

**ISABELLA BOLOGNA SALOMÃO
RENATO DE OLIVEIRA FREITAS**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS
ELETRÔNICOS PARA MONITORAMENTO DE
QUALIDADE E CONFORTO EM AMBIENTES
EMPRESARIAIS**

São Paulo
2020

**ISABELLA BOLOGNA SALOMÃO
RENATO DE OLIVEIRA FREITAS**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS
ELETRÔNICOS PARA MONITORAMENTO DE
QUALIDADE E CONFORTO EM AMBIENTES
EMPRESARIAIS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para ob-
tenção do Título de Engenheiro Eletricista
com ênfase em Eletrônica e Sistemas.

São Paulo
2020

**ISABELLA BOLOGNA SALOMÃO
RENATO DE OLIVEIRA FREITAS**

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS
ELETRÔNICOS PARA MONITORAMENTO DE
QUALIDADE E CONFORTO EM AMBIENTES
EMPRESARIAIS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para ob-
tenção do Título de Engenheiro Eletricista
com ênfase em Eletrônica e Sistemas.

Orientador:

Prof. Dr. Gustavo P. Rehder

Prof.^a Dra. Cíntia Borges Margi

São Paulo
2020

RESUMO

Soluções para o monitoramento de parâmetros que remetem à qualidade e conforto de ambientes internos vêm se tornando interessantes, dado o aumento no tempo que pessoas passam nesse tipo de ambiente, como escritórios. A partir da coleta desses dados, é possível adotar medidas para tornar o local estudado mais saudável e confortável para as pessoas ali presentes. O objetivo desse trabalho é desenvolver uma rede de dispositivos eletrônicos *Open Source* capaz de monitorar escritórios fechados, realizando a medição através de sensores de dados referentes à qualidade do ar, temperatura, luminosidade e ruído, e coletando a opinião das pessoas sobre sua sensação de conforto no ambiente, para apresentar relatórios sobre o local em uma plataforma a fim de tomar ações para garantir o conforto de seus ocupantes.

Palavras-Chave – Internet of Things, Conforto Térmico, Conforto Acústico, Conforto Luminoso, Qualidade do Ar, Wireless Sensor Network, Green Buildings, Smart Office.

SUMÁRIO

Parte I: INTRODUÇÃO	4
1 Declaração da Necessidade	5
2 Descrição do Problema	7
3 Árvore de Objetivos	8
Parte II: CONFORTO EM AMBIENTES FECHADOS	9
4 Indicadores de Qualidade e Conforto	10
4.1 Regulamentações e Normas	10
4.2 Conforto Visual	11
4.3 Qualidade do Ar	11
4.3.1 CO2	12
4.3.2 VOC	12
5 Benchmark	13
Referências	15

PARTE I

INTRODUÇÃO

1 DECLARAÇÃO DA NECESSIDADE

Com o aumento do tempo que as pessoas passam em ambientes fechados, como escritórios, há também, nos últimos anos, um crescente interesse em monitorar e controlar esses ambientes, garantindo não só uma melhora na saúde e conforto para as pessoas, mas também um aumento na sua produtividade, sendo possível até mesmo um controle que atue de maneira energeticamente sustentável. Espaços que implementam essas soluções são comumente chamados de prédios inteligentes (*smart buildings*, do inglês), e dentro do contexto sustentável, essa automação é importante para os *green buildings* (em português, construções sustentáveis) [16] [23].

Não apenas o monitoramento dos ambientes, mas torna-se necessário, no desenvolvimento de construções sustentáveis, que seja pensado na automação dos edifícios desde o projeto e sua concepção, ocorrendo de forma integrada à construção civil, já que uma pesquisa mais aprofundada no conforto dos ambientes pode interferir no projeto, sendo repensados materiais utilizados, assim como sistemas de aquecimento, ventilação, iluminação, dentre outros.

Foi com essa necessidade e a proposta de desenvolver um dispositivo eletrônico que o professor Vanderley M. John, do departamento de Construção Civil da Poli (PCC) e coordenador do CICS (Centro de Inovação em Construção Sustentável da USP) [6], entrou em contato. A ideia é que seja desenvolvido um dispositivo capaz de fazer medições de parâmetros relacionados ao conforto nos ambientes internos de uma construção, coletando também a opinião das pessoas ali presentes acerca de seu bem-estar, para assim saber o real impacto dos indicadores de conforto. Além disso, é importante que os dispositivos possam estar integrados a uma central, que possa analisar e monitorar todo o ambiente.

