

PROJETO DE SOFTWARE PARA CALIBRAÇÃO DO ANALISADOR DE GASES GM-5000

Alain Patrick Garcia Fernandes¹,
André Luiz Esquincaha Vieira Garcia ¹,
Pedro Antonio Fassarella Marino¹,
Alexandre Adler Cunha de Freitas²

¹Discentes do Curso de Engenharia da Computação do Centro Universitário Multivix Vitória

²Mestre, Docente do Centro Universitário Multivix Vitória

RESUMO

A calibração atua no processo de ajuste e verificação da precisão de instrumentos de medição, garantindo assim maior assertividade e confiabilidade, gerando resultados de altos padrões. Uma interface intuitiva é crucial para a interação usuário-máquina, permitindo um controle fácil e acessível de sistemas complexos. Juntas, essas áreas colaboram para otimizar processos industriais e de pesquisa, garantindo qualidade e inovação. O presente artigo apresenta o desenvolvimento de software que fará a calibração do equipamento analisador de gases GM-5000. Logo, a metodologia aplicada foi a coleta de dados de monitoramento de um equipamento analisador de gases atmosféricos fornecidos por uma empresa no ramo de monitoramento ambiental, sendo feito dois testes com o mesmo período de amostragem. Como resultado, ele foi capaz de calcular os coeficientes necessários para cada gás, proporcionando um meio de análise prévia do comportamento desses coeficientes aplicando-os aos dados existentes e inserção destes no próprio equipamento GM-5000.

PALAVRAS-CHAVE

Software; Analisador de Gases; GM-5000; Calibração; Automação.

ABSTRACT

Calibration plays a critical role in adjusting and verifying the accuracy of measurement instruments, ensuring greater precision and reliability, and generating high-standard results. An intuitive interface is essential for user-machine interaction, allowing for easy and accessible control of complex systems. Together, these areas contribute to optimizing industrial and research processes, ensuring quality and innovation. This article presents the development of software for calibrating the GM-5000 gas analyzer. The methodology involved data collection from an atmospheric gas analyzer provided by an environmental monitoring company, conducting two tests with the same sampling period. As a result, the software was able to calculate the necessary coefficients for each gas, offering a means of preliminary analysis of these coefficients' behavior by applying them to existing data and uploading them directly to the GM-5000 equipment.

KEYWORDS

Software; Gas Analyzer; GM-5000; Calibration; Automation.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial, bem como o urbano, tem causado um aumento contínuo da emissão de poluentes atmosféricos em todo o mundo. A poluição do ar, devido às características de circulação atmosférica e à persistência prolongada de certos poluentes na atmosfera, possui um caráter transfronteiriço e é responsável por transformações em escala global, exigindo a cooperação internacional para enfrentar esse desafio (LEAL, *et. al.*, 2008). Diante disso, a monitorização da qualidade do ar é fundamental, pois possibilita a medição das concentrações de

substâncias poluentes na atmosfera, a coleta de dados sobre as condições atuais de qualidade do ar, o estabelecimento de um histórico e a capacitação dos responsáveis pela tomada de decisões para planejar medidas e políticas que garantam a preservação de uma boa qualidade do ar (VORMITTAG *et. al.*, 2021).

Assim, para realizar a monitorização da qualidade do ar, é indispensável utilizar equipamentos específicos de medição, tais como sensores de gases, aparelhos de medição de umidade e temperatura, medidores de partículas, entre outros. A seleção das tecnologias de monitorização deve considerar não apenas os requisitos legais, mas também os recursos necessários para adquirir, operar e manter os equipamentos. Assim como em qualquer dispositivo de medição, a confiabilidade dos resultados obtidos depende da sensibilidade e precisão dos equipamentos utilizados (TEIXEIRA *et. al.*, 2019).

Ademais, entre os dispositivos mais utilizados estão os aparelhos de análise de gases, desenvolvidos para monitorar e controlar a qualidade dos processos, assim como para verificar a presença de substâncias poluentes. Os analisadores de gases são instrumentos amplamente empregados para mensurar concentrações de gases específicos devido à sua relativa simplicidade e facilidade de manuseio. Normalmente, eles medem múltiplos compostos simultaneamente, e a tendência desses dispositivos é a redução de tamanho, portabilidade e custos mais baixos (GUIMARÃES, 2016).

Com base nessas premissas, a utilização de um software para a calibração automatizada do analisador de gases tem o potencial de tornar a tarefa de calibração mais segura e precisa. Este artigo, portanto, pretende desenvolver um software que poderá ser integrado com o analisador de gases GM-5000, capaz de calcular os parâmetros necessários para cada gás e a inserção destes no próprio equipamento.

O GM-5000 é um analisador de gases completo para monitoramento de poluição atmosférica, projetado para fornecer medições contínuas de poluentes, incluindo Ozônio (O₃), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Material Particulado em suspensão (THERMO FISHER SCIENTIFIC, 2020).

Logo, é esperado que o *software* desenvolvido realize todos os procedimentos passíveis de erro humano, desde os cálculos à entrada dos parâmetros calculados

na interface do usuário. Este artigo pode representar um avanço significativo na área, simplificando e aprimorando os procedimentos de calibração.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Qualidade do Ar e Poluição Atmosférica

A atmosfera da Terra é dividida em troposfera, tropopausa, estratosfera, mesosfera, ionosfera, exosfera e termosfera. Dentre essas camadas, a troposfera é a região mais baixa da atmosfera terrestre, alcançando aproximadamente até 17 km de altitude. É na troposfera que acontecem praticamente todos os processos relacionados aos fenômenos meteorológicos e às mudanças climáticas (PINTO JUNIOR, 2022).

De acordo com Jacobson (2010) o ar é considerado poluído quando possui elementos contaminantes ou substâncias poluentes em sua composição, sejam eles gases, partículas sólidas ou compostos orgânicos voláteis, que afetem a saúde e o bem-estar humano, ou causem impactos prejudiciais ao meio ambiente.

Existem diversas fontes naturais de poluição atmosférica, como erupções vulcânicas, incêndios florestais, transporte de poeira pelo vento e emissões de gases naturais. No entanto, são as fontes humanas de poluição que liberam poluentes em concentrações elevadas e levantam preocupações devido aos seus potenciais impactos na saúde (BRASIL, 2022).

1.2 Medidas de Controle e Equipamentos de Medição

Segundo Kawano (2001), devido à crescente conscientização ambiental, surgiu a necessidade de avaliar os efeitos reais e potenciais decorrentes da poluição do meio ambiente. Cujas avaliações podem ser conduzidas tanto no processo de emissão quanto no de dispersão de poluentes, ou seja, é possível quantificar tanto os poluentes liberados na atmosfera como aqueles que estão presentes no ar.

