

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE E PROJEÇÃO DE DEMANDA DE CONSUMO DE GÁS NATURAL EM UMA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

por

Eduarda Schwalm Kaminski

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, agosto de 2024

Kaminski, Eduarda Schwalm
ANÁLISE E PROJEÇÃO DE DEMANDA DE CONSUMO DE GÁS
NATURAL EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA / Eduarda Schwalm
Kaminski. -- 2024.
24 f.
Orientador: Alexandre Vagtinski de Paula.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2024.

1. Projeção de demanda. 2. Análise estatística. I.
de Paula, Alexandre Vagtinski, orient. II. Título.

Eduarda Schwalm Kaminski

ANÁLISE E PROJEÇÃO DE DEMANDA DE CONSUMO DE GÁS NATURAL EM UMA
INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Ignacio Iturrioz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Vagtinski de Paula

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Alexandre Vagtinski de Paula (Presidente)

Prof. Dr. Fernando Marcelo Pereira

Prof^a. Dr^a. Leticia Jenisch Rodrigues

Eng^a. Paula Krein de Abreu

Porto Alegre, agosto de 2024

Schwalm Kaminski, Eduarda. **Análise e projeção de demanda de consumo de gás natural em uma indústria automotiva**. 2024. 24f. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar a demanda de gás natural para uma indústria automotiva localizada no sul do Brasil utilizando modelos estatísticos que envolvem a variação do consumo para diferentes tipos de regimes de produção. A análise é feita através da correlação dos dados por regressão simples e múltipla utilizando o *software* Minitab® e em seguida é aplicado o método de séries temporais clássicas, sendo obtidas equações que estimam o consumo de gás natural para cada um dos regimes. A comparação entre as ferramentas de previsão é feita através de medidas de incerteza e pelo coeficiente de determinação, as quais apontam para resultados satisfatórios para o modelo de projeção realizado através da utilização de regressão múltipla, entretanto, a aplicação da ferramenta de séries temporais não se mostra eficiente, visto que o intervalo de tempo do histórico de dados é muito pequeno, não sendo possível identificar padrões favoráveis. A partir do modelo obtido é possível projetar a demanda de gás para todo um ano, porém devido as incertezas das previsões climáticas, projeções à curto prazo são mais precisas. Além disso, também é possível a análise de eficiência diária de consumo, comparando o realizado com o estimado segundo o histórico.

PALAVRAS-CHAVE: Gás Natural, Eficiência Energética, Projeção de Demanda, Regressão Múltipla.

Schwalm Kaminski, Eduarda. **Analysis and projection of natural gas consumption demand in an automotive industry**. 2024. 24p. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the demand for natural gas in an automotive industry located in southern Brazil using statistical models that involve variations in consumption for different production regimes. The analysis is conducted through data correlation using simple and multiple regression in the Minitab® software, followed by the application of classical time series methods. Equations are derived to estimate the natural gas consumption for each production regime. The comparison between forecasting tools is done using uncertainty measures and the coefficient of determination, which indicate satisfactory results for the multiple regression projection model. However, the application of time series analysis proves to be inefficient due to the limited historical data timeframe, making it difficult to identify favorable patterns. With the obtained model, it is possible to project the gas demand for an entire year, although short-term projections are more accurate due to uncertainties in climate forecasts. Additionally, the study allows for the analysis of daily consumption efficiency by comparing actual consumption with estimated values based on historical data.

KEYWORDS: Natural Gas, Energy Efficiency, Demand Projection, Multiple Regression.

NOMENCLATURA

Símbolos

e_t	Erro	
Y_t	Valor original da série	
\hat{Y}	Valor estimado	
$e_{\%}$	Erro relativo	[%]
\bar{Y}_t	Média dos valores observados	
R^2	Coefficiente de determinação	

Abreviaturas e acrônimos

ARMA	Modelo auto-regressivo de média móvel
EAM	Erro absoluto médio
EPAM	Erro percentual absoluto médio
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GASBOL	Gasoduto Brasil-Bolívia
INMET	Instituto nacional de Meteorologia
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO ou APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	2
3. CASO DE ESTUDO	5
4. RESULTADOS	10
5. CONCLUSÃO.....	13
6. TRABALHOS FUTUROS	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Empresa de Pesquisa Energética - EPE, no Brasil, o setor industrial é responsável pela maior participação na demanda por energia do país, correspondendo a aproximadamente 33% do consumo total de energia, onde 11,3% do consumo industrial advém da utilização de gás natural (EPE, 2017). Os desafios técnicos e econômicos para atender esta crescente demanda, os custos elevados de outras alternativas de suprimento e a preocupação com impactos negativos no meio ambiente são justificativas para a adoção de medidas de eficiência energética.

Para que uma empresa seja economicamente lucrativa, é de extrema importância que seus custos sejam gerenciáveis e os menores possíveis. Em indústrias de grande porte, boa parte de seus custos se dão devido ao consumo de energia, sendo ela elétrica, térmica ou química. Sendo assim, utilizar racionalmente estas utilidades pode trazer um diferencial competitivo, onde o valor economizado em energia pode ser direcionado a melhorias de processos e novos produtos.

Como Marques et al. (2007) afirmaram, na indústria, há uma busca constante pela minimização de perdas, uma vez que maiores perdas resultam em maiores custos. Entretanto, para se ter conhecimento de tais perdas, é necessário ter uma visão geral dos processos, identificando e avaliando as variáveis que podem interferir no consumo energético, para então poder estimar o que seria o consumo ideal para os processos e observar se estão sendo realizados de forma eficiente ou se existem desperdícios.

