

**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.

Orientador:

Prof. Dr. Gustavo P. Rehder

Prof.^a Dra. Cíntia Borges Margi

São Paulo
2020

RESUMO

Resumo...

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 INTERNOS	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
5 Benchmark	13
Referências	14

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 por monitorar esses ambientes, garantindo não só saúde e conforto para as pessoas, mas também sua produtividade, podendo até mesmo atuar de maneira energeticamente sustentável. Esses espaços 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) [9] [11].

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. Isto ocorre pois com 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) [5], 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, 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 [11]. Por isso, escritórios são o nicho escolhido para o desenvolvimento 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 é determinado através de quatro principais indicadores: **térmico, acústico, luminoso e olfativo/qualidade do ar** [4].

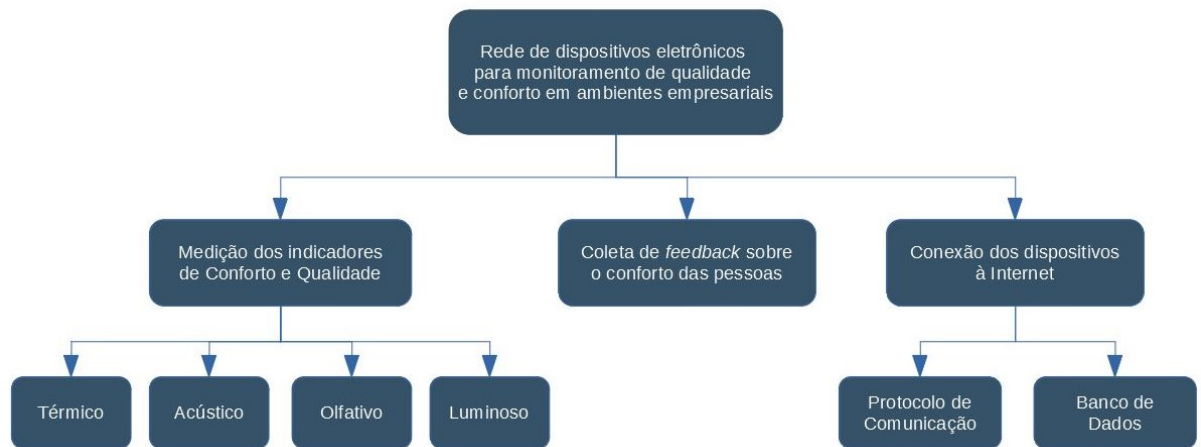
A fim de conseguirmos monitorar esses indicadores, é necessário medirmos diversos dados a respeito do ambiente a ser estudado:

- 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 [10]. Assim, faz-se mais necessário que haja uma medição completa dos elementos presentes no ambiente a ser estudado. Mas também 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, e uma plataforma na nuvem com um banco de dados e uma interface visual para que seja feita essa análise.

3 ÁRVORE DE OBJETIVOS



PARTE II

CONFORTO EM AMBIENTES INTERNOS

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 [6]

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 [8].

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 [7]:

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

4.3 Qualidade do Ar

Alguns outros índices, como VOC e CO₂ não são descritos na legislação.

CO₂, além de ser um gás asfixiante, perigoso em altas concentrações, também pode afetar quando em níveis moderados, na faixa de XX a XX

Segundo [1]: - Afeta a respiração acima de 15000 ppm - Em ambientes fechados, espera-se: 700 - 2000 ppm

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. Apesar de nem todos os compostos presentes no ar serem nocivos à saúde, por precaução é recomendado que eles estejam abaixo de XX [1].

Segundo [1]: - Mean concentration 200 – 500 ug / m³ -

5 BENCHMARK

As soluções existentes hoje no mercado focam principalmente no conforto térmico ou na qualidade do ar, em sua maioria atendendo apenas dois dos indicadores de conforto apresentados. A nossa proposta é desenvolver um dispositivo que monitore de forma completa a qualidade e o conforto do ambiente, atendendo tanto aos requisitos mais comuns quanto os que não existem tanto

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 dos dispositivos existentes hoje entre si, com difícil escalabilidade para que seja possível ter uma integração no ambiente empresarial.

Com um projeto Open Source, será possível não só

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] Centro de Inovação em Construção Sustentável da USP. CICS website (<http://cics.prp.usp.br/>).
- [6] Ministério do Trabalho. NR17: Ergonomia, 2018.
- [7] Q. Gao, K. Zhang, and D. Li. Research on visual comfort based on fuzzy neural network. pages 884–888, 2018.
- [8] J. O’SHEGAN, M. Khazova and L. Price. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye*, 30:230–233, 2016.
- [9] A. Kumar and G. P. Hancke. An energy-efficient smart comfort sensing system based on the iee 1451 standard for green buildings. *IEEE Sensors Journal*, 14(12):4245–4252, 2014.
- [10] 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.
- [11] Tuan Anh Nguyen and Marco Aiello. Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Buildings*, 56:244–257, 2013.