

**Universidade Federal de Santa Catarina**

**Ciências da Computação**

**Sistema de Redes de Sensores Sem Fio para Controle da Qualidade  
de Ar em Escritórios Climatizados**

**LEONARDO FIN**

**Florianópolis**

**2014**

**LEONARDO FIN**

**Sistema de Redes de Sensores Sem Fio para Controle da Qualidade de Ar em  
Escritórios Climatizados**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências da Computação da Universidade  
Feredal de Santa Catarina.

---

Orientador(a): Antônio Augusto Medeiros Fröhlich

---

Coorientador(a): Arliones Hoeller Jr.

Banca examinadora:

---

Rafael Luiz Cancian

---

Rodrigo Steiner

**Florianópolis**

**2014**

**LEONARDO FIN**

**Sistema de Redes de Sensores Sem Fio para Controle da Qualidade  
de Ar em Escritórios Climatizados**

Monografia apresentada como exigência  
para obtenção do grau de Bacharelado  
em Ciências da Computação da  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Antônio Augusto Medeiros  
Fröhlich  
Coorientador: Arliones Hoeller Jr.

**Florianópolis**

**2014**

*“Há três métodos para ganhar sabedoria: primeiro, por reflexão, que é o mais nobre; segundo, por imitação, que é o mais fácil; e terceiro, por experiência, que é o mais amargo. ”*

**Confúcio.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda a minha família, namorada, amigos, colegas, a todos do LISHA, ao pessoal do Tarrafa Hacker Clube. Obrigado por todo o apoio, paciência, auxílio, palavras de incentivo de todas as inúmeras formas que me foram dados.

Todos tiveram participação fundamental neste trabalho.

Dedico este trabalho a minha mãe, Iolanda Rosalina Villas Bôas Fin.

## RESUMO

Em um ambiente de trabalho observam-se cada vez mais condicionadores de ar para manter a climatização equilibrada. A crise energética da década de 70 impulsionou a construção de edifícios selados (desprovidos de ventilação natural), focando na diminuição do gasto energético dos condicionadores de ar.

Os ambientes climatizados artificialmente trazem conforto aos seus ocupantes, no que se refere à temperatura e a umidade do ar. Contudo, caso estes ambientes não tenham uma renovação de ar apropriada, seus ocupantes podem apresentar problemas de saúde, diminuindo produtividade, e até mesmo ocasionando sua ausência.

O objetivo desse trabalho é desenvolver uma abordagem de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) que controle a Qualidade do Ar Interno (QAI) com um algoritmo de controle do volume de ar inserido no ambiente. O algoritmo desenvolvido neste trabalho centraliza-se na ideia de quanto menos ar externo for inserido no ambiente menor será a demanda de energia por parte dos condicionadores de ar.

A abordagem implementada também tem como foco resolver o problema de ambientes com má qualidade do ar interno sem a necessidade de substituição dos condicionadores de ar instalados por outros que possuam a capacidade de renovação do ar, diminuindo o custo de investimento para solucionar o problema.

Os parâmetros utilizados para validar a proposta foram as normas da ANVISA sobre QAI. Os testes foram realizados no ambiente de trabalho do Laboratório de Integração Software/Hardware (LISHA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

**Palavras-chave:** Qualidade do Ar interno, EPOS, Síndrome dos edifícios doentes, Redes de Sensores Sem Fio.

## ABSTRACT

In work environments there is an increasing application of air conditioners in order to keep a moderate and quiet ambience. The energy crisis of the 70's stimulated the construction of sealed buildings (free from natural ventilation) focusing on the decreasing of energy costs of the air conditioners.

Artificially climatized environments, when it comes to controlling the temperature and humidity, bring great comfort to their occupants. However, if those environments lack an appropriate air renewal, their occupants can be subjected to health issues, decreasing their productivity or even resulting in their absence.

This paper aims to develop an approach to a Wireless Sensor Network (WSN) which can guarantee Indoor Air Control (IAQ) by controlling the volume of air inserted in the environment. The methodology developed in this study is focused on the idea of the less external air is injected into the environment the lower will be the energy required by the air conditioners

The implemented approach also focuses on solving the problem of low air quality in environments without the necessity of substituting the air conditioners for air conditioners with capacity to renew the air, therefor decreasing the cost of the investment to solve the problem.

The parameters used to validate the proposed work were the ANVISA standards for IAQ. The tests were conducted in the work environment of Software/Hardware Integration Laboratory (LISHA) of the Federal University of Santa Catarina (UFSC).