Em um estudo realizado por Mosko et al. (2010), constatou-se que, através do conhecimento de métodos de eficiência energética, profissionais das indústrias tendem a realizar uma melhor gestão energética, utilizando de tais práticas como uma estratégia de negócios afim de reduzir custos.

Gontijo et al. (2017) realizaram um estudo comparando métodos de previsão de demanda para o consumo de energia elétrica industrial no Brasil, utilizando uma série histórica de demanda energética de aproximadamente 10 anos, analisando-as entre quatro métodos distintos, sendo eles o método de média móvel simples, média móvel ponderada, suavização exponencial e autorregressivo de média móvel (ARMA). A partir da comparação dos resultados de tais métodos, concluiu-se que o método ARMA foi o mais adequado, tendo em vista a análise do erro médio, onde este método apresentou o menor valor entre os resultados.

Menzel (2016) em seu estudo realizou uma abordagem com foco em curto prazo para previsão de consumo de energia elétrica através do método de dinâmica de sistemas, considerando em sua previsão, variáveis climáticas, econômicas e de decisão. A criação do modelo para tal resultado foi dividida em duas partes onde, primeiramente foi definido por uma projeção tradicional da demanda em função de variáveis climáticas e após isso, o modelo foi modificado para a releitura da projeção em função das demais variáveis citadas. Para avaliar a eficiência de tal metodologia, foram criados sete cenários com diferentes bandeiras tarifárias, níveis da economia e a adesão de micro e minigeração fotovoltaica, onde os resultados obtidos advindos destes cenários validaram o método como uma abordagem adequada ao tratar o problema através de uma avaliação multivariável de demanda de energia elétrica a curto prazo.

Dos Santos (2019) apresentou em seu trabalho um estudo que realiza a previsão de demanda de gás natural no mercado brasileiro utilizando métodos estatísticos, correlacionando os dados por regressão simples e múltipla e em seguida utilizando o método de séries temporais clássicas, onde as ferramentas de previsão foram comparadas levando em consideração sua exatidão e pelo coeficiente de determinação. Foram obtidos resultados de projeção para os próximos 10 anos para 4 diferentes segmentos, sendo eles residencial e comercial, automotivo, industrial e geração elétrica, onde constatou-se o setor industrial como o maior consumidor de gás natural.

De acordo com Moreira (1996), foi realizado um estudo sobre o consumo de derivados de petróleo com o objetivo de analisar sua relação com variáveis macroeconômicas e identificar os fatores que influenciam esse consumo. É comum em diversas áreas do conhecimento modelar relações entre variáveis, buscando estabelecer padrões de causalidade entre elas. Na área relacionada a este presente trabalho, a divulgação dos estudos de projeção do consumo de gás natural em âmbito nacional é limitada, visto que a maioria desses estudos não é amplamente divulgada, exceto por materiais oficiais elaborados por órgãos governamentais. Portanto, a principal entidade responsável por fornecer conhecimento nessa área na literatura brasileira é a EPE, a qual é responsável por gerar um documento informativo que apontar as perspectivas de expansão do setor energético em um horizonte de 10 anos, sendo este chamado de Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE).

A previsão de consumo de gás natural na indústria em estudo trará a possibilidade de programar os custos envolvidos para o fechamento do mês além da realização de alterações prévias de planejamento caso seja identificado que o possível resultado mensal será superior ao limite estipulado para o alcance da meta anual.

Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar o consumo de gás natural em uma indústria automotiva localizada na região sul do Brasil, identificar como este consumo se comporta em relação as questões climáticas e obter um modelo matemático capaz de prever essa demanda considerando as variáveis envolvidas. O método estabelecido consiste nas seguintes etapas:

- Aplicação de métodos de análise estatística utilizando o *software* Minitab®;
- Avaliação dos erros;
- Escolha do método;
- Construção de uma projeção de consumo de gás natural a curto prazo.

A fim de avaliar a real eficiência energética do processo produtivo em comparação com o estimado através do método escolhido, podendo identificar previamente possíveis desvios e anormalidades que interfiram neste consumo além de ter conhecimento da demanda necessária a curto prazo, realizando programações de consumo exigidas em contrato de forma mais assertiva.

2. FUNDAMENTAÇÃO

O presente estudo abordará a análise estatística de consumo de gás natural em uma indústria automotiva localizada no sul do Brasil, a fim de projetar o consumo desta utilidade a curto prazo, considerando variáveis independentes que possam influenciar neste resultado, como por exemplo, variáveis climáticas. Para tanto, serão explorados no decorrer deste trabalho temas relacionados a métodos estatísticos como regressão simples e múltipla, series temporais, erros e coeficiente de determinação R^2 , além de tópicos relacionados à eficiência energética e custos por ultrapassagem de demanda contratada.

2.1. VARIÁVEIS INDEPENDENTES

São fatores que, ao variar, impactam diretamente nas ditas variáveis dependentes. No caso do presente estudo, as variáveis independentes são capazes de impactar no consumo de gás natural, sendo a temperatura ambiente externa um exemplo delas (ALVES, 2018).

