

ESTUDO DE CASO E NORMATIZAÇÃO DE UM LABORATÓRIO DE METROLOGIA QUANTO AOS PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

BARBOZA, Wallace Dieb ¹

LOPES, Emerson Tavares ²

CAMPO, Eduardo Rafael Barreda Del (Orientador) ³

RESUMO

O presente artigo avalia o estado de um laboratório de metrologia de uma empresa do PIM quanto às condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar estabelecidas pela norma NBR NM-ISO 1:1997 (Temperatura padrão de referência para medições industriais de comprimento). Uma vez que esse local não sustentava os parâmetros regulamentados, optou-se por um estudo baseado em uma análise quantitativa de monitoramento e coleta de dados durante um período de quinze dias, além da efetivação de um cálculo de carga térmica para averiguar se o dimensionamento do condicionador de ar estava adequado. Baseado nesta investigação foi possível evidenciar a causa das irregularidades e as constantes variações de temperatura e umidade no ambiente de forma objetiva, e através desses elementos propor um plano de ação visando a solução da anormalidade. Ao final do estudo de caso, foi implementada uma organização e alteração no processo de recebimento de peças no laboratório, impactando significativamente nos resultados, comprovados por meio do novo dimensionamento do sistema de condicionamento de ar através da aplicação do cálculo de carga térmica e da estabilidade apresentada no monitoramento de umidade relativa durante um período de quinze dias após a implantação das ações, resultando assim na estabilidade dos parâmetros necessários para reconhecimento da competência técnica do laboratório de metrologia de acordo com a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração).

Palavras-chave: Laboratório de metrologia. Carga térmica. Normatizações. Transferência de calor.

Graduando em engenharia mecânica na Universidade Uninorte – E-mail: wallacedieb@gmail.com

² Graduando em engenharia mecânica na Universidade Uninorte – E-mail: emersontavvares@gmail.com

³ Pós doutorado em térmica e fluidos na Universidade UNICAMP – E-mail: eduardoserapio@yahoo.com.br

CASE STUDY AND NORMATIZATION OF A METROLOGY LABORATORY REGARDING TEMPERATURE AND RELATIVE AIR HUMIDITY PARAMETERS

BARBOZA, Wallace Dieb ¹

LOPES, Emerson Tavares ²

CAMPO, Eduardo Rafael Barreda Del (Orientador) ³

ABSTRACT

The current article has the objective of analyze and evaluate the state of a metrology laboratory of a IPM company, regarding the environmental conditions of temperature and relative humidity established by the standard NBR NM-ISO 1:1997 (Standard reference temperature for industrial measurements of length). Since the location did not support the regulated parameters, a study was based on a quantitative analysis of monitoring and data collection during a period of fifteen days, in addition to performing a thermal load calculation to ascertain whether the air conditioner design was adequate. Based on this investigation it was possible to show the causes of the irregularities of the constant variations of temperature and humidity in the environment in an objective way, and through these elements propose a plan of action aiming at the solution of the abnormality. At the end of the case study, was implemented an organization and change in the process of receiving parts in the laboratory, impacting significantly on the results, proven by means of the new dimensioning of the air conditioning system through the application of the thermal load calculation and the stability presented in the monitoring of relative humidity during a period of fifteen days after the implementation of the actions, resulting in the stability of the necessary parameters for recognition of the technical competence of the metrology laboratory in accordance with ISO / IEC 17025 (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories).

Keywords: Metrology laboratory. Thermal load. Normatization. Heat transfer.

1. INTRODUÇÃO

A Metrologia é a ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia. Tem como foco principal prover confiabilidade, credibilidade, universalidade e qualidade às medidas. Como as medições estão presentes, direta ou indiretamente, em praticamente todos os processos de tomada de decisão, a abrangência da metrologia é imensa, envolvendo a indústria, o comércio, a saúde, a segurança, a defesa e o meio ambiente (INMETRO).

Nas indústrias, os laboratórios de metrologia são uma das áreas mais importantes dentro de uma organização, uma vez que atuam como pilar fundamental na garantia da qualidade dos seus produtos, um fator importante tanto para quem fabrica, quanto para o próprio consumidor. Ter um processo metrológico padronizado de acordo com as normas vigentes significa que a indústria preza pela qualidade dos seus produtos e, conseqüentemente, dá uma visão diferenciada no mercado.

Nesse sentido, uma vez que os laboratórios de metrologia são essenciais para os sistemas de controle da qualidade, a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração) foi desenvolvida com o objetivo de promover a confiança na operação de laboratórios, garantindo que as condições ambientais não afetem adversamente a validade dos resultados, além da implementação de medidas como atividades de monitoria e controle da instalação que devem ser submetidas a análises críticas periodicamente, conforme a especificação e procedimentos pertinentes.

A norma NBR NM-ISSO 1:1997 (Temperatura padrão de referências para medições industriais de comprimento) além dos manuais de fabricantes dos equipamentos de medição padronizam uma temperatura de trabalho para esses equipamentos de 20°C, sendo normalmente tolerada uma variação mínima de 1°C para mais ou para menos além da umidade relativa do ar entre 50% e 70% . Caso a padronização de temperatura não seja seguida conforme o recomendado, considerando as dilatações nas escalas dos instrumentos de medição e nos produtos mensurados, ocorrerão incertezas nos resultados de medição obtidos, que afetarão a qualidade e a confiabilidade do produto. E caso a umidade relativa do ar não esteja submetida a padronização especificada em norma, principalmente se estiver acima do recomendado, ocorrerá a deterioração química nos materiais metálicos dos instrumentos de medição e dos produtos metálicos a serem dimensionados, gerando corrosão e oxidação dos equipamentos, que acabam por comprometer as suas funcionalidades resultando em prejuízos para a organização.