**Keywords:** indoor air quality, EPOS, sick building syndrome, Wireless Sensor Networks



## Sumário

1 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Motivação.....	12
1.2 Objetivo .....	12
1.3 Metodologia .....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	14
2.1 Síndrome dos edifícios doentes .....	14
2.2 ANVISA - Legislação sobre QAI.....	15
2.3 Redes de sensores sem fio.....	17
2.4 Tipos de sensores.....	18
2.4.1 Sensores de gases NDIR .....	19
2.4.2 Termistores.....	20
2.5 EPOS .....	20
2.6 EPOSMOTE II.....	21
3 SISTEMA PROPOSTO .....	22
3.1 Ambiente de trabalho LISHA/INE.....	22
3.3 RSSF proposta.....	24
3.4 Algoritmo de controle do volume de ar.....	24
3.5 Modelo Matemático .....	26
4 DESENVOLVIMENTO .....	27
4.1 Desenvolvimento do software .....	27
4.2 Desenvolvimento do hardware.....	29
4.3 Instalação da RSSF .....	30
5 Conclusão.....	34
5.1 Trabalhos Futuros .....	34
7 REFERÊNCIAS .....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de uma RSSF.....	17
Figura 2 - Funcionamento de um sensor de gás.....	19
Figura 3 - Sensor de CO <sub>2</sub> - CM1101.....	22
Figura 4 - CoolerMaster MegaFlow 200mm.....	24
Figura 5 - algoritmo de velocidade do motor.....	25
Figura 6 - Diagrama de casos de uso.....	27
Figura 7 - Diagrama de classes.....	28
Figura 8 - Esquemático Ventoinha.....	29
Figura 9 - Placa controle da ventoinha.....	30
Figura 10 - Janela com ventoinha anexada.....	31
Figura 11 - Gráfico Concentração CO <sub>2</sub> .....	31
Figura 12 - Gráfico potência do motor.....	32
Figura 13 - Gráfico Concentração e Potência X Tempo.....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração CO <sub>2</sub> .....	23
---	----

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	26
Equação 2.....	26
Equação 3.....	26

## 1 INTRODUÇÃO

Em edifícios selados (desprovidos de ventilação natural) a baixa ou nenhuma renovação de ar nos ambientes fez surgir uma nova preocupação: a Qualidade do Ar Interno (QAI). Em ambientes fechados foi descoberto que o aumento da concentração de poluentes no ar interno era causado pela baixa taxa de renovação de ar [Schirmer, Pian, Szymanski, Gauer, 2008].

Muitos prédios hoje encontram-se com a síndrome dos edifícios doentes (SED) [Stolwijk, 1984], classificada como um problema de saúde pública pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Essa síndrome costuma ocorrer em prédios com problemas de ventilação, sejam novos ou velhos. Uma das causas básicas do problema é que, para economizar energia, os aparelhos de condicionador de ar são programados para não renovar o ar, e sim, para circular o ar viciado.

Os modelos de condicionadores de ar mais comumente utilizados são os splits que, em sua grande maioria, sequer têm a habilidade de renovar ar. Essa falta de troca de ar dentro das salas ocasiona um ar rico em CO<sub>2</sub>, tóxico para os seres humanos.

Neste trabalho foi implementado um sistema de rede de sensor sem fio (RSSF) para avaliar um ambiente com aparelhos de ar condicionados e atuar numa renovação de ar garantindo a QAI e seguindo um algoritmo de inserção controlada, visando diminuir o volume de ar inserido no ambiente, consequentemente reduzindo a demanda de energia dos compressores para manter o ambiente numa temperatura constante.

## 1.1 Motivação

A SED gera inúmeros problemas de saúde como: gripes constantes, asma, bronquite, rinite, alergias, dores de cabeça e garganta, tosse, irritação nos olhos, mal-estar, falta de ar, fadiga, náuseas, vertigens e falta de concentração [WHO in Santos *et al.*, 1992]. Essas doenças, a longo prazo, podem provocar problemas congênitos e danos ao sistema nervoso.

Logo, utilizando um renovador de ar inteligente inserindo volumes recomendados de ar, pode-se eliminar os problemas causados pelo ar viciado, garantindo a qualidade do ar no interior dos escritórios e com baixo custo de investimento, pois insere-se pouco ar externo, em temperatura ambiente, suficiente para garantir a QAI, e conseqüentemente exige menos energia para os compressores do que se estivesse com uma janela ou porta aberta, ou um exaustor/ventilador ligado constantemente.

## 1.2 Objetivo

O objetivo é desenvolver um sistema de renovação de ar inteligente complementando condicionadores de ar sem tal função, capaz de garantir a qualidade do ar no interior de uma sala, inserindo pouco volume de ar do meio externo e, por conta disso, demandando pouca energia para os compressores do condicionador de ar.

São objetivos específicos deste trabalho:

- Elaborar um algoritmo de controle do ar inserido no ambiente.
- Construir uma proposta de controle de qualidade do ar inteligente que possa complementar um condicionador de ar sem a função de renovação de ar.
- Alcançar uma qualidade de ar aceitável nos ambientes com a aplicação instalada.

### **1.3 Metodologia**

O trabalho inicia com um estudo de caso para um escritório fechado com condicionador de ar e avalia a QAI desse escritório através de um sensor de CO<sub>2</sub> e comparando esse valor com as normas da ANVISA.

A partir daí é construído um protótipo de renovador de ar inteligente, utilizando uma RSSF.