Conforme Álvares Júnior, Lacava e Fernandes (2002), a avaliação da qualidade do ar inclui medir a qualidade do ar ambiente, identificar as principais fontes de poluição, analisar padrões, estimar a poluição em áreas não monitoradas e até mesmo prever os efeitos da poluição de fontes ainda não implantadas. Além disso, os pesquisadores afirmam que três ferramentas principais são utilizadas para avaliar a qualidade do ar: monitoramento da qualidade do ar ambiente, modelagem da qualidade do ar e inventário de emissões.

Assim, a poluição do ar é monitorada hoje em dia em grandes centros urbanos

por meio de redes de estações de medição estáticas. Os índices de poluentes atmosféricos são medidos com precisão nessas estações. (HASENFRATZ, *et. al.*, 2014).

Os dispositivos de monitoramento empregados nessas estações devem ser capazes de assegurar que os dados produzidos atendam aos propósitos do monitoramento, especialmente para permitir a comparação com os regulamentos legais de qualidade do ar. Atualmente, os dispositivos utilizados para medir a poluição atmosférica podem ser categorizados em quatro tipos distintos como amostradores passivos e ativos, analisadores automáticos e sensores remotos, cada um dependendo da abordagem metodológica utilizada (ÁLVARES JUNIOR; LACAVA; FERNANDES, 2002).

1.3A Importância da Calibração

A calibração é um conjunto de processos que relacionam os valores indicados por um dispositivo de medição aos valores estabelecidos por um padrão de referência. É um procedimento importante para estabelecer a precisão e a confiabilidade das medições em circunstâncias específicas (INMETRO, 2012, p.38). Assim, a calibração de um analisador é um processo que garante a rastreabilidade das medições comparando os valores mostrados no equipamento com um material de referência certificado (MRC) ou gás de referência. (INMETRO, 2015, p.5).

De acordo com a NR-33 (2013) a calibração de um analisador de gás deve ocorrer em duas etapas, sendo a 1ª etapa que é validar a correlação entre os valores e as imprecisões de medição fornecidos por referências e os registros correspondentes com as imprecisões associadas e a 2ª etapa que é utilizar essa informação para estabelecer uma correlação, com o objetivo de obter um resultado de medição com base em uma indicação.

Assim, o resultado de uma calibração correta nos permite estabelecer valores confiáveis para as grandezas mensuradas e determinar as correções necessárias. No caso dos analisadores de gases, a calibração é essencial para garantir a confiabilidade nos dados coletados e assegurar a qualidade do produto (IVO, KUBICA, 2009).

1.4 Regressão Linear Múltipla (RLM)

De acordo com Hoffmann (2016), o modelo de RLM é uma técnica econométrica utilizada para analisar a relação entre uma variável dependente e duas ou mais variáveis independentes.

Destaca-se que o método de regressão é um relevante meio de investigação de condições econômicas globais, locais e regionais, pois possibilita associar variáveis, mensurar seus impactos e examinar as suposições teóricas que fundamentam os fenômenos analisados (SANTANA, 2003).

Logo, utilizando o modelo geral do RLM, envolvendo variáveis explicativas que podem variar no tempo, a equação utilizada para o cálculo dos fatores é apresentada em seguida: $Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \dots + \beta_n X_{nt} + \varepsilon_t$ (1).

Segundo Santana (2003) e Hoffmann (2016) as variáveis da equação acima mencionada são descritas da seguinte forma: Y_t refere-se a variável dependente; X_{1t}, \dots, X_{nt} são variáveis independentes ou explicativas; ε_t trata-se de termo de erro aleatório; $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ são os coeficientes parciais ou parâmetros de regressão múltipla a serem estimados, em que β_0 é o intercepto e os demais $\beta_1 \dots, \beta_n$ são as inclinações.

1.5 Relevância da Tecnologia da Informação para Automação Industrial

A automação é um conceito e um conjunto de metodologias por meio das quais são desenvolvidos sistemas capazes de operar com alta eficiência com base em informações recebidas do ambiente em que atuam. (MORAES E CASTRUCCI, 2007).

Nessa perspectiva, podemos dizer que automatizar processos consiste em racionalizar e aprimorar as atividades que geram os resultados de uma organização, sendo o principal objetivo agilizar a produção, reduzindo o trabalho e o tempo necessário para sua execução, diminuindo custos e substituindo tarefas manuais por softwares, um sistema automatizado, ocorrem menos falhas ou, quando ocorrem, são corrigidas com maior facilidade (ROIG, 2017).

1.6 Linguagem C#

Segundo Archer (2002) A linguagem de programação C# apresenta novas características inovadoras que foram adicionadas ao C e C++, tornando-a mais fácil de usar. Algumas tarefas, como o monitoramento e a alocação de memória, agora são gerenciadas pela própria linguagem, o que economiza tempo de programação.

Além disso, foram incluídas outras características, como a definição de que todos os elementos são objetos. Isso preenche uma lacuna entre os tipos de valores e os tipos de referência. A definição dos elementos como objetos permite o uso de atributos, que fornecem informações sobre os componentes, e também oferecem facilidade na manipulação de propriedades e métodos, por exemplo, facilitando incrementar um número (ARCHER,2002).

Diante das características mencionadas o C# é uma linguagem moderna e de fácil aprendizado, que possui uma arquitetura bem estruturada e poderosa. Além disso, oferece acesso a inúmeros recursos e bibliotecas, o que possibilita sua versatilidade para ser utilizada em diversas áreas (NAKOV et. al, 2013).

1.6.1 Math.NET

Para realizar o cálculo da calibração utilizando um modelo matemático, a plataforma .NET dispõe de uma biblioteca numérica de código aberto chamada Math.NET Numerics, da qual tem como objetivo fornecer métodos e algoritmos para cálculos numéricos em ciência, engenharia e uso cotidiano. E os tópicos abrangidos pela biblioteca incluem funções especiais, álgebra linear, modelos de probabilidade, números aleatórios, interpolação, transformadas integrais e muito mais (MATH.NET, 2013).

Em referido *framework* contém uma função da classe *MultipleRegression* chamada de *QR* que realiza uma decomposição explícita, proporcionando uma maior precisão. Em seguida, na Figura 1, é demonstrado a utilização desta função no código.

Figura 1 – Demonstração da função do cálculo da RLM

```
var Corrected = MultipleRegression.QR(factors, predictor, intercept: true);
```

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com Math.Net (2013) e demonstração da função do cálculo do RLM acima mencionada temos as seguintes propriedades: **Corrected** do qual o resultado dessa função inclui os valores de Intercepto, Var1, Var2 e Var3; **Factors**, que são os valores de cada amostra do gás respectivo a ser calibrado para um intervalo de tempo específico; **Predictor** que são os valores de referência do gás a ser calibrado, umidade relativa e temperatura para um intervalo de tempo específico; **Intercept** que recebe um valor booleano, Verdadeiro ou Falso, para determinar se a função deve retornar o valor do intercepto.