No presente artigo, será apresentado um estudo de caso sobre um laboratório de metrologia de uma empresa do pólo industrial de Manaus (PIM) de grande importância para a companhia. Sua importância se justifica no fato de que nesse laboratório são realizadas todas as análises dimensionais e avaliações de peças produzidas nos setores de montagem e desenvolvimento de novos modelos elaborados pelo setor de engenharia. Por conta dessa atuação global, esse laboratório necessita estar devidamente padronizado e de acordo com as normas vigentes para que garanta produtos de qualidade e confiabilidade, essenciais para os sistemas de controle da qualidade.

No entanto, o sistema de monitoramento de temperatura e umidade relativa do ar indicava que essas grandezas estavam apresentando variações no decorrer do dia, tanto de temperatura, de $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ como de umidade relativa do ar de $60\%\pm 10\%$, apresentando muitas das vezes valores fora da especificação, como ficou evidente na análise dos quadros e gráficos gerados a partir dos dados coletados durante esse trabalho.

Considerando que esse laboratório de metrologia atende toda a empresa, as conseqüências do funcionamento inadequado dessa instalação afetariam a via útil dos equipamentos de medição e a qualidade dos produtos ali dimensionados, além de prejudicar a companhia de maneira geral, gerando problemas de qualidade, graves riscos financeiros, perda de mercado, e até comprometendo a segurança dos seus clientes.

Por conta dessas variações detectadas pelo sistema de monitoramento, e as conseqüências que podem acarretar para a empresa, desde problemas de incertezas de medição até a confiabilidade do produto pelo cliente, foi necessário o desenvolvimento de um trabalho visando solucionar essas situações e padronizar esse laboratório de metrologia para que atenda as especificações e as competências técnicas exigidas pelas normas em vigor para esse tipo de ambientação.

2. OBJETIVO

Padronizar o laboratório de metrologia através da investigação, estudo e avaliação dos parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar estabelecidos para ambientes normatizados.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Transferência de Calor

Transferência de calor é a energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura no espaço. (INCROPERA, 2008). Segundo Hélio (2013), chama-se condução de calor a transferência de energia calorífica entre as partes adjacentes de um corpo ou de um corpo para o outro quando postos em contato, e de uma maneira geral, podemos dizer que o calor se transmite de três maneiras:

- por condução, quando existe contato direto entre os corpos ou entre as partes de um mesmo corpo, quando há diferença de temperatura.

- por convecção, quando passa de um corpo a outro por meio do fluido que os rodeia.

- por radiação, quando se transmite de um corpo a outro por meio de ondas, em linha reta e à velocidade da luz.

3.1.1 Transferência de Calor por Condução

Com a menção da palavra condução, devemos imediatamente visualizar conceitos das atividades atômicas e moleculares, pois são processos nesses níveis que mantém esse modo de transferência de calor, podendo ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido as interações entre partículas. (INCROPERA, 2008).

3.1.2 Transferência de Calor por Convecção

Usamos o termo convecção para descrever a transferência de energia entre uma superfície e um fluido em movimento sobre essa superfície. A convecção inclui transferência de energia pelo movimento global, ou macroscópico do fluido (advecção) e pelo movimento aleatório das moléculas do fluido (condução ou difusão). (INCROPERA, 2008).

A transferência de calor pode ser classificada de acordo com a natureza do escoamento do fluido, sendo chamada de convecção forçada quando o escoamento é causado por meios externos, como um ventilador ou uma bomba, ou quando é de ventos atmosféricos. Na convecção natural ou livre, o escoamento dos fluidos é induzido por forças de empuxo, originadas a partir de variações na densidade causadas por diferenças de temperatura no fluido. Na prática, podem ocorrer situações nas quais ambas as formas de convecção ocorrem simultaneamente, sendo chamada de convecção mista. (KREITH, 1981).

3.1.3 Transferência de Calor por radiação

A transferência de calor por radiação térmica não exige a presença de um meio material para se propagar, e é muito relevante em processos industriais de aquecimento, resfriamento e secagem, assim como em métodos de conversão de energia que envolvem a combustão de combustíveis fósseis e a radiação solar. A radiação térmica está associada a taxa de energia eletromagnética emitida pela matéria como resultado de uma temperatura não nula e que se propaga na velocidade da luz. (INCROPERA, 2008).

A radiação pode ser oriunda de uma fonte especial, tal como o sol. Uma porção ou toda irradiação pode ser absorvida pela superfície, aumentando dessa forma a energia térmica do material. (MILLER, 2008). Os átomos, moléculas ou elétrons quando excitados e acabam por retornar para os estados de menor energia, emitem energia na forma de radiação eletromagnética, e uma vez que essa emissão resulta de variações no estado eletrônico, rotacional e vibracional dos átomos e moléculas, a radiação emitida é distribuída sobre uma faixa de comprimentos de onda, com seus níveis energéticos específicos. (INCROPERA).