Assim, a construção de uma rede de dispositivos sensoreados tem, além de uma aplicação prática monitorando a qualidade para as pessoas, também grande utilidade em pesquisas de construção civil e arquitetura, com medições mais precisas e incluindo um elemento muitas vezes deixado de lado: o fator humano.

Em edifícios, escritórios são hoje os que ocupam a maior área física e tem o maior consumo de energia, sendo sistemas de iluminação, aquecimento e resfriamento (como ar condicionados) os principais causadores do alto consumo [23]. Por isso, escritórios são o nicho escolhido para a implementação dessa rede de dispositivos, podendo ser testada nas salas do departamento de Construção Civil ou do CICS.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O conforto e a qualidade em ambientes internos são determinados através de quatro principais indicadores: **térmico, acústico, luminoso e olfativo/qualidade do ar** [4].

Para que seja possível monitorar esses indicadores, é necessário medirmos diversos dados a respeito do ambiente em questão:

- Térmico: temperatura ambiente e umidade relativa
- Acústico: ruído ambiente
- Luminoso: intensidade e temperatura da luz incidente
- Qualidade do ar (e Olfativo): CO₂ e VOC (*volatile organic compounds*)

Não apenas esses elementos são importantes, mas também a combinação deles afeta a percepção de conforto pelas pessoas [18]. Assim, faz-se mais necessário que haja uma medição completa dos elementos presentes no ambiente a ser estudado. Além disso, é interessante que essas medições estejam atreladas a opinião das pessoas a respeito do ambiente, sabendo se estão confortáveis, sendo necessário um sistema que possa coletar um *feedback* das pessoas no escritório.

Todos os dados coletados, tanto das variáveis do ambiente quanto a opinião das pessoas, precisam ser salvos e disponibilizados para análise. Assim, será necessária a existência de conectividade nos dispositivos, junto de uma plataforma em nuvem com um banco de dados e uma interface visual para que seja feita essa análise.

3 ÁRVORE DE OBJETIVOS

A árvore de objetivos é uma representação gráfica dos meios necessários, chamados objetivos específicos, para alcançar o objetivo geral do projeto. Para atingir o objetivo geral do projeto, que é a realização de uma rede de dispositivos para monitorar ambientes, foram enunciados três objetivos específicos, mostrados na figura 1, com a porcentagem de dedicação ao lado de cada um.

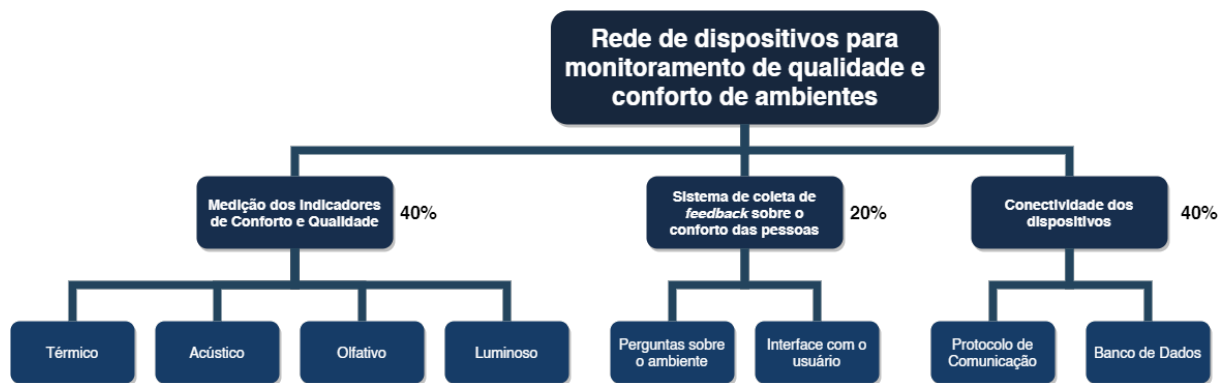


Figura 1: Árvore de objetivos do projeto

PARTE II

CONFORTO EM AMBIENTES FECHADOS

4 INDICADORES DE QUALIDADE E CONFORTO

Como qualidade e conforto são termos subjetivos, vamos tratar aqui como "qualidade do ambiente" as condições recomendadas por normas e pesquisas, para os quatro indicadores. Isto é, será considerado um ambiente de boa qualidade o que atender às faixas de operação pré-determinadas, funcionando como um aviso para o ocupante caso as medidas indiquem que os parâmetros do ambiente estão fora do recomendado.