1.6.2 *WebView2*

O *WebView2* é uma biblioteca de código-fonte aberto, disponibilizada pela Microsoft, ela possibilita a implementação de conteúdo Web (HTML, CSS e JavaScript) dentro de aplicativos *desktop*. O *WebView2* é possível acessar e interagir com páginas da Web dentro de uma aplicação nativa, proporcionando uma interação dinâmica quando necessário (MICROSOFT, 2024).

O *WebView2* é compatível com várias linguagens de programação, sendo elas C++, JavaScript e C#. Isso facilita o desenvolvimento de aplicações em diferentes plataformas. Ele possibilita a execução de scripts e a manipulação de DOM que é uma interface que alguns navegadores utilizam para configurar páginas da web, isso permite uma versatilidade similar ao desenvolvimento web padrão, porém dentro de um ambiente de *software desktop* (MICROSOFT, 2024).

2. METODOLOGIA

De acordo com Cervo e Bervian (1983, p.249) “para se alcançar resultados científicos, devem-se seguir processos metodológicos”. Logo, para a realização da pesquisa metodológica foram utilizados alguns conceitos que serviram de base para o desenvolvimento e conclusão deste artigo. Assim, foram seguidos os critérios de classificação de Marconi e Lakatos (2001) e Gil (2019) quanto a sua natureza, fins e meios.

Nesse sentido, os dados desse artigo foram obtidos por meio de pesquisa bibliográfica e documental na internet, com natureza aplicada e exploratória que considerou artigos científicos que abrangem estudos dos equipamentos de análise de gases e de como são realizados os métodos de calibração dos parâmetros necessários no procedimento. As palavras-chave utilizadas nas pesquisas foram:

analisador de gases GM-5000, métodos de calibração, software de calibração, calibração por regressão linear, automatização da calibração.

Logo, objetivando a aplicação do software para calibração do analisador de gases GM-5000 e a análise da eficiência de medições, considerando a calibração em questão, onde foram utilizados os dados de monitoramento de um equipamento analisador de gases atmosféricos fornecidos por uma empresa no ramo de monitoramento ambiental, bem como foi aplicado teste prático do *software*.

2.1 Método de calibração utilizada

A metodologia da calibração utilizada foi estudada a partir do manual do equipamento GM-5000. O levantamento desse processo mostrou de forma detalhada o funcionamento da rotina de calibração do equipamento, destacando todas as etapas que podem ser automatizadas no processo.

Assim, um dos métodos utilizados para a calibração do equipamento utilizado neste estudo é conhecido como “Calibração por colocação”. Conforme descrito no manual de referência, esse método envolve a coleta simultânea de dados utilizando o GM- 5000 e um dispositivo de referência (GM-5000 calibrado) conhecido ao longo de um período de tempo, denominado período de aprendizado.

Diante disso, após a conclusão desse período, os dados registrados são utilizados para elaborar um modelo matemático que representa a relação entre as leituras dos sensores e as concentrações reais, determinadas pelos instrumentos de referência. Idealmente, os dados coletados durante o período de aprendizado incluem diversas variações nos níveis de poluição, temperatura e umidade, a fim de incorporar o impacto das condições de amostragem na análise.

Após validar e organizar os dados do GM-5000 e o equipamento de referência (GM-5000 calibrado), os fatores que deverão ser inseridos no GM-5000 para que seja calibrado podem ser calculados usando a função de análise de regressão linear múltipla (RLM). Essa regressão é calculada a partir do dado de concentração de gás proveniente do analisador de referência, essa concentração é a variável dependente e como variáveis independentes serão utilizados os dados de concentração de gás, temperatura e umidade relativa do analisador que será calibrado. Esse cálculo é feito por meio do Excel, como são dois equipamentos os dados dos dois devem ser limpos e organizados de uma forma específica e serão

juntados em um único arquivo em excel, após a organização de dados o operador deverá utilizar a função de regressão que é disponibilizada pela “Ferramenta de Análise de dados” do excel, com essa ferramentas deverá selecionar o período dos dados na tabela referente a cada componente (Figura 2).

Figura 2 – Organização dos dados no Excel e obtenção dos fatores de calibração

	A	B	C	D	E
1	Data-Horário	Referência de O3	O3 GM-5000	SensorTemp	UR
2	14/05/2024 16:00	63,84	-13,51	36,14	55,03
3	14/05/2024 16:05	61,48	-13,63	36,01	55,31
4	14/05/2024 16:10	60,9	-13,68	35,87	55,39
5	14/05/2024 16:15	58,76	-12,78	35,7	55,58
6	14/05/2024 16:20	61,5	-12,76	35,5	55,93
7	14/05/2024 16:25	61,48	-12,57	35,26	56,37
8	14/05/2024 16:30	62,52	-11,22	34,99	56,65
9	14/05/2024 16:35	66,19	-8	34,71	56,63
10	14/05/2024 16:40	68,85	-9,99	34,45	57,08
11	14/05/2024 16:45	65,46	-9,38	34,24	57,35
12	14/05/2024 16:50	68,56	-9,41	34,05	57,8
13	14/05/2024 16:55	68,54	-11,37	33,87	58,32
14	14/05/2024 17:00	66,24	-13,52	33,72	58,78
15	14/05/2024 17:05	63,62	-13,19	33,56	59,23
16	14/05/2024 17:10	62,83	-13,41	33,4	59,6
17	14/05/2024 17:15	60,9	-12,39	33,26	59,91
18	14/05/2024 17:20	60,47	-11	33,13	59,89
19	14/05/2024 17:25	60,83	-11,02	33	59,99
20	14/05/2024 17:30	47,27	-11,05	32,87	60,29
21	14/05/2024 17:35	58,17	-11,17	32,76	60,63

Fonte: Elaborado pelos autores

Após essa configuração, o Excel fornecerá todos os fatores necessários, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Coeficientes de O3 para calibração

	H	I	J	K	L	M	N	O	P
RESUMO DOS RESULTADOS									
<i>Estadística de regressão</i>									
R múltiplo		0,86116384							
R-Quadrado		0,741603159							
R-quadrado ajustado		0,740605488							
Erro padrão		6,601835856							
Observações		781							
ANOVA									
		<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão		3	97192,96575	32397,65525	743,3342	9,0454E-228			
Resíduo		777	33864,9519	43,58423667					
Total		780	131057,9176						
		<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção		18,51272259	14,5464013	1,27266684	0,203517	-10,04218001	47,06762518	-10,04218001	47,06762518
Variável X 1		1,094880327	0,052063728	21,02961832	4,55E-78	0,992678095	1,197082559	0,992678095	1,197082559
Variável X 2		2,454903805	0,250916566	9,783745446	2,14E-21	1,962349122	2,947458488	1,962349122	2,947458488
Variável X 3		-0,585249046	0,110600904	-5,29153942	1,58E-07	-0,80236103	-0,368137061	-0,80236103	-0,368137061