3.2 Carga Térmica

Segundo Creder (2013), carga térmica é a soma de todas as fontes de calor presentes em um determinado ambiente que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas. A carga térmica pode ser afetada por:

- Condução
- Pessoas
- Equipamentos
- Infiltração

3.3 Psicrometria

É o estudo sistemático das relações entre o ar seco e o vapor d'água presente, formando uma solução chamada de ar úmido. O ar atmosférico é composto de 21% de oxigênio, vapor d'água e 79% dos outros elementos. O ar seco contém todos os constituintes acima, exceto vapor d'água. Em psicrométrica chama-se ponto de orvalho, a temperatura abaixo da qual se inicia a condensação, à pressão constante, do vapor d'água contido no ar. A determinação do dew point não é muito precisa, e um método para identificar esse ponto baseia-se na temperatura de bulbo úmido. Essa temperatura é obtida cobrindo-se o termômetro com uma flanela molhada; a temperatura de equilíbrio é a temperatura de bulbo úmido. Uma ferramenta imprescindível na análise das misturas ar/vapor d'água é a Carta Psicrométrica. (CREDER, 2013).

3.4 Normas e legislações

NBR NM-ISO 1:1997 (Temperatura padrão de referência para medições industriais de comprimento): Norma que regulamenta a temperatura padrão de referencia para medições industriais de comprimento em 20°C.

ABNT NBR ISO/IEC 17025 (Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração): Documento desenvolvido com o objetivo de promover a confiança na operação de laboratórios, especificando os quesitos gerais para a competência, imparcialidade e operação consistente de laboratórios.

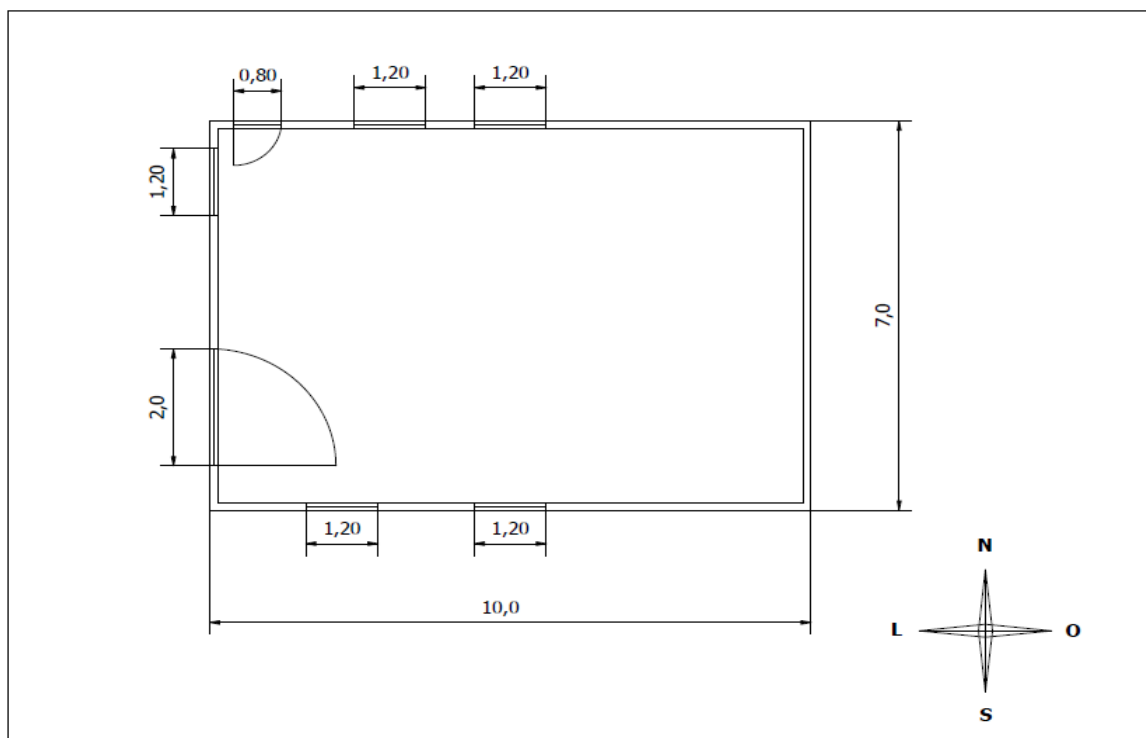
ABNT NBR 16401 (Instalações centrais ar condicionado – sistemas centrais e unitários projeto das instalações): Estabelece as bases fundamentais e os requisitos mínimos para a elaboração de projetos de instalações centrais e unitários, visando controlar simultaneamente a temperatura, umidade, a movimentação e a qualidade do ar de um ambiente.

4. METODOLOGIA

4.1 Descrição técnica

O local selecionado para o presente estudo é um laboratório de metrologia que está localizado em uma grande empresa do pólo industrial de Manaus, situada no Distrito Industrial, Estado do Amazonas. O laboratório está instalado no subsolo do prédio e possui uma área total de 70 m², medindo 7 m de comprimento por 10 m de largura. As paredes dos lados leste e sul separam o laboratório de uma ambientação interna climatizada. A parede norte dispõe de uma divisa com uma área de armazenamento de peças, também climatizada, e a parede do lado oeste é de encontro com o terreno do subsolo. A sala do laboratório possui 3 janelas externas de vidro transparente que medem 1,20 m x 1,00 m, 2 janelas internas também de vidro transparente que dão acesso à área de armazenamento de peças medindo 1,20 m x 1,00 m, uma porta de alumínio de 2,00 m x 2,10 m que dá acesso ao ambiente externo, e uma porta de madeira na parede interna de 0,80 m x 2,10 m. As paredes da instalação foram construídas com gesso acartonado, teto formado por laje de concreto com isolamento térmico (forro vegetal) e um piso construído com cimento.