2.2. REGRESSÃO SIMPLES E MÚLTIPLA

O método de análise de regressão relaciona uma variável dependente e outras variáveis independentes, utilizando um modelo matemático, ou seja, uma equação que associa a variável dependente às independentes. Dizemos como regressão simples quando a relação é entre a variável dependente e uma variável independente, enquanto que para a regressão múltipla, são incorporadas várias variáveis independentes. Para determinar os parâmetros dos modelos, faz-se uso da minimização da soma dos quadrados dos resíduos, o que pode ser feito utilizando o método dos mínimos quadrados (SANTOS, 2019). O *software* Minitab® oferece a análise de regressão para visualizar e modelar a relação entre estas variáveis.

2.3. SÉRIES TEMPORAIS

Série temporal é um conjunto de informações observados ordenados de acordo com o tempo, muito utilizada para estudos de sequência de dados. Na análise de série temporal é possível identificar padrões de comportamento da variável de interesse e assim realizar previsões de comportamento. Este método pode ser composto por até quatro padrões distintos sendo eles a tendência, a sazonalidade, as variações cíclicas e as variações irregulares.

A tendência é marcada principalmente por fatores econômicos, políticos e sociais enquanto a sazonalidade representa um comportamento de variações com duração inferior a um ano, porém que se repete periodicamente ao longo dos anos. Um exemplo deste efeito é em função das estações do ano. As variações cíclicas são semelhantes a sazonalidade, porém tem uma duração superior a um ano, podendo ser, por exemplo, resultado de períodos de crescimento ou recessão econômica. Já a variação irregular se difere totalmente das anteriores, correspondendo a oscilações aleatórias, sendo comum considerar o resíduo como uma variável independente e distribuída de forma idêntica com média zero e variância constante para se obter um ajuste adequado (MORETTIN et al., 2004).

2.4. ERRO

Erro é a diferença entre o valor obtido em uma medição ou estimativa e o valor exato correspondente. Eles classificam-se em dois grupos: erros sistemáticos e erros aleatórios. Os erros sistemáticos não possuem um caráter aleatório, gerando desvios sempre no mesmo sentido e podem ser eliminados a partir de melhorias do modelo. Já os erros estatísticos produzem os desvios aleatórios que podem ser causados por diversas razões e são observados em uma série de medidas (BALDINO et al., 1999). Quando se é calculado um resultado por aproximação, se faz necessário saber como estimar e delimitar o erro cometido, tendo em vista que a exatidão da previsão é comumente definida em razão do erro entre o valor efetivo e o valor previsto (BIRAL, 2011). Podemos escrever o erro de medição através da Equação 1:

$$e_t = Y_t - \hat{Y} \quad (1)$$

em que e_t é o erro, Y_t é o valor original da série e \hat{Y} é o valor estimado. Quando temos um valor de Y_t superior, a previsão os desvios se mostram positivos, caso contrário, eles são considerados negativos. Sendo assim, o erro absoluto é o módulo de e_t . Pode-se medir o Erro Absoluto Médio (EAM) de uma série de estimativas em relação aos valores, onde n corresponde a quantidade de amostras, utilizando a Equação 2:

$$EAM = \frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (2)$$

Porém, esta medida dificulta a comparação com outras séries de dados visto que ela depende da escala de valores da série. Sendo assim, torna-se mais eficaz a utilização do erro relativo, que é o quociente entre o erro absoluto e a grandeza que está sendo afetada pelo erro, sendo expresso pela Equação 3:

$$e_{\%} = \frac{e_t}{Y_t} \times 100\% \quad (3)$$

em que $e_{\%}$ é o erro relativo, dado em escala percentual e a versão em módulo do erro relativo é o erro percentual absoluto. Pode-se obter ainda, o Erro Percentual Absoluto Médio de uma série, fazendo uso da Equação 4:

$$EPAM = \frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{Y_t} \times 100\% \right| \quad (4)$$

Estas medidas de incertezas podem ser utilizadas para comparação entre modelos, sendo o melhor aquele que apresentar valores mais próximos a zero.

2.5. COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO R^2

O Coeficiente de Determinação pode ser utilizado como teste para avaliação da existência de relação útil entre a variável de saída e uma ou mais variáveis de entrada. O R^2 varia entre 0 e 1, sendo que, quando mais próximo de 1, mais o modelo consegue explicar os valores observados, ou seja, melhor se ajustará à amostra (QUININO et al, 2019). Este indicador pode ser calculado da Equação 5:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{Y}_t - \bar{Y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y}_t)^2} \quad (5)$$

em que \bar{Y}_t é a média dos valores observados para a variável dependente.

2.6. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

É utilizar processos e equipamentos de forma eficientes, reduzindo desperdícios no consumo de energia elétrica, térmica ou luminosa, seja para produção de bens ou como na prestação de serviços, mantendo a qualidade necessária ao resultado final (ELETROBRÁS et al., 2009).

O uso otimizado de energia é extremamente necessário no cenário atual, tendo em vista a crescente demanda energética acompanhada da escassez de recursos, lembrando que, a maioria dos processos produtivos só são possíveis de serem realizados utilizando alguma forma de energia. Assim, pode-se dizer que, eficiência energética trata-se da relação entre a quantidade de energia utilizada para uma atividade e a de fato disponibilizada para sua realização (MARQUES, 2007).

