypathwaysindustry.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 50001: Energy Management Systems. 2011.

MATHIAS, F.R.C. Diagnóstico Energético e Gestão da Energia em uma Planta Petroquímica de Primeira Geração. 2014. 164 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%Aancia+Energ%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

OLIVEIRA, I.P. Eficiência energética em sistemas de energia elétrica: um estudo de caso em uma indústria de lubrificantes. 2015. 108 f. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade), Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2015.

SANTOS, M. B. G. D., GOMES L.G., BARBOSA E.A., CARVALHO F.O. Diagnósticos Energéticos em Indústrias - Estudo de Caso. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção, Porto Alegre, out. 2005.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - Categorias de Geração, de Distribuição e de Comercialização. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-participa/como_se_dividem?_adf.ctrl-state=1a3w37dtznz_1&_afLoop=532544393248536#!%40%40%3F_afLoop%3D532544393248536%26_adf.ctrl-state%3D1a3w37dtznz_5>. Acesso em: 15 jun. 2019.

WIEMES, L.; PAWLOWSKY, U. Otimização do consumo de energia elétrica e gás natural em indústria automobilística. 4th International workshop of advances in cleaner production, São Paulo, maio. 2013.

ITO, L. C. K. Um Estudo Sobre o Mercado Livre de Energia Elétrica no Brasil. 2016. 60f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

DURANTE, G. Estudo de Migração de Consumidor Especial para o Mercado Livre de Energia Elétrica. 2016. 56f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Eletrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

CEMIG – A história da eletricidade no Brasil. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/historia_da_eletricidade_no_brasil.aspx>. Acesso em 02 jun. 2019.