Figura 1: Planta baixa do laboratório de metrologia.



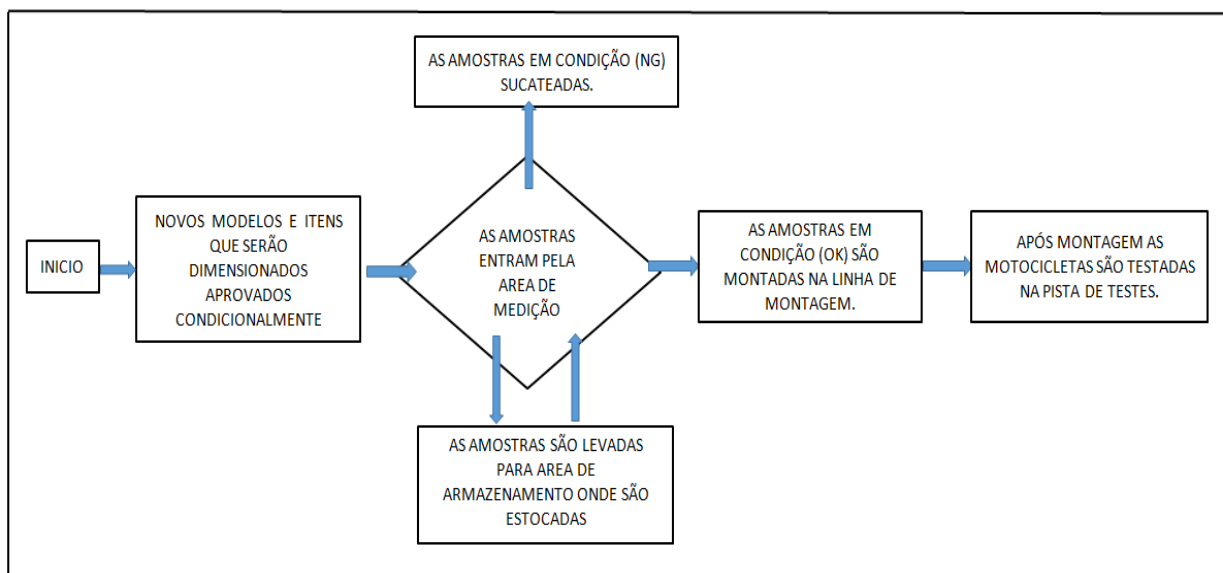
Fonte: Autores

Na área interna do laboratório de metrologia dimensional encontram-se alguns aparelhos eletrônicos e os equipamentos de medição, sendo eles 2 Tridimensional, 1 Contracer-rugosímetro, 1 Projetor de perfil, 1 Round Test, 6 Computadores de mesa e 1

Notebook, 1 Impressora, 1 Secador de ar, 36 luminárias de LED, além de 4 pessoas em atividades normais durante o expediente.

Para visualização e uma análise macro do método de inspeção que ocorre no laboratório de metrologia em estudo, acompanhe o fluxograma do procedimento de análise dimensional a seguir:

Figura 2: Fluxograma do procedimento de análise dimensional.