2.7. CONSUMO DE GAS NATURAL NA INDUSTRIA

A construção do Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL) trouxe mais relevância para o mercado de gás no Brasil, destacando-se, além do consumo para geração de eletricidade em termelétricas, o consumo industrial sendo ela química, cerâmica, ferro-gusa e aço e papel e celulose. De forma geral, o gás natural é utilizado como insumo energético para indústria, principalmente para fornecimento de calor para equipamentos como caldeiras, fornos e secadores. O consumo industrial representa a maior parcela da demanda de consumo de gás natural, correspondendo a aproximadamente 50% do consumo total de gás no Brasil no período correspondente aos anos entre 2010 e 2020 (EPE, 2020).

3. CASO DE ESTUDO

O consumo de gás natural na indústria automotiva em estudo é analisado, atualmente, comparando o consumo diário com uma meta estabelecida no início do ano, a qual foi calculada levando em consideração a média aritmética de consumos referentes a cada mês do ano anterior. Entretanto, constatou-se que tal método não é eficaz para avaliar a eficiência energética do processo, visto que, ao longo de um mês, pode haver grandes variações climáticas, parâmetros os quais interferem fortemente no consumo desta utilidade, e a meta de comparação possui um valor fixo mensal.

3.1. MÉTODO DE PROJEÇÃO DE DEMANDA

A principal suposição que incentivou a análise realizada neste trabalho é de que há fatores que influenciam diretamente o consumo de gás natural na indústria automotiva em questão. Tendo em vista tais circunstâncias, o método para previsão de demanda pode ser baseado em modelos estatísticos que capturam estas tendências de variação.

O método fornecerá previsões de consumo de gás natural de acordo com as variáveis de entrada, sendo este o resultado de interesse deste estudo. A Figura 1 apresenta um fluxograma representando as etapas realizadas no método proposto, as quais serão descritas mais detalhadamente a seguir.



Figura 1 – Fluxograma de método proposto para projeção de demanda de consumo de gás natural em uma indústria automotiva.

Após a definição do objetivo, inicia-se o estudo no passo 1, realizando uma revisão bibliográfica de assuntos relacionados à área em questão, abrangendo temas como modelos estatísticos e os processos industriais que consomem gás natural. Com um conhecimento mais

amplo desses processos, pode-se definir quais as variáveis que poderiam afetar este processo e consequentemente influenciar no consumo de energia.

Tendo em vista que a maior parte do consumo de gás natural na indústria automotiva é advinda dos processos de pintura, onde os parâmetros de temperatura e umidade são cuidadosamente controlados pois podem interferir fortemente na qualidade do produto final, sendo que para realizar este controle, grande parte dos equipamentos utilizados fazem uso da utilidade em estudo. Para administrar a temperatura e umidade do ar das estufas, por exemplo, são utilizadas casas de ar, onde inicialmente o ar forçado passa por trocadores de calor tubulares Água/Ar, a fim de reduzir sua temperatura e condensar a umidade presente. Após isso, para atingir a temperatura ideal para o processo, o ar é aquecido por queimadores que utilizam como combustível gás natural. Sendo assim, fica clara a interferência direta destas variáveis com o consumo da utilidade em questão. Outro fator influente é o período em que estes processos operam diariamente, sendo que, na indústria em questão, pode-se definir em 3 regimes consumidores diferentes: o regime padrão, com 2 turnos de produção; o início semanal, que ocorre normalmente nas segundas-feiras, onde o processo precisa iniciar algumas horas antes devido a parada no final de semana; e 2 turnos com extensão em que, em casos específicos e programados, a fábrica aumenta seu período produtivo em 2 horas a mais por dia. Sendo assim foram escolhidas como variáveis de entrada a serem analisadas os dados de temperaturas mínimas e máximas diárias, umidade relativa do ar diária e regime de produção.

Definidas as variáveis, iniciou-se a terceira etapa com a coleta de dados brutos. Para obtenção dos valores relacionados a condições climáticas, utilizou-se como referência, dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o qual possui informações de estações meteorológicas de todos estados do Brasil. Dados relacionados ao consumo de gás natural da indústria em estudo foram coletados no site da empresa que fornece gás natural e é responsável por este controle. Ainda na terceira etapa, os dados referentes aos regimes de produção foram retirados diretamente do banco de dados da empresa em estudo.

Na quarta etapa, foi realizado o tratamento dos dados, correlacionando as informações de consumo de gás às condições climáticas e regimes de produção, foram descartados dados de consumo de dias em que houve paradas produtivas devido a problemas que afetassem este valor. Para os testes de correlação, os dados foram reunidos de acordo com o regime produtivo e analisados separadamente, afim de obter uma equação para cada um dos três regimes distintos.

As ferramentas para análise de dados são aplicadas no passo 5, sendo elas: regressão simples, regressão múltipla e análise de séries temporais. Primeiramente foi realizada a correlação dos dados por regressão simples e múltipla utilizando para isso, o software Minitab® e em seguida aplicou-se o método de séries temporais clássicas. Assim, foram obtidas curvas estimando o consumo histórico de gás natural para cada um dos regimes produtivos estudados.

Na sexta etapa, os Coeficientes de Determinação R^2 para cada uma dos métodos foram obtidos e analisados, a fim de identificar os níveis de correlação entre as variáveis de entrada e a variável de saída. Os modelos são então testados e os erros absolutos e relativos entre os resultados encontrados e o consumo de fato realizado são calculados e avaliados, sendo esta, a sétima etapa do método proposto. O modelo que tiver o menor erro relativo é então selecionado, para ser utilizado em futuras projeções de consumo de gás. Por fim, a análise de resultados é realizada, e obtém-se a projeção de consumo de gás natural para a indústria automotiva em estudo.