Fonte: Elaborado pelos autores

Após a obtenção dos coeficientes, foi realizado um cálculo de correção com os dados que já foram adquiridos do GM-5000. Logo, para gerar esse conjunto de dados corrigidos, serão utilizados os dados originais (descalibrados) do GM-5000 junto com o *Intercept* e os coeficientes *VAR1*, *VAR2* e *VAR3*, para assim gerar uma nova coluna de dados que deve se aproximar das informações de referência originais, a fórmula em questão é apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Demonstração da função do cálculo da RLM

$$\text{Corrected} = \text{Intercept} + (\text{Var}_1 \times \text{Actuals}) + (\text{Var}_2 \times \text{Temperature}) + (\text{Var}_3 \times \text{RH})$$

Fonte: THERMO FISHER SCIENTIFIC. GM-5000 Instruction Manual: Air Quality Monitor. (2020, 174p)

Segundo Thermo Fisher Scientific (2020) e demonstração da função do cálculo do RLM acima mencionada temos as seguintes propriedades: **Corrected** que seria o valor de saída corrigido do gás; **Intercept** que é o gerado pelo resultado da RLM; **Actuals** são os valores de cada amostra do gás que está a ser calibrado; **Temperature** corresponde ao valor de temperatura de cada amostra do gás a ser calibrado; **RH** representa o valor de umidade relativa de cada amostra do gás a ser calibrado; E por fim **Var_1**, **Var_2**, **Var_3** são os coeficientes gerados pelo resultado da RLM, sendo eles relacionados a Concentração do gás, Temperatura e Umidade relativa respectivamente.

As variáveis corrigidas (**Corrected**) permitem visualizar o comportamento dos dados ao implementar os coeficientes (**Var_1**, **Var_2**, **Var_3**) através da fórmula acima (Figura 4), assim podemos comparar a correção em relação aos dados de referência. Essa etapa é importante, uma vez que proporcionará um retorno da precisão da calibração antes da aplicação dos fatores identificados no equipamento. Assim, conforme ilustrado na Figura 5, por meio de um gráfico podemos demonstrar essa correção, onde a linha azul representa o valor do gás de referência utilizado na calibração, enquanto a linha vermelha representa os valores corrigidos.

Figura 5 – Gráfico de comparação referência x calibrado



Fonte: Elaborado pelos autores

Após obter o intercept e os coeficientes, o operador deverá acessar a interface de usuário, conforme ilustrada na Figura 6 no navegador web do computador. Logo em seguida, o equipamento fornecerá uma rede Wi-Fi no qual o operador deverá conectar, e para acessar a interface, o IP do GM-5000 (Visto pelo WI-FI) deverá ser colocado no endereço URL no navegador acessando a tela de calibração, é permitido ao usuário calibrar os sensores de qualidade do ar, em seguida, na tela de fatores de colocação, devem ser inseridos os valores de *intercept* e coeficientes já obtidos.

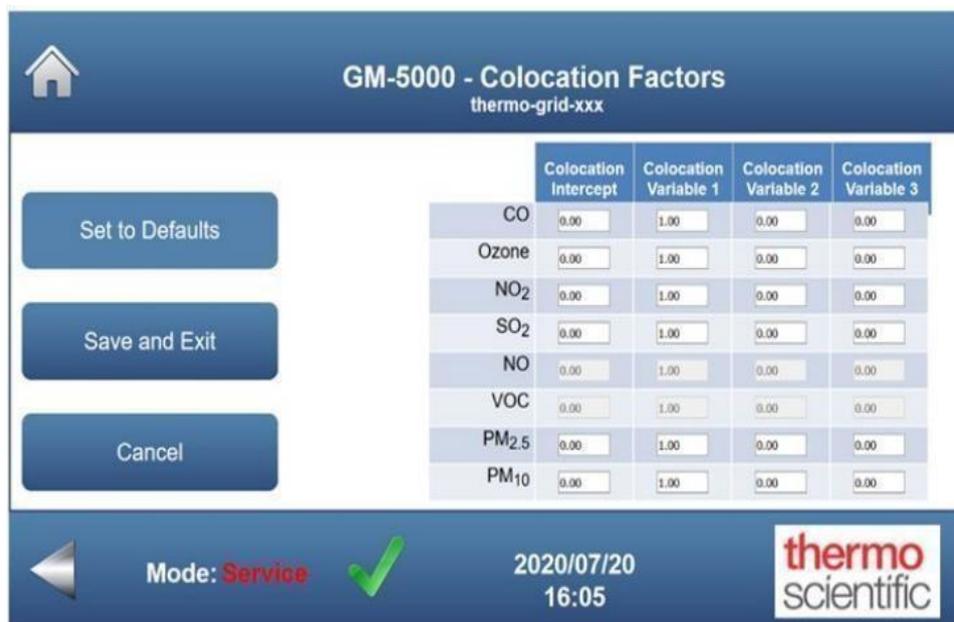
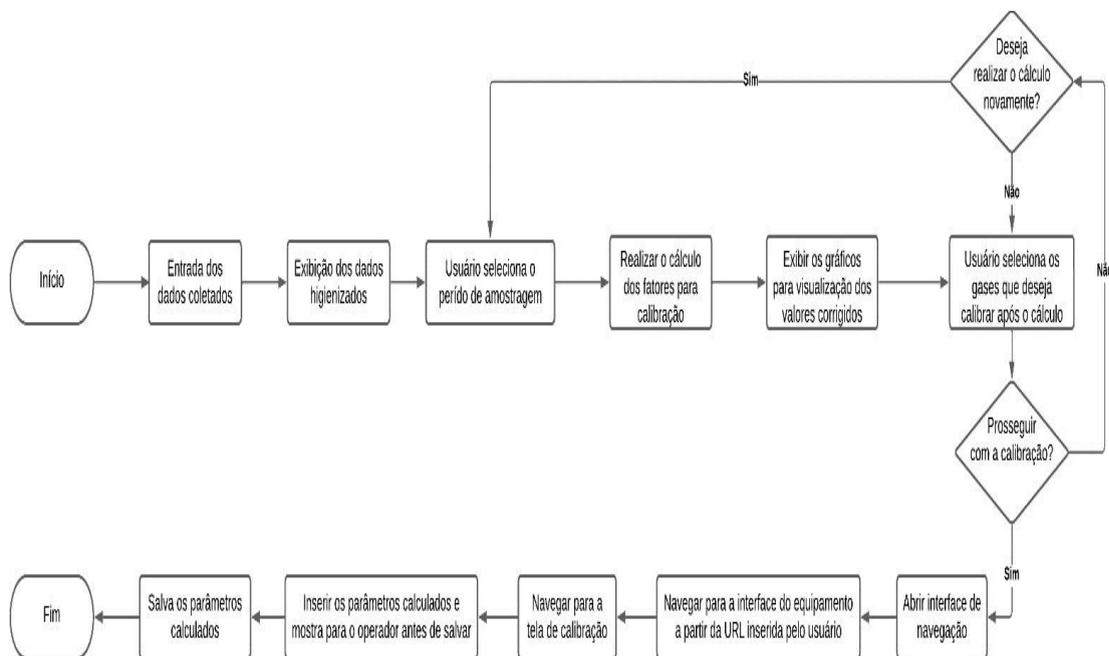