Fonte: Autores

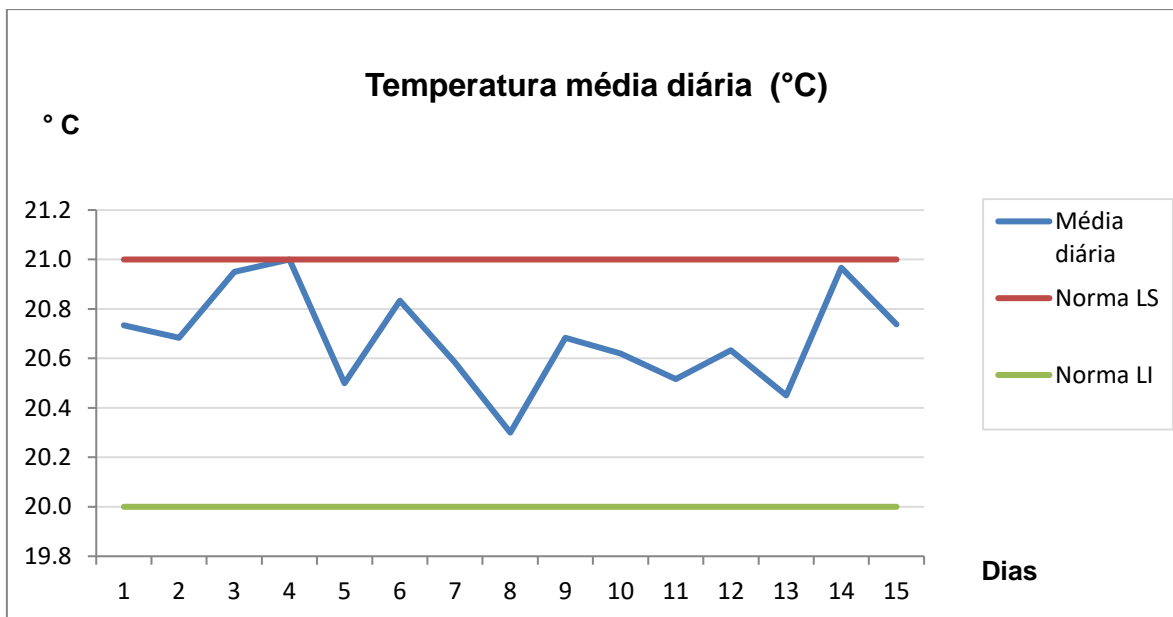
4.2 Coleta de dados

Em laboratórios de metrologia, alguns dos principais elementos que podem promover a falta de confiança nos resultados válidos devido a incertezas de medição, e redução na vida útil dos equipamentos de aferição ocasionando problemas de qualidade nos produtos, são a temperatura e a umidade relativa do ar fora do especificado.

Devido a essas condições, existem normas regulamentadoras responsáveis por esses controles, como a NBR NM-ISO 1:1997 (Temperatura padrão de referência para medições industriais de comprimento), além das especificações técnicas de fábrica listadas nos equipamentos para o seu correto funcionamento. Baseado nessas informações, a temperatura padrão de operação de um laboratório de metrologia definida por essa norma é de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, e umidade relativa do ar de $60\% \pm 10\%$.

Entretanto, de acordo com o levantamento de dados realizado com um termo-higrômetro no recinto por um período de quinze dias, foi constatado que o laboratório de metrologia não sustentava os parâmetros regulamentados de temperatura e umidade relativa do ar, como demonstram os dados levantados a seguir:

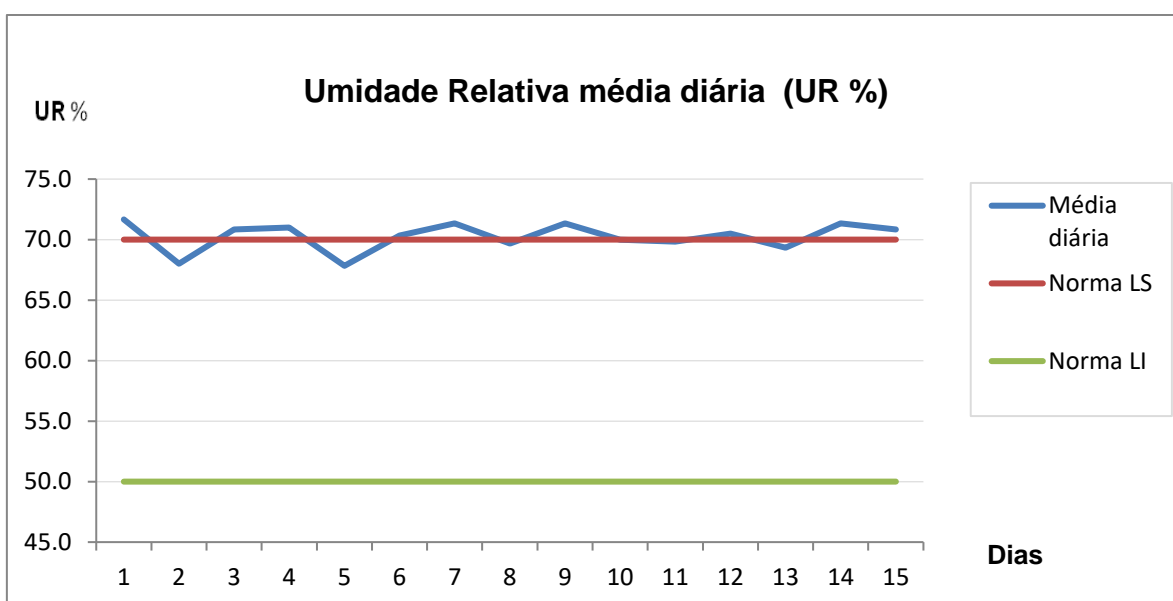
Gráfico 1: Variação da temperatura média diária.



Fonte: Autores

Analisando gráfico 1, podemos identificar que os valores de temperatura média diária, coletados durante os quinze dias estão representados dentro do limite superior (LS) e inferior (LI) especificados por normas. De acordo com essas informações, verificaram-se picos de temperatura em dias específicos e apesar dessas instabilidades pontuais, a média como um valor geral se manteve mais ou menos constante, sem desvios significativos mas no limite do regulamentado.

Gráfico 2: Variação da umidade relativa média diária.



Fonte: Autores

De acordo com o gráfico 2, é possível notar uma alta instabilidade nos valores de umidade relativa do ar, bem acima dos limites superior e inferior especificados por norma. A partir desses dados é possível visualizar de forma clara e objetiva essa alta variabilidade, chegando a acusar em alguns pontos valores de quase 73% de umidade relativa, ou já no limite superior exigido para operações em laboratórios.