3.1.1. Aplicação das ferramentas de regressão simples e múltipla

As ferramentas de regressão simples e múltiplas são aplicadas separando os dados em três grupos de acordo com o regime de produção, testando os segmentos de consumo levando em

consideração as temperaturas mínima e máxima diária e a umidade relativa do ar. Na Tabela 1 estão os parâmetros utilizados nas regressões, assim como as siglas e unidades de cada um.

Tabela 1 – Parâmetros para utilização das ferramentas de regressão e suas respectivas siglas e unidades.

Parâmetro	Sigla	Unidade
Consumo de gás	CON	Metros cúbicos por dia
Umidade relativa	UMID	Porcentagem
Temperatura mínima diária	TMIN	Graus Celsius
Temperatura máxima diária	TMAX	Graus Celsius

Para obter quais parâmetros possuem um maior efeito explicativo sobre os dados de consumo de gás, realizou-se testes de correlações entre as variáveis de entrada escolhidas e a variável de saída, utilizando o coeficiente de determinação R^2 como referência para comparação. Nas Tabelas 2 a 4 estão os coeficientes de determinação R^2 (Equação 5) por tipo de regressão para cada conjunto de parâmetros correlacionados, obtidos através do *software* Minitab®, sendo que cada uma das tabelas está relacionada a um regime de produção.

Tabela 2 - Coeficientes de determinação por tipo de regressão por parâmetro individual ou correlacionados para regime de produção de 2 turnos.

Regressão	Parâmetros			R^2
Simple	UMID			0,0066
Simple	TMIN			0,7652
Simple	TMAX			0,5886
Múltipla	UMID	TMIN		0,7790
Múltipla	UMID	TMAX		0,7970
Múltipla	TMIN	TMAX		0,8192
Múltipla	TMIN	TMAX	UMID	0,8563

O melhor resultado obtido para o regime de produção de 2 turnos é com a regressão múltipla, utilizando como variáveis de entrada a temperatura mínima, temperatura máxima e umidade relativa do ar. Nota-se que somente a variável de umidade analisada individualmente apresenta uma correlação muito baixa com o consumo diário, entretanto em conjunto com as variáveis de temperatura mínima e máxima sua utilização traz uma melhor aproximação dos resultados obtidos. Pode-se observar também que, das três variáveis de entrada analisadas individualmente, a que tem uma maior interferência no consumo diário de gás natural é a de temperatura mínima. As temperaturas mínimas diárias são registradas normalmente no início do dia, o que acaba afetando o aquecimento do processo, fazendo com que a demanda de gás natural para atingir a temperatura ideal para o mesmo seja maior, explicando esta maior correlação obtida.

Tabela 3 - Coeficientes de determinação por tipo de regressão por parâmetro individual ou correlacionados para regime de produção de início semanal.

Regressão	Parâmetros			R²
Simple	UMID			0,0095
Simple	TMIN			0,8097
Simple	TMAX			0,5489
Múltipla	UMID	TMIN		0,8237
Múltipla	UMID	TMAX		0,7090
Múltipla	TMIN	TMAX		0,8389
Múltipla	TMIN	TMAX	UMID	0,8202

Diferente da análise para o regime de 2 turnos, a correlação entre as variáveis de temperatura mínima e temperatura máxima somente, mostrou o melhor resultado para descrever o consumo de gás em regimes de produção de início semanal, isso se explica devido ao fato de a água e o ar, que precisam ser aquecidos para os processos, estarem praticamente em temperatura ambiente, sendo assim o Delta T entre a temperatura inicial e a temperatura ideal para o processo é muito maior, sendo muito mais representativo que fatores relacionados a umidade e, assim como o regime de 2 turnos, a temperatura mínima é a que mais interfere neste consumo.

Tabela 4 - Coeficientes de determinação por tipo de regressão por parâmetro individual ou correlacionados para regime de produção de 2 turnos com extensão.

Regressão	Parâmetros			R²
Simple	UMID			0,0897
Simple	TMIN			0,7763
Simple	TMAX			0,5774
Múltipla	UMID	TMIN		-
Múltipla	UMID	TMAX		0,7541
Múltipla	TMIN	TMAX		0,8018
Múltipla	TMIN	TMAX	UMID	0,8275

Para o regime de produção de 2 turnos com extensão o melhor resultado obtido também foi utilizando a regressão múltipla correlacionando as variáveis de entrada de temperatura mínima, temperatura máxima e umidade relativa do ar. O *software* não encontrou nenhuma similaridade na regressão múltipla com variáveis de entrada de temperatura mínima e a umidade relativa para obtenção da variável de saída de consumo de gás natural.

Com a escolha das correlações que melhor explicam a relação entre as variáveis de entrada e a variável de saída para cada um dos regimes de produção, foi possível obter as equações que descrevem cada um desses processos, sendo estas dispostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Equações que relacionam as variáveis de entrada com o consumo de gás natural para cada regime de produção estudado.

Regime de produção	Equação
2 turnos	$CON = 74308 - 597,4TMIN - 655,2TMAX - 194,2UMID$ (6)
Início semanal	$CON = 58772 - 927TMIN - 299TMAX$ (7)
2 turnos com extensão	$CON = 73879 - 679TMIN - 538TMAX - 164,7UMID$ (8)

Assim, pode-se então realizar a estimativa dos valores de demanda de consumo de gás de acordo com o regime de produção diário.