Figura 6 – Interface do GM-5000 para inserção dos fatores de colocação para calibração
Fonte: THERMO FISHER SCIENTIFIC. GM-5000 Instruction Manual: Air Quality Monitor. (2020, 174p)

3. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O desenvolvimento de um software para calibração de analisadores de gases requer precisão, eficiência e uma interface amigável para o usuário, logo para atender a esses requisitos optamos por utilizar a linguagem de programação C#, dentro da plataforma .NET da Microsoft, e a arquitetura *Model-View-Controller* (MVC). A arquitetura MVC é conhecida por sua capacidade de separar as preocupações da aplicação, facilitando a manutenção e a escalabilidade do software. A seguir, na Figura 7 é demonstrado o fluxograma de processamento do sistema desenvolvido para a automatização do processo.

Figura 7 - Fluxograma de processamento do software



Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com o fluxograma apresentado na figura acima, o *software*, logo no início, receberá os valores das amostras coletadas pelo analisador de um banco de dados previamente enriquecido. A conexão com o banco de dados poderá ser feita nas configurações do programa.

Após a inicialização, o sistema irá perguntar ao usuário ou esperar a entrada do parâmetro para determinar se será realizado o cálculo dos parâmetros para todos os gases configurados ou apenas um. Caso seja selecionada a opção de um único gás, o operador deverá escolher na lista, que contém todos os gases configurados previamente, o gás desejado. Em seguida, o programa irá solicitar ao usuário o

período de amostragem para o cálculo dos fatores de calibração.

Em seguida, o programa utiliza função QR da classe *MultiRegression* da biblioteca MATH.NET do C# para obter os parâmetros necessários na calibração do equipamento. Esses parâmetros são calculados com base nos valores de cada amostra do gás a ser corrigido, do gás de referência, da temperatura e da umidade relativa. Após o cálculo, os gráficos dos valores coletados de referência são corrigidos e serão exibidos, auxiliando na visualização e análise dos resultados.

O usuário tem a opção de prosseguir com a calibração ou não. Caso opte por não prosseguir, o software retornará à tela inicial, recarregando os dados.

Então, ao se conectar ao equipamento e prosseguir com o processo de calibração, o software abrirá o navegador e navegará até a tela de interface do GM-5000, utilizando o endereço de IP fornecido pelo manual (192.168.4.1).

Em seguida, o *software* irá acessar a tela de calibração e, posteriormente, a opção "fatores de colocação", onde serão inseridos os valores corrigidos. Esses valores serão calculados pela função QR descrita anteriormente e incluem o Intercept, Var1, Var2 e Var3.

A tarefa de manipulação do navegador é utilizado o *WebView2* como ferramenta responsável por automatizar os procedimentos que o usuário normalmente realiza manualmente e após a conclusão dessa tarefa o *software* irá inserir os dados nos campos necessários, e o operador deverá confirmar se tudo está correto e finalizar o procedimento salvando os coeficientes no equipamento.

Assim, a fim de garantir que os valores inseridos sejam consistentes e correspondam aos cálculos realizados manualmente, a validação dos dados calculados pelo *software* foi realizada por meio de um período de testes.

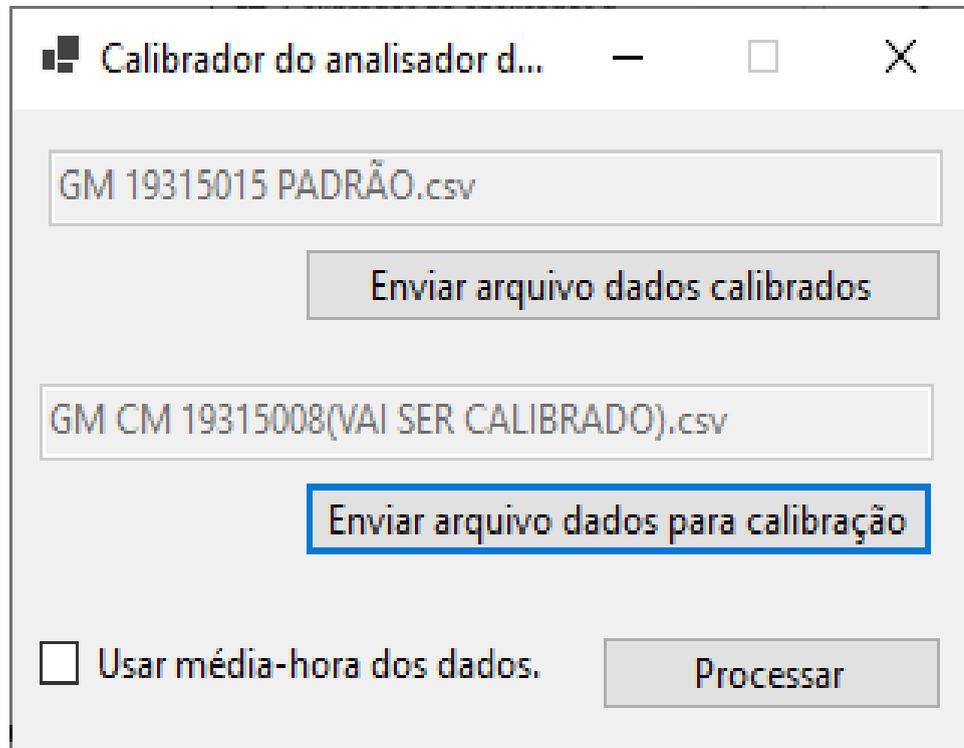
3.1 Funcionamento do Software

Para a utilização correta do programa, foi elaborado um manual do usuário contendo todas as diretrizes necessárias para que os usuários conseguissem realizar o procedimento correto de uma calibração através do software de maneira independente.

O software possui em sua tela inicial conforme demonstrado na Figura 8, dois campos de envio de arquivos em CSV coletados diretamente dos instrumentos concedendo o envio de "dados calibrados" e "dados para serem calibrados" que permitem a higienização das informações levantadas do equipamento de referência,

bem como realizar a média-hora dos dados calculados para calibração, se preferirem.

