

**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

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	16

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) [1] [2].

Não apenas o monitoramento dos ambientes, mas torna-se necessário, no desenvolvimento de construções inteligentes, 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 nas decisões sobre o 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)[3], 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[2]. 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 [5]. 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.

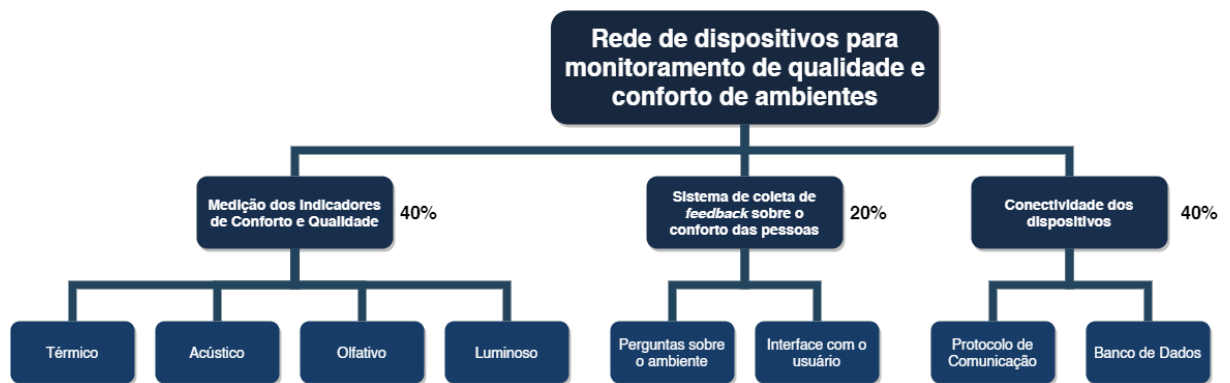


Figura 1: Árvore de objetivos do projeto

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 [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 [7] 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 [8]

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 [9].

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 [11], 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[12].

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*[13], 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[11].

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: [14]

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
Multi comfort [15]	Sim*	Sim*	Sim*	Sim*	Sim*
MC350[16]	Sim*	Sim*	Sim*		Bluetooth, App
Metriful Sense[17]	Temperatura, Umidade, Pressão	Intensidade	Volume, Frequência	VOC	
CoMoS[18]	Temperatura, Umidade, Veloc Ar	Intensidade			Wifi, SW Web
HC tech[19]	Temperatura, Umidade	Intensidade			Sigfox, SW Web
ECOMLITE [20]	Temperatura, Umidade, Pressão		Volume	CO ₂ , VOC, CO, NO ₂	Wi-fi, Zigbee, Ethernet, SW Web
Netatmo[21]	Temperatura, Umidade,		Volume	CO ₂	Wi-fi, App
Senlab O[22]	Temperatura, Umidade	Intensidade			LoRa
Comfort Click[23]	Temperatura, Umidade		Volume		Wi-fi, App

(*) Solução não detalhada pela construtora

Ao observar as soluções existentes no mercado, é possível ver que a maioria atende a

apenas alguns dos indicadores.

Multi Comfort [15], a solução mais completa encontrada, trata-se de uma sistema desenvolvido pela construtora Saint-Gobain de forma integrada à construção do edifício. Como apresentado pelo prof. Vanderley (PCC), o monitoramento e automação na construção civil vem crescendo nos últimos anos, de forma que soluções desse tipo tendem a tornar-se mais comuns. Apesar de atender aos 4 indicadores de qualidade e conforto, essa solução não apresenta detalhes sobre as medições que são feitas, quais os elementos medidos ou a precisão dessas medições, assim como sobre a sua conectividade. Também apresenta grande dificuldade para integração em um ambiente já construído. Nesse contexto, é introduzido o equipamento MC350[16] - da mesma empresa -, mas que não atende mais a todos os indicadores.

Em seguida, temos o Metriful Sense [17], que também atende a todos os indicadores de conforto, que é um produto novo em *crowdfunding*. Diferentemente das demais, esse não é um dispositivo completo, mas uma plataforma de sensores projetada para o monitoramento de ambientes, que necessita de uma interface com outro processador e possivelmente com um módulo *wireless* para que haja conexão com uma plataforma de análise.

Os demais produtos atendem em média apenas dois dos indicadores de conforto, sendo apenas o conforto térmico presente em todos. O conforto luminoso, quando presente, é atendido de forma superficial, sendo medida apenas a intensidade da luz e não a temperatura, que é um elemento importante na sensação de conforto [10]. Já no monitoramento da qualidade do ar, apenas uma das soluções [20] (cuja especificação está disponível) mede ao menos os dois principais elementos indicadores [11].