3.1.2. Aplicação da análise de séries temporais clássicas

A análise de séries temporais tem por objetivo identificar padrões não aleatórios nos dados históricos de consumo de gás natural, sendo analisado separadamente para cada um dos regimes estudados. Na Equação 9 a série é decomposta em 3 componentes:

$$CON = TEND + SAZ + CI \quad (9)$$

em que *TEND* é a tendência da série, *SAZ* é a componente sazonal e *CI* representa as flutuações cíclicas e irregulares.

A tendência pode obtida através de ferramentas regressão linear, pois regressões diferentes desta não se adequam a extrapolação. Já sazonalidade, pode ser identificada através do método da razão para a média móvel, onde são realizadas as médias móveis de ordem igual ao período sazonal. Por fim, é realizada a subtração das médias móveis dos valores originais de consumo, a fim de se obter os índices sazonais.

O termo *CI* é encontrado através da aplicação de médias móveis centradas no resultado da subtração da tendência e sazonalidade da série e com a análise gráfica é possível observar se as variações *CI* influenciam ou não nos dados. Se for detectado esta influência, é realizada a mediana dos valores separando em zonas de alta e zonas de baixa.

Nas previsões não é possível incluir as variações irregulares, devido a elas serem resultado de fatos inesperados, ou seja, imprevisíveis.

Entretanto, os resultados encontrados para aplicação da ferramenta de análise de séries temporais clássicas não foram satisfatórios, fato este que se explica devido ao intervalo de tempo do histórico de dados ser muito pequeno, não sendo possível identificar padrões favoráveis. A sazonalidade esperada para este caso, seria para o período de 12 meses, tendo em visto o padrão de condições climáticas para cada mês do ano, porém o histórico disponível conta com apenas 15 meses no total. Além disso, o calendário produtivo não possui um padrão temporal para os regimes de produção, sendo assim, estes podem ter um intervalo aleatório entre eles, o que impossibilita a análise por séries temporais.

4. RESULTADOS

A avaliação de erros foi realizada para analisar a aplicabilidade do método de previsão de demanda de gás natural para cada regime produtivo, sendo assim, foram aplicadas as medidas de acuracidade e o coeficiente de determinação para mensurar a diferença entre as estimativas e os dados originais. Na Tabela 6 estão representadas as estatísticas de erros médios da série e os coeficientes de determinação de cada regime. Os erros EAM (Equação 2) estão em metros cúbicos por dia, e os erros EPAM (Equação 4) estão em porcentagem relativa aos dados originais, já os coeficientes R^2 (Equação 5) são adimensionais.

Tabela 6 - Erros dos modelos de previsão do consumo de gás natural *CON* para cada regime de produção estudado.

Regime de produção	Regressão Múltipla		
	EAM	EPAM	Desvio Padrão
2 turnos	1267	3,93%	2,24%
Início semanal	1894	5,43%	2,54%
2 turnos com extensão	1721	4,99%	2,43%

As Figuras 2, 3 e 4 demonstram, respectivamente, a distribuição normal dos erros encontrados para os métodos de análise escolhidos para os regimes de 2 turnos, início semanal e 2 turnos com extensão, onde o eixo das abcissas corresponde ao erro percentual e o eixo das ordenadas corresponde a densidade de probabilidade.

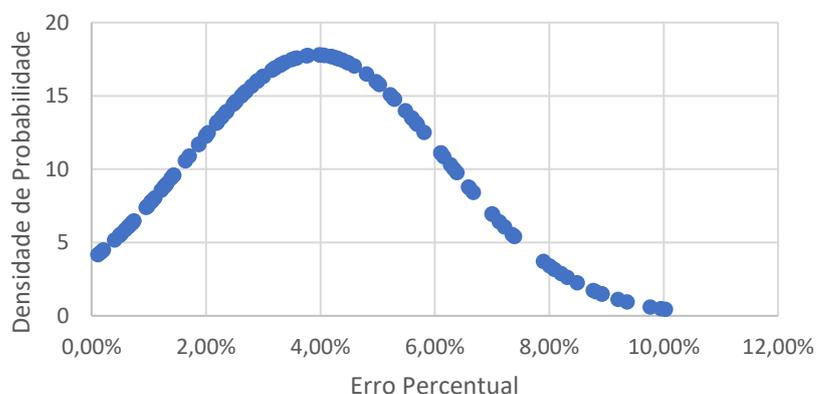


Figura 2 - Gráfico de dispersão de erros para 2 turnos

Observa-se que o erro percentual do projetado utilizando o método em comparação com o de fato realizado para o regime de 2 turnos concentra-se em sua maioria próximo ao erro percentual médio de 3,93%, porém alguns valores obtidos apresentaram erros maiores, aproximando-se dos 10%.