4.3 Cálculo simplificado de carga térmica

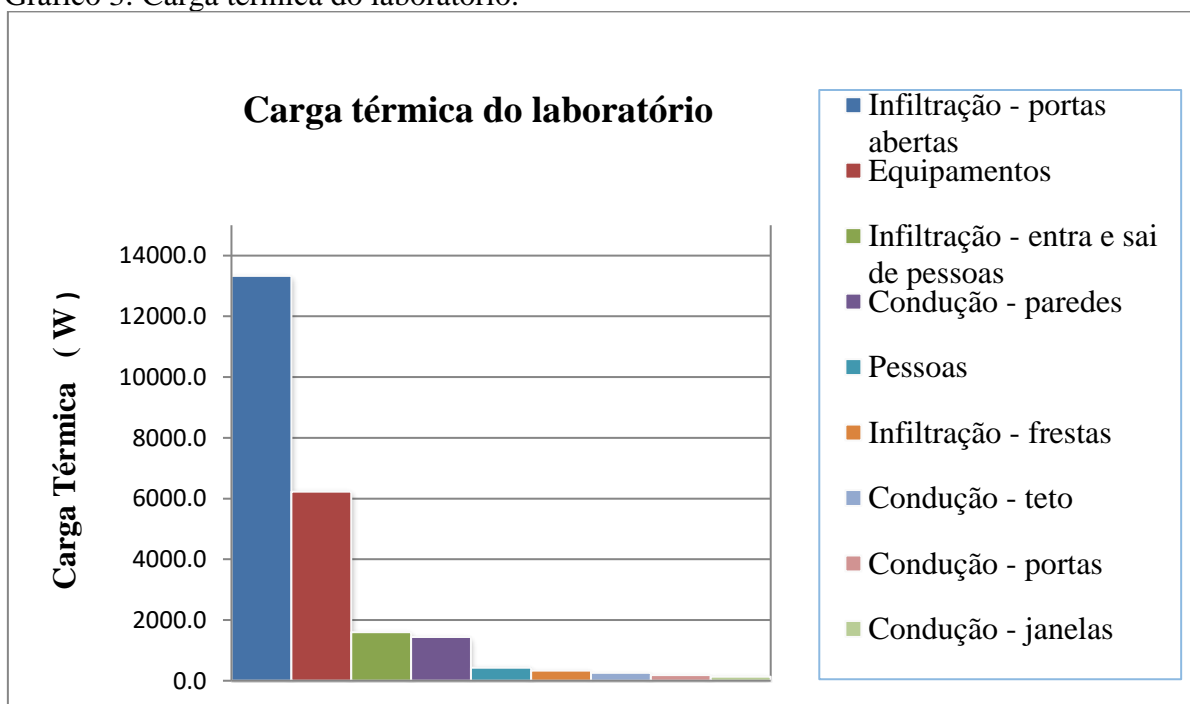
Através do cálculo de carga térmica realizado no laboratório, foi possível estratificar as potências frigoríficas descritos abaixo:

Quadro 1: Cálculo simplificado de carga térmica.

CARGA TÉRMICA DO LABORATÓRIO		W (Watt)	BTU/h
1º	Infiltração - portas abertas	13335,0	45500,9
2º	Equipamentos	6222,0	21230,3
3º	Infiltração - entra e sai de pessoas	1600,2	5460,1
4º	Condução - paredes	1436,4	4901,1
5º	Pessoas	428,0	1460,3
6º	Infiltração - frestas	332,6	1134,9
7º	Condução - teto	264,0	900,8
8º	Condução - portas	190,0	648,3
9º	Condução - janelas	131,9	450,2
CARGA TÉRMICA TOTAL		23940,1	81686,9

Fonte: Autores

Gráfico 3: Carga térmica do laboratório.



Fonte: Autores

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando a carga térmica total no laboratório de metrologia de acordo com o quadro 1, com taxas que ultrapassam 80.000 BTU/h, e considerando que existe um condicionador de ar de 60.000 BTU/h funcionando em regime constante no recinto, é relativamente simples identificar a causa dessas variações de temperatura e umidade relativa do ar. O laboratório nessas condições estava com o sistema de refrigeração subdimensionado e não poderia portanto, se adequar aos valores exigidos por normas uma vez que não possuía tal capacidade frigorífica. Outra situação a se destacar analisando o gráfico 3, é a alta taxa de emissão de carga através de infiltração por aberturas de portas, apresentando mais que o dobro da carga térmica emitida por equipamentos. Examinando essa última situação foi verificada uma falha nos procedimentos de recebimento de peças no laboratório. Essas peças comumente chegam ao laboratório estocadas em carros especiais e entram no recinto diretamente pela porta leste, demorando cerca de trinta minutos diários com portas abertas nessas operações de transição de ambiente externo para o ambiente interno e sempre no período matutino. Dessa forma, o excesso de umidade no período da manhã e o subdimensionamento do sistema de refrigeração do laboratório se justificam nessas atividades rotineiras que incrementavam altas taxas de carga térmica e umidade no ambiente metrológico.