Figura 8 - Tela inicial do equipamento



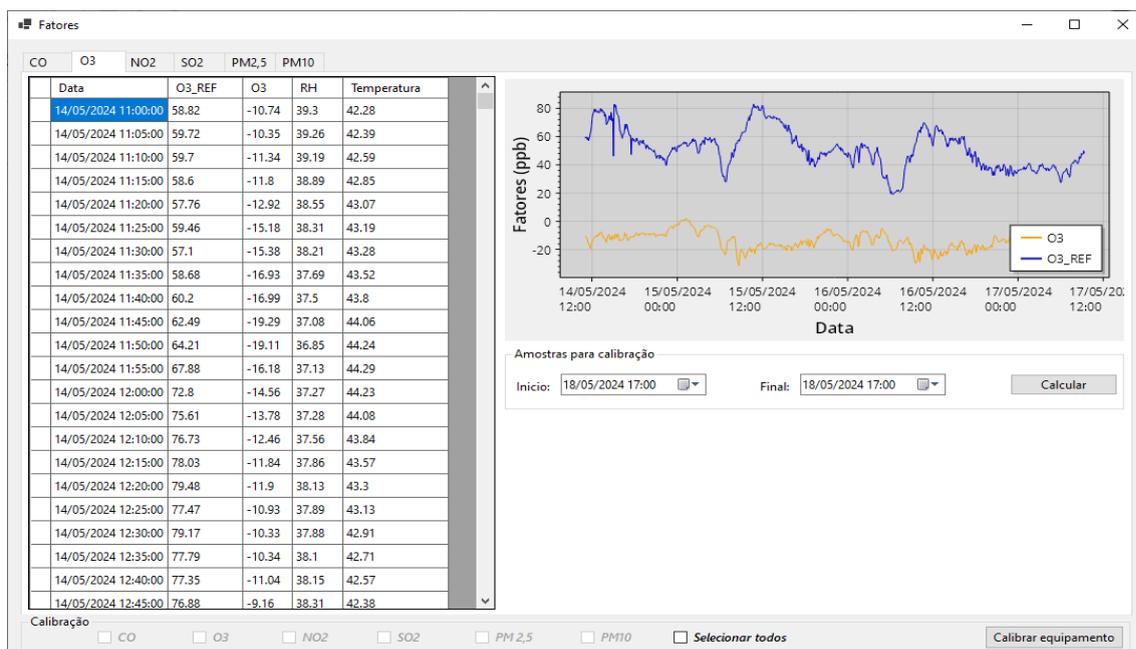
Fonte: Elaborado pelos autores

Assim, após a etapa inicial e escolhidos os arquivos, ao clicar em “Processar”, o software irá higienizar os dados dos gases e fatores analisados, sendo divididos cada um em uma aba contendo o nome destes.

Em cada aba do respectivo fator, será exibido uma tabela com os dados do gás coletados pelos equipamentos de referência e o para calibração, onde estes também serão apresentados em um gráfico ao lado, a umidade relativa e temperatura, além do horário que essa amostra foi coletada.

Conforme ilustrado na Figura 9, o usuário poderá escolher o intervalo que deseja utilizar para realização do cálculo que gerará os valores da colocação.

Figura 9 - Interface de exibição dos dados higienizados

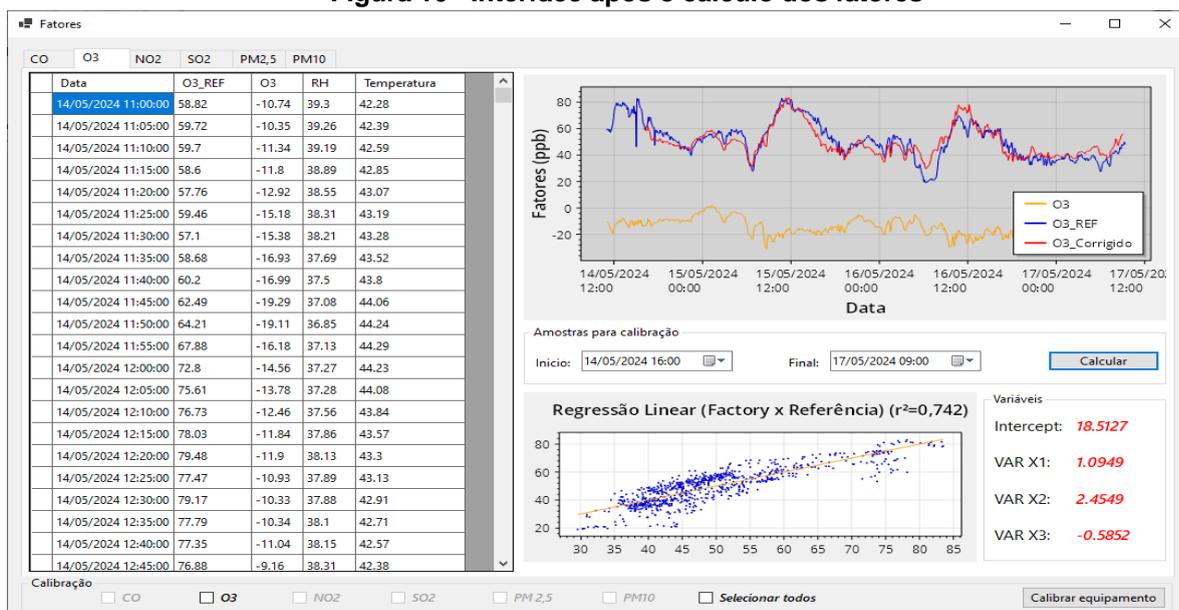


Fonte: Elaborado pelos autores

Como se pode observar na Figura 9, é possível a análise da evolução da coleta dos dados em um gráfico da concentração ao longo do tempo de amostragem. Essa visualização irá auxiliar o operador na seleção da faixa de amostras utilizadas no cálculo dos coeficientes da calibração, onde a linha azul representa o valor do gás de referência utilizado na calibração, enquanto a linha amarela representa os valores coletados pelo equipamento a ser calibrado.

Assim, após selecionar o intervalo de amostras desejada no cálculo e clicando em calibração, serão exibidos novos elementos na interface como observado na Figura 10 abaixo. No gráfico de evolução será exibido a curva em vermelho demonstrando os valores corrigidos, esses dados corrigidos são obtidos com a fórmula apresentada na Figura 4, a linha dos corrigidos aparecerá para que o operador possa verificar como os fatores obtidos vão interagir com os dados e se terão um comportamento semelhante aos dados de referência, antes de enviar os fatores para o equipamento. Abaixo das opções de seleção das amostras, será exibido o gráfico da regressão linear dos dados de referência e do calibrado a fim de aprimorar ainda mais a análise do operador para determinar se a aproximação está perto do desejado e, por fim, os coeficientes utilizados na colocação que determinaram a curva corrigida apresentada no gráfico de evolução.