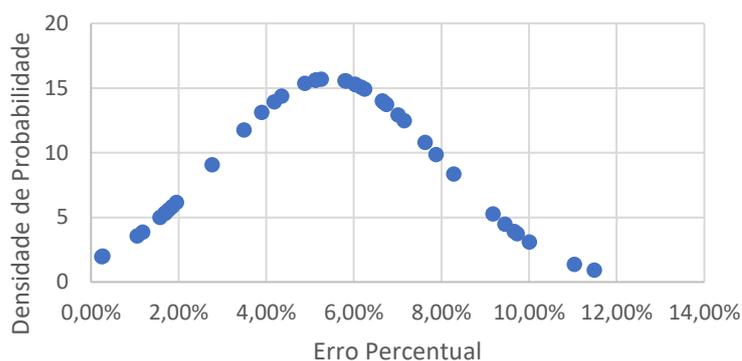


Figura 3 - Gráfico de dispersão de erros para início semanal

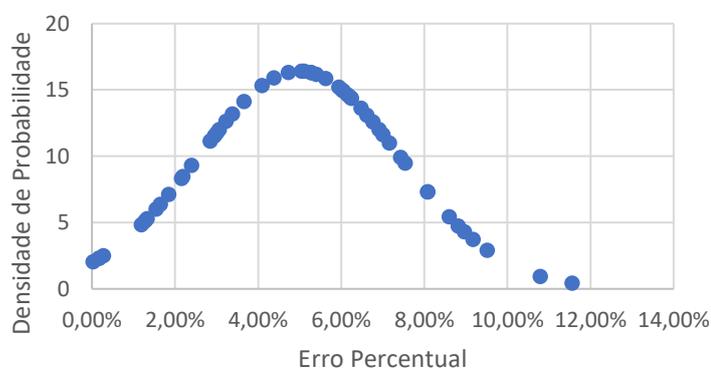


Figura 4 - Gráfico de dispersão de erros para 2 turnos com extensão

Assim como para o regime de 2 turnos, os de início semanal e 2 turnos com extensão também tem a maioria de seus resultados acumulados próximos ao erro percentual médio, porém os erros máximos obtidos se aproximam dos 12%.

Ao demais, o método de análise de regressão múltipla apresentou boas estimativas para todos os regimes de produção, tendo seu maior erro relativo no regime de início semanal, o que se explica devido ao fato de ser o regime com menor número de dados disponíveis em histórico. O modelo com menor erro relativo foi o para o regime de 2 turnos, visto que, ao contrário do regime de início semanal, este era o que possuía um maior histórico de dados entre os três, podendo assim, estabelecer melhores relações entre as variáveis.

4.1. PROJEÇÃO DE DEMANDA

Para projeção de demanda, faz-se necessário o conhecimento do calendário produtivo da empresa, assim como as condições climáticas diárias de temperaturas mínimas e máximas e umidade relativa para o período. Sendo assim, será possível projetar a demanda de gás para todo um ano, porém devido às incertezas das previsões climáticas, projeções à curto prazo serão mais precisas.

Através das Equações 6, 7 e 8 contidas na Tabela 5 do modelo de regressão múltipla, foi elaborada a previsão de consumo para mês de agosto de 2024, para isto, foram utilizadas

informações de previsão do tempo fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Na Figura 5 estão as estimativas de consumo de gás natural para o mês de agosto.



Figura 5 – Gráfico de projeção de demanda de gás natural para o mês de agosto para uma indústria automotiva.

A abscissa do gráfico corresponde aos dias do mês e a ordenada do gráfico corresponde à quantidade consumida em m³ diária em escala. Porém os valores obtidos foram omitidos devido a necessidade de sigilo industrial. A área em verde representa o consumo de gás diário previsto. Também está mostrado, através da linha azul no gráfico, a meta inicialmente estipulada pela empresa. Nota-se que o início do mês tende a um consumo bem discrepante ao esperado inicialmente, porém ao final do mês à uma previsão de consumo mais aproximado da meta inicial, devido principalmente a estabilização da temperatura diária. Ao montante, o modelo prevê um acréscimo de 7% ao estimado inicialmente pela empresa.

Na Figura 6 pode-se ver o comparativo entre o real consumido e a projeção utilizando o método apresentado neste estudo.

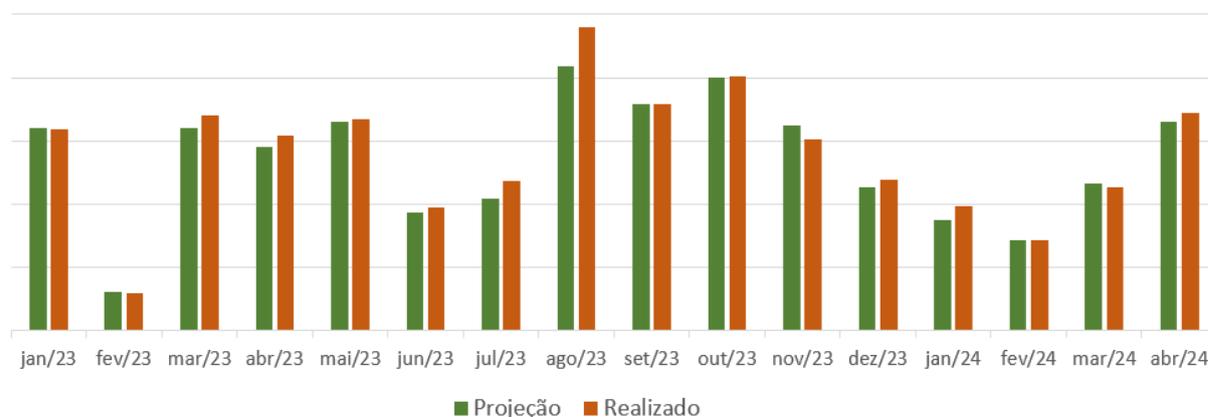


Figura 6 - Gráfico comparativo Projeção x Consumido para o acumulado mensal.