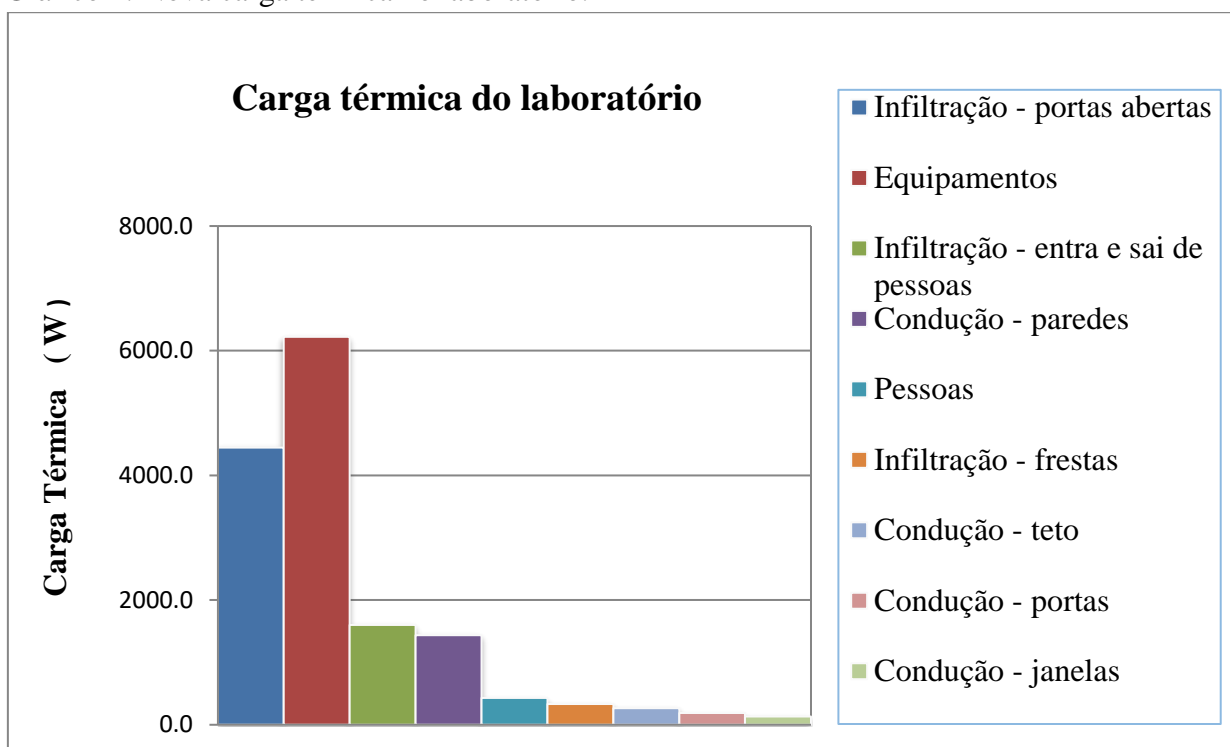
Com base nessa última análise, o grau de infiltração de ar exterior por portas abertas no recinto foi considerado o principal causador das instabilidades no recinto, sendo proposta uma solução prática de organização do trabalho no laboratório alterando o processo de recebimento de peças e racionalizando o fornecimento de lotes e peças pela porta leste, passando a serem integrados ao ambiente por meio da porta norte, considerando que o ambiente ao norte também é climatizado e adaptando ali um laboratório de armazenamento. Somente as peças de dimensões maiores que não entravam por esse laboratório de armazenamento entrariam diretamente pela porta leste, diminuindo dessa maneira o fluxo de entrada e saída de peças nessa área do laboratório. Apesar de simples, essa alteração teve impactos significativos na instabilidade do laboratório, como ficam demonstrados nos resultados a seguir:

Quadro 2: Novo cálculo de carga térmica.

CARGA TÉRMICA DO LABORATÓRIO		W (Watt)	BTU/h
1º	Infiltração - portas abertas	4445,0	15167,0
2º	Equipamentos	6222,0	21230,3
3º	Infiltração - entra e sai de pessoas	1600,2	5460,1
4º	Condução - paredes	1436,4	4901,1
5º	Pessoas	428,0	1460,3
6º	Infiltração - frestas	332,6	1134,9
7º	Condução - teto	264,0	900,8
8º	Condução - portas	190,0	648,3
9º	Condução - janelas	131,9	450,2
CARGA TÉRMICA TOTAL		15050,1	51352,9

Fonte: Autores

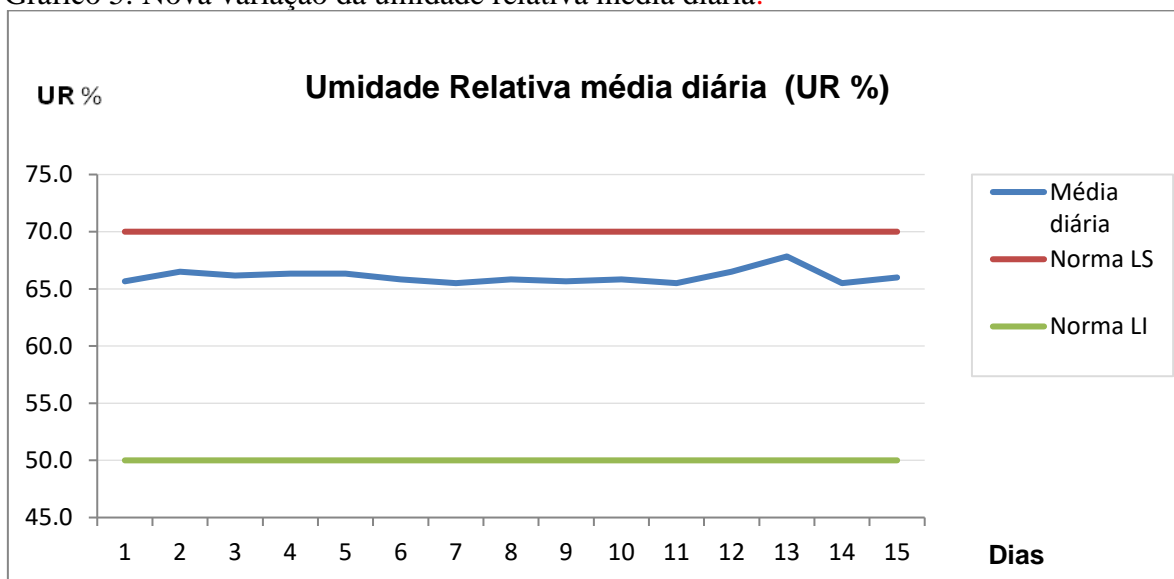
Gráfico 4: Nova carga térmica no laboratório.