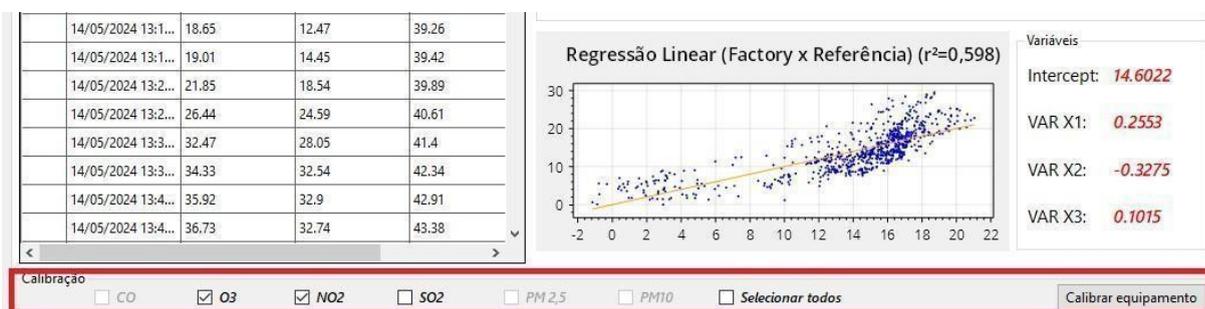
Figura 10 - Interface após o cálculo dos fatores



Fonte: Elaborado pelos autores

À medida que os fatores são calculados, as opções da calibração na parte de baixo da interface são liberadas para os respectivos gases. O operador pode então selecionar para quais gases deseja realizar a calibração marcando a respectiva opção, ou marcando a opção de selecionar todos e, assim, sendo feito a marcação para todos os parâmetros disponíveis. Uma vez selecionada as opções, o usuário deve clicar em “Calibrar equipamento” para prosseguir para a etapa final da calibração, onde os coeficientes calculados podem ser exportados para o equipamento. A área em destaque na Figura 11 abaixo ilustra a parte da interface responsável pelo procedimento descrito acima.

Figura 11 - Área para seleção e calibração dos fatores



Fonte: Elaborado pelos autores

Ao clicar em “Calibrar equipamento”, o programa irá mudar a tela para a visualização de um navegador simplificado, como pode ser observado na Figura 12, onde o operador deverá conectar ao Wi-Fi do equipamento, inserir a URL (IP) necessária para navegação para a tela de configuração do equipamento que será

calibrado e marcar a opção de “Meu dispositivo está conectado ao equipamento”. Realizada estas etapas o operador poderá finalmente clicar em Iniciar para dar início ao procedimento final da calibração, a inserção dos coeficientes Intercept, Var1, Var2 e Var3 de cada gás no equipamento.

Figura 12 - Interface de navegação/integração ao equipamento

	Colocation Intercept	Colocation Variable 1	Colocation Variable 2	Colocation Variable 3
CO	-1,0973	0,7856	0,0227	0,0118
Ozone	18,5127	1,0949	2,4549	-0,5852
NO ₂	14,6022	0,2553	-0,3275	0,1015
SO ₂	-22,9965	0,0725	0,4541	0,2270
NO	0,00	1,00	0,00	0,00
VOC	0,00	1,00	0,00	0,00
PM _{2,5}	-34,6045	0,6603	0,7920	0,2465
PM _{delta}	-170,870	0,3236	3,2905	1,1882

Fonte: Elaborado pelos autores

O Software irá inserir na interface do equipamento todos os coeficientes dos parâmetros selecionados anteriormente, o operador deverá conferir e em seguida aplicará manualmente esses coeficientes ao equipamento, clicando na opção “Save and Exit”, após isso o processo de calibração estará finalizado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A realização desse trabalho foi feita sob a utilização de dados de monitoramento de um equipamento analisador de gases atmosféricos fornecidos por uma empresa no ramo de monitoramento ambiental.

Para validação do software foram conduzidos dois testes com o mesmo período de amostragem, o primeiro sendo a calibração de forma manual apresentada na seção 3.1, e o segundo teste foi a calibração utilizando o software conforme explicado na seção 4.1, todo o processo de teste realizado foram demonstradas nas seções mencionadas. Assim portanto, para fins de comparação podemos ver através da figura 3 e a figura 10 que os mesmos valores de coeficientes foram encontrados utilizando os dois métodos, isso mostra que o cálculo para a obtenção dos

coeficientes é o mesmo, a grande diferença entre os dois métodos é como eles proporcionam esses dados e a eficiência com que proporcionam para o usuário.

Os dados utilizados são correspondentes a 4 dias de monitoramento, com isso obtivemos uma boa margem para calibração. Esse teste comparativo foi realizado com o objetivo de comparar a eficiência e confiabilidade entre os dois métodos.

A principal diferença entre o método manual e a utilização do software é a eficiência do tempo de execução da calibração e confiabilidade dos resultados obtidos. No método manual o usuário precisa juntar os dois arquivos de dados em um só, fazer a limpeza dos dados inválidos, configurar manualmente cada intervalo de tempo da calibração, configurar os gráficos para uma análise prévia, obter os coeficientes com a função do excel e após isso inserir cada coeficiente um por um no equipamento, isso é um processo demorado e suscetível a erros, ainda mais se a calibração será feita em vários equipamentos diferentes.

Enquanto isso, a calibração pelo software se mostrou muito mais eficaz, fazendo a limpeza e organização dos dados automaticamente, proporcionando a obtenção dos coeficientes com poucas interações, entregando gráficos prontos para uma análise prévia do comportamento dos coeficientes, e possibilitando a inserção desses fatores automaticamente no equipamento, evitando falhas humanas.

Assim, realizando a calibração manual para um analisador, demora cerca de 20 a 30 minutos para organizar tudo, obter os fatores e inserir no equipamento, esse tempo varia pois depende da quantidade de parâmetros que serão calibrados no equipamento, enquanto com a utilização do software é possível realizar a calibração de todos os parâmetros em torno de 5 minutos ou até menos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo demonstrou que a automação de um processo manual de calibração proporciona uma maior eficiência de tempo e confiabilidade de medição, bem como os resultados obtidos mostram que o software desenvolvido atende aos objetivos propostos, oferecendo maior confiabilidade, eficiência e precisão comparada ao método manual.

Futuras pesquisas relacionadas a esse tema podem explorar a expansão desse sistema para outros tipos de analisadores que utilizam métodos de calibração diferentes, novas integrações podem ser feitas para análises preditivas e também em tempo real.