Os montantes acima apresentam os valores acumulados por mês, tanto para projeção quanto para o realizado efetivamente, para o intervalo de tempo correspondente ao utilizado para o presente estudo. Pode-se notar que os valores projetados apresentam muita similaridade com o realizado, demonstrando que o método foi eficiente ao estimar o consumo de gás natural para indústria em questão.

4.2. ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A utilização do método para obtenção de uma meta dinâmica de consumo que considerasse as variações climáticas e de regime de produção afim de realizar uma análise mais assertiva da real eficiência energética do processo era um dos objetivos deste estudo.

Na Figura 7 está representado o gráfico que demonstra o consumo diário em um intervalo de tempo de um mês, assim como a meta inicialmente estipulada e a projeção calculada usando o método de estudo.



Figura 7 - Gráfico comparativo Projeção x Consumido diário.

As linhas azuis representam novamente a meta inicial, a linha verde a projeção utilizando o método apresentado e as barras cinzas o consumo diário de gás natural. Devido a meta inicial ser estática, não é possível identificar se a causa da discrepância de resultados de consumo se faz devido as condições climáticas ou se realmente é devido a eficiência ou não do processo. Utilizando o modelo de projeção percebe-se que a nova meta diária varia conforme a condição climática, acompanhando o gráfico de consumo. Devido ao erro médio dos métodos variarem em torno dos 5%, considera-se que os consumos que estejam a uma margem de $\pm 5\%$ de diferença do projetado são aceitáveis, porém, resultados com uma maior variação podem ser considerados atípicos, sejam eles acima ou abaixo do esperado, podendo ser devido a falhas ou mostrando uma melhor eficiência no processo.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou uma projeção de consumo de gás natural para uma indústria automotiva localizada no sul do Brasil, assim como a utilização do método para análise de eficiência do processo. O método de previsão foi analisado através de medidas de erros e pelo coeficiente de determinação. Em todos os segmentos a ferramenta de regressão simples obteve os piores resultados. Devido a quantidade limitada de dados, não foi possível encontrar resultados satisfatórios para análise através de séries temporais. Sendo assim, os melhores resultados para os três regimes de produção, foi o de análise de regressão múltipla.

A projeção de consumo deste estudo tem como variáveis as temperaturas mínimas e máximas e a umidade relativa diária e, em razão das incertezas condicionadas às previsões climáticas, a projeção de consumo diária é mais assertiva a curto prazo, porém ainda sendo possível a utilização destes métodos para projeções de acumulados mensais para períodos mais longos ainda com precisão. Sendo assim, foi realizada a projeção para o mês de agosto e comparada com a meta inicialmente estipulada, obtendo um resultado de demanda de consumo 7% superior a inicial.

Através das equações obtidas utilizando o método apresentado, as quais levam em consideração as variações causadas devido as condições climáticas, será possível analisar a eficiência diária do consumo de gás, identificar falhas que interfiram no consumo de gás natural e verificar a interferência ou não de mudanças de processo no consumo.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em trabalhos futuros, pode ser realizada a mesma análise para os consumos das demais utilidades, como energia elétrica e água potável, assim como uma avaliação econômica que leve em consideração as taxas de demanda de consumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, G. R. **Eficiência Energética em um Sistema de Ar Comprimido**. 2018. 27 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

BALDINO, R.R. e CABRAL. T.C.B.; **Erro do significado ou significado do Erro**. Boletim Gepem, Rio de Janeiro: Instituto de Educação da UFRuralRJ. 1999.

BIRAL, G. Z. **Forecasting: avaliação de desempenho de modelos de séries temporais para previsões de preços do barril de petróleo da corrente OPEC Basket**. Fundação Instituto Capixaba de Pesquisas em Contabilidade, Economia e Finanças (FUCAPE), 2011.

DOS SANTOS, B. M. **Projeção de Demanda de Gás Natural no Mercado Brasileiro Utilizando Método Estatístico**. 2019. 22 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ELETROBRAS et al. **Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético: guia básico**. Brasília: IEL/NC, 2009.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional**. 2017. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf

EPE – Empresa de Pesquisa Energética; **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020**. Brasília, 2020a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>

GONTIJO, T. S., RODRIGUES, F. D. M., RODRIGUES, A. DE C., DA SILVA, S. A., & DE AZEVEDO, A. A. **Consumo industrial de energia elétrica: um estudo comparativo entre métodos preditivos**. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 3(3), 31–45, 2017.

LUTCKMEIER, T. **Eficiência energética na indústria coureiro-calçadista: estudo de caso de um curtume**, 2021. 98 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

MARQUES, M. C. S. et al. **Eficiência Energética: Teoria e Prática**. 1. ed. Eletrobrás / PROCEL Educação / Universidade Federal de Itajubá / Fupai, Itajubá, 2007.

MENZEL, J. P. O. **Um método multivariável para avaliação da demanda de energia elétrica a curto prazo**, 2016. 81 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MOREIRA, A. R. B. **Modelos para a Projeção do Consumo Nacional e Regional de Óleo Diesel**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 1996.

MORETTIN, P. A., TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MOSKO, J. M. et al. **Eficiência energética na indústria: elaboração e planejamento de programas de preservação energética.** Revista de Engenharia e Tecnologia, v.2 n.1 pag. 17 - 23, 2010

QUININO, R. C. et al. **O Coeficiente de Determinação R^2 como instrumento didático para avaliar a utilidade de um modelo de regressão linear múltipla.** 2011