Fonte: Autores

Quanto a umidade relativa do ar, considerando o processo psicrométrico que acontece durante o funcionamento do condicionador de resfriamento e desumidificação, temos o gráfico abaixo, demonstrando uma estabilização sem variações significativas dessa grandeza dentro do especificado por normas.

Gráfico 5: Nova variação da umidade relativa média diária.



Fonte: Autores

6. CONCLUSÃO

O sistema de refrigeração do laboratório de metrologia da empresa é monitorado por um aparelho termo-higrômetro onde constantemente aponta os valores de temperatura e umidade relativa do ar no ambiente. Segundo a norma NBR NM-ISO 1:1997, as condições para essas operações são temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, e umidade relativa do de $60\% \pm 10$, e caso esses parâmetros não sejam atendidos, ocasionam variações significativas nos resultados de medição, reduzem a vida útil dos equipamentos e não garantem a qualidade dos produtos mensurados.

O laboratório possui uma unidade de ar condicionado de 60.000 BTU/h funcionando em regime constante, e com base no calculo de carga térmica, que indicava 81.686,9 BTU/h, o sistema de refrigeração foi classificado como subdimensionado, não possuindo a capacidade frigorífica necessária para atender as especificações. Porém, fazendo uma análise mais detalhada dos fatores que contribuam na adição de carga térmica e umidade no laboratório, foi possível verificar que o grau de infiltração de ar exterior por portas abertas estava muito elevado. Com base nesse argumento, foi proposta uma solução visando a redução dessas taxas de carga térmica e umidade adicionadas ao recinto por infiltração através de uma organização do trabalho no laboratório, alterando os procedimentos de recebimento de produtos e racionalizando o fornecimento de lotes e peças no recinto.

Após a aplicação do plano de ação, examinando os resultados através do novo calculo de carga térmica e sua estratificação, além do monitoramento dos novos índices de umidade relativa do ar durante um período de quinze dias, foi possível concluir que a alteração dos procedimentos de recebimento de lotes e peças no laboratório teve efetividade. O novo cálculo de carga térmica resultou em uma potência frigorífica necessária de 51.352,9 BTU/h, valor que é perfeitamente atendido pelo condicionador de 60.000 BTU/h utilizado no local. A adição de carga térmica no laboratório através do alto grau de infiltração de ar exterior por portas abertas foi reduzida em 8.890,0 BTU/h, valor que representa uma redução de 66.6% de carga térmica por infiltração no recinto, resultados que foram atingidos apenas diminuindo o fluxo de entrada e saída de peças por essa área do laboratório. Quanto aos novos índices de umidade relativa do ar, considerando que antes da implantação do plano de melhoria não apresentavam valores adequados para um recinto de ambientação controlada, foi verificada a sua estabilização, com valores que atendem aos exigidos e especificados por normas e garantindo assim, que as condições ambientais não afetem adversamente a validade dos resultados e dos parâmetros necessários para o reconhecimento das operações e competência técnica desse laboratório de metrologia.

7. REFERÊNCIAS BIOGRÁFICAS

ABNT NBR 16401, **Instalações centrais de ar condicionado para conforto**, Parâmetros básicos de projeto, 1980.

ABNT NBR ISO/IEC 17025, **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração**, 2005.

ABNT NBR NM ISSO 1:1997, **Temperatura padrão de referencia para medições industriais de comprimento**, 1997.

MILLER, M.R. **Refrigeração e ar condicionado**. Rio de Janeiro: LTC 2008.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. 6°ed. Rio de Janeiro: LTC 2013.

NAVY, U.S. **Refrigeração e Condicionamento de Ar**. 1°ed. São Paulo: Hemus, 2004.

WILLIAM C. W.; WILLIAM M. J.; JONH, A.T; EUGENE,S. **Tecnologia de Refrigeração e Ar Condicionado**. 6°ed. Santa Fé: Cengage Learning, 2009.

INCROPERA, P. F.; DEWITT P. D.; BERGMAN L.T.; LAVINE A. S;**Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6°ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CRUZ, R.W. **Psicrometria e Processos de Ar** Cap. 2, 2013.

M. RAPIN. **Manual do Frio**. 8°ed. Rio de Janeiro: LTC 2012.

STOECKER, W.F.; SAIZ JABARDO, J.M. **Refrigeração Industrial**. 2°ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002

SILVA, J.G. **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. 2°ed. São Paulo: Artliber, 2003.