Vemos, assim, que nenhum dos produtos existentes no mercado atende a todos os requisitos levantados para a nossa aplicação. A proposta aqui é o desenvolvimento de um dispositivo que monitore a qualidade e o conforto do ambiente atendendo a todos os indicadores apresentados de forma completa, e com uma medição mais aprofundada em conforto luminoso e qualidade do ar que os projetos comparados.

Além disso, nenhuma das soluções encontradas envolve diretamente a opinião das pessoas frequentando o ambiente na análise dos seus dados, apenas no controle do ambiente quando esse não atende os requisitos de qualidade ou de conforto.

Vale destacar, por fim, que na maioria dos casos essas soluções são fechadas, com protocolos que dificultam a integração dos dispositivos com outros que possam complementá-los em seu funcionamento, ou de forma que seja possível uma centralização da

análise dos dados coletados. Desenvolvendo um projeto *open-source* e com protocolos padrão de comunicação sem fio, isso deixa de ser um problema.

REFERÊNCIAS

- 1 Kumar, A.; Hancke, G. P. An energy-efficient smart comfort sensing system based on the iee 1451 standard for green buildings. *IEEE Sensors Journal*, v. 14, n. 12, p. 4245–4252, 2014.
- 2 Tuan Anh Nguyen and Marco Aiello. Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Buildings*, v. 56, p. 244–257, 2013.
- 3 CICS website (<http://cics.prp.usp.br/>). Disponível em: <http://cics.prp.usp.br/>.
- 4 Ciabattoni, L. et al. Iot based indoor personal comfort levels monitoring. *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, p. 125–126, 2016.
- 5 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*, v. 49, p. 304–309, 2012.
- 6 NR17. *Ergonomia*. [S.l.], 2018. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-17.pdf.
- 7 NBR10152. *Níveis de ruído para conforto acústico*. [S.l.], 1987. Disponível em: http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2015/02/NBR_10152-1987-Conforto-Ac_stico.pdf.
- 8 NBR5413. *Iluminância de Interiores*. [S.l.], 1992. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM802/NBR5413.pdf>.
- 9 J. O’S Hagan, M. Khazova and L. Price. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye*, v. 30, p. 230–233, 2016.
- 10 Gao, Q.; Zhang, K.; Li, D. Research on visual comfort based on fuzzy neural network. p. 884–888, 2018.
- 11 A.P. Jones. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, v. 33, p. 4525–4564, 1999.
- 12 EARTH, C. *Daily CO2*. Disponível em: <https://www.co2.earth/daily-co2>.
- 13 CARBON Dioxide. Disponível em: <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/carbondioxide.htm>.
- 14 GROUP, T. *What are acceptable VOC levels in the air*. Disponível em: <https://www.tecamgroup.com/acceptable-voc-levels/>.
- 15 GOBAIN, S. *MULTI COMFORT*. Disponível em: <https://multicomfort.saint-gobain.com/>.

- 16 GOBAIN, S. *MultiComfort 350*. Disponível em: [⟨https://www.saint-gobain.com.br/mc350⟩](https://www.saint-gobain.com.br/mc350).
- 17 METRIFUL. *Metriful Sense*. Disponível em: [⟨https://www.metriful.com/⟩](https://www.metriful.com/).
- 18 SPACE, L. L. smart office. *CoMoS Comfort Monitoring Station*. Disponível em: [⟨http://www.livinglab-smartofficespace.com/en/research/heat-and-thermal-comfort/detail/comos-comfort-monitoring-station/⟩](http://www.livinglab-smartofficespace.com/en/research/heat-and-thermal-comfort/detail/comos-comfort-monitoring-station/).
- 19 HC Technologies. *RETAIL SPACE COMFORT MONITORING*. Disponível em: [⟨https://www.hc-technologies.com/retail-iot-solutions/store-ambient-comfort-monitoring⟩](https://www.hc-technologies.com/retail-iot-solutions/store-ambient-comfort-monitoring).
- 20 ENTECH. *ECOMLITE monitoring indoor comfort*. Disponível em: [⟨https://www.entech.co.th/product/ecomlite/⟩](https://www.entech.co.th/product/ecomlite/).
- 21 NETATMO. *Smart Indoor Air Quality Monitor*. Disponível em: [⟨https://www.netatmo.com/el-gr/aircare/homecoach⟩](https://www.netatmo.com/el-gr/aircare/homecoach).
- 22 LABS, S. *Senlab O: Indoor Comfort and occupancy monitoring*. Disponível em: [⟨https://sensing-labs.com/portfolio-item/21334/⟩](https://sensing-labs.com/portfolio-item/21334/).
- 23 CLICK, C. *Office: Smart Buildings*. Disponível em: [⟨https://www.comfortclick.com/SmartBuilding/Solutions/Office⟩](https://www.comfortclick.com/SmartBuilding/Solutions/Office).