Já o conforto será atrelado à percepção do usuário quanto ao ambiente. Apesar de o ambiente ser considerado saudável ou de qualidade, existem muitos fatores que afetam a sensação das pessoas, de forma que apenas a definição de uma faixa de operação não implica em bem-estar.

4.1 Regulamentações e Normas

A legislação brasileira determina os valores máximos e mínimos dos indicadores de conforto no ambiente para que haja boas condições de trabalho:

NR17 do Ministério do Trabalho [7]

17.5. Condições ambientais de trabalho.

17.5.2. Nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, tais como: salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, são recomendadas as seguintes condições de conforto:

- a) níveis de ruído de acordo com o estabelecido na NBR 10152, norma brasileira registrada no INMETRO;
- b) índice de temperatura efetiva entre 20oC (vinte) e 23oC (vinte e três graus centígrados);

[...]

- d) umidade relativa do ar não inferior a 40 (quarenta) por cento.

17.5.2.1. Para as atividades que possuam as características definidas no subitem 17.5.2, mas não apresentam equivalência ou correlação com aquelas relacionadas na NBR 10152, o nível de ruído aceitável para efeito de conforto será de até 65 dB (A)

[...]

17.5.3.3. Os níveis mínimos de iluminamento a serem observados nos locais de trabalho são os valores de iluminâncias estabelecidos na NBR 5413, norma brasileira registrada no INMETRO.

NBR 10152 [2] para Escritórios

Salas de reunião: 30 - 40 dB(A)

Salas de gerência, Salas de projetos e de administração: 35 - 45 dB(A)

Salas de computadores: 45 - 65 dB(A)

Salas de mecanografia: 50 - 60 dB(A)

NBR 5413 [3]

Para escritórios: 500 - 750 - 1000 lux

4.2 Conforto Visual

Além da **intensidade da luz incidente**, cujos níveis são estabelecida na legislação, a **temperatura da cor** da luz incidente também tem grande relevância. A muitos anos sabe-se que a luz azul emitida, de maior temperatura, causa danos à retina [15].

Assim, temperatura é um parâmetro importante para a qualidade do ambiente, muitas vezes deixado de lado, e assim como na saúde, afeta diretamente o conforto e a atenção das pessoas, como visto em [10]:

- Conforto, luz natural: 3000K - 6000K
- Concentração: acima de 5300K

4.3 Qualidade do Ar

Não há, na legislação brasileira, informações sobre a qualidade do ar. Isto é, concentrações de CO₂ e VOC.

A norma a seguir fala a margem esperada, mas também sem recomendações de operação.

ISO 16017-2:2003

is applicable to the measurement of airborne vapours of VOCs in a concentration range of approximately 0,002 mg/m³ to 100 mg/m³ individual organic for an exposure time of 8 h

Por conta disso, vamos nos basear em estudos que tentam relacionar as concentrações de CO₂ e de VOC com efeitos na saúde e produtividade das pessoas.

4.3.1 CO₂

Segundo [1], o CO₂ apresenta concentrações mais altas em ambientes fechados, esperando-se entre 700 e 2000 ppm, em comparação a cerca de 400ppm em ambientes abertos em áreas urbanas [8].

O CO₂, além de ser um gás asfixiante e perigoso em altas concentrações (acima de 40000ppm), também pode afetar a saúde quando em níveis moderados (abaixo de 2000ppm). De acordo com o *Winsconsin Department of Health Services* [21], são os efeitos causados na saúde:

- 250-400ppm: Normal, concentração ambientes abertos
- 400-1,000ppm: concentração típica em lugares fechados com pessoas, com boa circulação de ar
- 1,000-2,000ppm: pode causar cansaço e falta de ar
- 2,000-5,000 ppm: dores de cabeça, sonolência, e falta de ar mais intensa. Baixa concentração, perda de atenção, aumento da frequência cardíaca, e náusea
- 40,000 ppm: Pode causar séria insuficiência respiratória, danos permanentes ao cérebro, coma e até a morte

4.3.2 VOC

Compostos orgânicos voláteis, ou VOC (do inglês, *Volatile organic compounds*, são partículas que ficam suspensas no ar, podendo vir de produtos (sintéticos ou naturais) utilizados no ambiente, como tintas, solventes, produtos de limpeza, perfumes que podem causar odor perceptível pelo ser humano [1].