O contínuo uso de automações e tecnologias para o monitoramento ambiental contribuem significativamente para a saúde pública e a qualidade do meio ambiente, logo, este artigo enfatiza a importância dos avanços tecnológicos para a área ambiental, pois com eles os problemas ambientais serão estudados e tratados com maior eficácia, a calibração eficiente e confiável de analisadores de gases é um ponto crucial para resolução desses problemas, pois proporcionará aos profissionais da área maior assertividade em suas análises.

Assim, o desenvolvimento do software proposto representa uma grande contribuição para a área de monitoramento da qualidade do ar, cuja inovação poderá otimizar todo o processo de calibração e proporcionar maior confiabilidade dos dados que serão obtidos através do equipamento em questão.

A implementação do presente *software* em ambientes industriais poderá trazer grandes melhorias tanto em termos de eficiência de tempo e confiabilidade de monitoramento do equipamento quanto em termo de análises de dados, pois o mesmo proporciona um reaproveitamento do tempo do usuário que antes seria utilizado para um trabalho manual, para então focar em um artigo analítico.

6. REFERÊNCIAS

ÁLVARES JUNIOR, Olimpio de Melo; LACAVA, Carlos Ibsen Vianna; FERNANDES, Paulo Sérgio. **Emissões Atmosféricas**. Brasília: SENAI/DNI, 2002. 373p.

ARCHER, Tom. **Inside C#**. 1 ed. Washington: Microsoft Press. 2001. 800 p.

BRASIL. Instituto Nacional de Câncer. **Poluição do ar**: Conheça as principais fontes de poluição do ar, os efeitos à saúde e as medidas de controle. Brasília, Instituto Nacional do Câncer, 23 mai. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poluentes/poluicao-do-ar>. Acesso em: 08 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **Guia Técnico da NR-33 (ano 2013)**. Brasília, 2013. Disponível em:

https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-33_guia_tecnico_da_nr_33.pdf. Acesso em: 08 jun. 2023.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia Científica**: Para Uso dos Estudantes Universitários. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983. 249 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar Projetos de Pesquisa**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GUIMARÃES, Claudinei de Souza. **Controle e monitoramento de poluentes atmosféricos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

HASENFRATZ, D.; SAUKH, O.; WALSER, C.; HUEGLIN, C.; FIERZ, M.; ARN, T.;

BEUTEL, J.; THIELE, L.. *Deriving high-resolution urban air pollution maps using mobile sensor nodes*. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 16, p. 268-285, janeiro 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.11.008>. Acesso em: 08 jun. 2023.

HOFFMANN, Rodolfo. **Análise de regressão: uma introdução à econometria [recurso eletrônico]**. 5. Ed. Piracicaba: O Autor, 2016. 393 p.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012)**. Duque de Caxias, RJ : INMETRO, 2012. 94 p. Inclui índice. Traduzido de: International Vocabulary of Metrology: Basic and general concepts and associated terms – JCGM 200:2012. 3rd. ed. 2012. Traduzido por: grupo de trabalho luso-brasileiro ISBN: 978-85-86920-09-7. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf. Acesso em: 07 jun. 2023.

INMETRO. **Rastreabilidade metrológica na acreditação de organismos de avaliação da conformidade e no reconhecimento da conformidade aos princípios das BPL**. Norma nº NIT-DICLA-030, rev. n 8, pag 1-12, jan 2015. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/pesquisa_link.asp?seq_tipo_documento=4&cod_uo_numeracao=00778&num_documento=030. Acesso em: 06 jun. 2023.

IVO, Douglas; KUBICA, Ricardo. **A instrumentação analítica utilizada na obtenção da água purificada de fármacos: Foco na importância da calibração**. Astrazeneca do Brasil. 2009. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/54723294/A-instrumentacao-analitica-utilizada-na-obtencao-de-agua-purificada-para-producao-de-farmacos>. Acesso em: 05 jun. 2023.

JACOBSON, M. Z.; *Short-term effects of controlling fossil-fuel soot, biofuel soot and gases, and methane on climate, arctic ice, and air pollution health*. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 115, n. D14, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2009JD013795>. Acesso em: 08 jun. 2023.

KAWANO, Mauricy. **Apostila Poluição Atmosférica-Qualidade do Ar**. Revisão06. SENAI-CIC. Curitiba. 2001.

LEAL, Georla Cristina Souza de Gois; FARIAS, Maria Sallydelandia Sobral de; ARAUJO, Aline de Farias. O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. **Qualitas Revista Eletrônica**, Campina Grande, v. 1, n. 7, p. 1-11, 2008.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalho científico**. 6ª. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MATH.NET. **Math.NET**, © 2002 – 2023. Math.NET Numerics. Disponível em: <https://numerics.mathdotnet.com>. Acesso em: 10 jun. 2023.

MICROSOFT. 2024. **Introdução ao Microsoft Edge WebView2**. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/pt-br/microsoft-edge/webview2/>>. Acesso em: 15 jun. 2024.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio. **Engenharia de automação**

industrial. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. xi, 347 p. ISBN 978-85-216-1532-3 (broch.).

NAKOV, Svetlin; KOLEV, Veselin. **Fundamentals of Computer Programming with C#**, The bulgarian C# Programming Book. Svetlin Nakov & Co.. 2013.

PINTO JUNIOR, Luiz Fernando Gomes. **Clima espacial: uma proposta para divulgação e ensino dos efeitos do sol no ambiente espacial do sistema solar para o ensino médio**. 2022. 84 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Astrofísica Gravitacional e Física Espacial) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

ROIG, Marcos. 7 benefícios da automação de processos. **Administradores.com**. 2017. Disponível em: <https://administradores.com.br/noticias/7-beneficios-da-automacao-de-processos>. Acesso em: 06 jun. 2023.

SANTANA, Antonio Cordeiro de. **Métodos quantitativos em economia: elementos e aplicações**. Belém, UFRA, 2003. 484 p.

TEIXEIRA, Luciana Souza; BRESSANE, Samir Borger; NÓBREGA, M. de J. R. da. Monitoramento da qualidade do ar – Diagnóstico das tecnologias e da rede de monitoramento da região metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, Santa Úrsula, v. 2, n. 1, p. 73-86, jan/jun 2019. Disponível em: <http://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/749/539>. Acesso em: 05 jun. 2023.

THERMO FISHER SCIENTIFIC. **GM-5000 Instruction Manual**: Air Quality Monitor. 24 out. 2020, 174 p. Disponível em: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/CAD/manuals/gm5000-user-manual-e n.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2023.

VORMITTAG, E. da M. P. A. de A.; CIRQUEIRA, S. S. R.; WICHER NETO, H.; SALDIVA, P. H. N. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 35, n. 102, p. 7-30, 2021. DOI: 10.1590/s0103-4014.2021.35102.002. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/190240>. Acesso em: 10 jun. 2023.