A concentração esperada é entre 0.2 e 0.5 mg/m³, e mesmo que nem todos os compostos presentes no ar sejam nocivos à saúde, por precaução é recomendado que estes sigam: [13]

TVOC Level [mg/m ³]	Level of Concern
Less than 0.3 mg/m ³	Low
0.3 to 0.5 mg/m ³	Acceptable
0.5 to 1 mg/m ³	Marginal
1 to 3 mg/m ³	High

5 BENCHMARK

A tabela a seguir mostra algumas das principais soluções encontradas no mercado para monitoramento de ambientes fechados:

Projeto	Térmico	Luminoso	Acústico	Ar	Conectividade
Metriful Sense [19]	Temperatura, Umidade, Pressão	Intensidade	Nível, Frequência	VOC	
CoMoS [22]	Temperatura, Umidade, Veloc Ar	Intensidade			Wifi, SW Web
HC tech [14]	Temperatura, Umidade	Intensidade			Sigfox, SW Web
ECOMLITE [9]	Temperatura, Umidade, Pressão		Nível	CO ₂ , VOC, CO, NO ₂	Wi-fi, Zigbee, Ethernet, SW Web
Netatmo [20]	Temperatura, Umidade,		Nível	CO ₂	Wi-fi, App
Senlab O [17]	Temperatura, Umidade	Intensidade			LoRa
Comfort Click [5]	Temperatura, Umidade		Nível		Wi-fi, App
Multi Comfort [11]	Sim*	Sim*	Sim*	Sim*	Sim*
MC350 [12]	Sim*	Sim*	Sim*		Bluetooth, App

(*) Solução não detalhada pela construtora, integrado

Como pode ser visto na tabela, as soluções focam principalmente no conforto térmico, atendendo em sua maioria apenas dois ou três dos indicadores de conforto e qualidade.

Conforto luminoso é apenas medida a intensidade da luz e não a temperatura

A nossa proposta é desenvolver um dispositivo que monitore de forma completa a qualidade e o conforto do ambiente, atendendo a todos os indicadores, e

A conectividade do dispositivo também é um diferencial na proposta, apesar de a maioria dos dispositivos existentes hoje possuir alguma forma de conexão - no geral conexão com a internet por Wi-fi ou através de um aplicativo no smartphone, por bluetooth - os protocolos são fechados, o que dificulta a integração com outros dispositivos.

projeto Open Source

REFERÊNCIAS

- [1] A.P. Jones. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, 33:4525–4564, 1999.
- [2] Associação brasileira de normas técnicas. NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico, 1987.
- [3] Associação brasileira de normas técnicas. NBR 5413: Iluminância de interiores, 1992.
- [4] L. Ciabattoni, F. Ferracuti, G. Ippoliti, S. Longhi, and G. Turri. Iot based indoor personal comfort levels monitoring. *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pages 125–126, 2016.
- [5] Comfort Click. Office: Smart buildings.
- [6] Centro de Inovação em Construção Sustentável da USP. CICS website (<http://cics.prp.usp.br/>).
- [7] Ministério do Trabalho. NR17: Ergonomia, 2018.
- [8] Co2 Earth. Daily co2.
- [9] ENTECH. ECOMLITE monitoring indoor comfort.
- [10] Q. Gao, K. Zhang, and D. Li. Research on visual comfort based on fuzzy neural network. pages 884–888, 2018.
- [11] Saint Gobain. Multi comfort.
- [12] Saint Gobain. Multicomfort 350.
- [13] Tecam Group. What are acceptable voc levels in the air.
- [14] HC Technologies. Retail space comfort monitoring.
- [15] J. O’SHEGAN, M. Khazova and L. Price. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye*, 30:230–233, 2016.
- [16] A. Kumar and G. P. Hancke. An energy-efficient smart comfort sensing system based on the iec 60335 standard for green buildings. *IEEE Sensors Journal*, 14(12):4245–4252, 2014.
- [17] Sensin Labs. Senlab O: Indoor comfort and occupancy monitoring.
- [18] Li Huang, Yingxin Zhu, Qin Ouyang, Bin Cao. A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices. *Building and environment*, 49:304–309, 2012.

- [19] Metriful. Metriful sense.
- [20] netatmo. Smart indoor air quality monitor.
- [21] Winsconsin Department of Health Services. Carbon dioxide.
- [22] Living Lab smart office space. CoMoS comfort monitoring station.
- [23] Tuan Anh Nguyen and Marco Aiello. Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Buildings*, 56:244–257, 2013.