O protótipo é então instalado no escritório e validado, verificando se o escritório atinge as normas da ANVISA sobre QAI com o protótipo em funcionamento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As seções seguintes apresentam a síndrome dos edifícios doentes, que descreve a principal temática trabalhada, a parte da legislação que dita normas sobre a qualidade do ar interno incluindo concentrações aceitáveis de determinado gás, taxas de renovação do ar interno e tecnologias utilizadas neste trabalho.

### 2.1 Síndrome dos edifícios doentes

Em edifícios de grandes cidades, metrópoles e cidades globais para evitar que a poluição das ruas e odores desagradáveis ocupem os escritórios, manter o isolamento térmico e acústico favorável para os seres humanos, os prédios são praticamente selados e tem sua temperatura ambiental climatizada artificialmente por condicionadores de ar.

Outras características agravantes desse cenário descrito a cima são a péssima manutenção dos aparelhos de ar condicionado e uma má oxigenação do ambiente. Juntando esses fatores a esse cenário tem-se observado, desde o final do século XX, doenças respiratórias e certos sintomas nos ocupantes desses ambientes. Esses prédios foram diagnosticados como sofrendo da síndrome dos edifícios doentes [WHO in Santos *et al.*, 1992].

Os sintomas mais comuns aos ocupantes desses ambientes são: fadiga, letargia, cefaleia, prurido e ardor nos olhos, anormalidades na pele, irritação do nariz e garganta e falta de concentração.

Mesmo com ênfase nos escritórios, muitos outros ambientes podem sofrer dessa síndrome. Exemplos são bibliotecas, bancos, residências, escolas. Existem hoje muitos estudos relacionados com outros ambientes comprovando o mesmo problema.

Um caso que impulsionou muito a pesquisa nessa área de doenças relacionadas a edifícios foi em 1976 quando 250 legionários veteranos comemoravam o dia da independência dos EUA reunidos num hotel da Filadélfia e 182 foram acometidos por um quadro respiratório agudo sendo que 29 foram a óbito. Esse quadro clínico recebeu o nome de doença dos legionários ou Legionelose e as

pesquisas resultaram na descoberta da bactéria Legionella, que havia sido introduzida a partir do sistema de ar condicionado central do edifício.  
([http://www.abrava.com.br/encarte/Ed260\\_Encarte\\_parte1.pdf](http://www.abrava.com.br/encarte/Ed260_Encarte_parte1.pdf))

Hoje existem soluções para este problema apenas em ambientes de grandes metrópoles e em poucos prédios como shopping centers, agências bancárias e prédios comerciais com escritórios de grande porte. Isto acontece porque nesses locais os sintomas eram muito frequentes. Escritórios de médio e pequeno porte ignoram esse problema. Salas de aula com condicionadores de ar também ignoram a qualidade do ar interno. Nesses ambientes, dezenas de alunos permanecem em salas com poucos metros quadrados onde se fecham todas as janelas e portas por algumas horas sem haver renovação do ar.

## 2.2 ANVISA - Legislação sobre QAI

As concentrações de CO<sub>2</sub> utilizados como valores para avaliar a qualidade do ar interno neste trabalho utiliza como referencia a resolução RE nº 9 da ANVISA, de 16 de janeiro de 2003 que especifica a concentração de CO<sub>2</sub> em 1000 ppm como valor indicador de renovação de ar externo recomendado para conforto e bem-estar.

IV - PADRÕES REFERENCIAIS Recomendam os seguintes Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em ambientes climatizados de uso público e coletivo. [...]

2.1 - 1000 ppm de dióxido de carbono - ( CO<sub>2</sub> ) , como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar

2.2 - 80 µg/m<sup>3</sup> de aerodispersóides totais no ar, como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado NOTA: Pela falta de dados epidemiológicos brasileiros é mantida a recomendação como indicador de renovação do ar o valor = 1000 ppm de Dióxido de carbono - CO<sub>2</sub> [...] (Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003)

Observando o item 2.2 e sua respectiva nota conclui-se que utilizando essa

concentração de CO<sub>2</sub> já é validado outro padrão da resolução de 2003 sobre concentração de aerodispersóides.

Aerodispersóides são partículas ou gotículas extremamente pequenas em suspensão na atmosfera ou ambiente de trabalho que são transportados pela corrente de ar. Essas partículas são geradas pela ruptura mecânica de sólidos como minerais ou vegetais pulverizados a que chamamos de poeira ou como também os materiais líquidos que originam os vapores decorrentes da evaporação de água, combustíveis e outras substâncias voláteis.

Essas partículas são consideradas poluentes do ar ou ambiente de trabalho, com exceção do vapor da água pura, que formam as nuvens. Os demais aerodispersóides são caracterizados como poluentes devido as suas características físicas e químicas, que os fazem nocivos a saúde e bem estar dos seres vivos e ecossistemas.

A poeira, por exemplo, é um poluente nocivo a saúde, porque pode provocar doenças respiratórias e alérgicas, tanto nos homens quanto nos animais. Quanto aos gases e vapores, podem causar doenças, alergia e intoxicação, nos homens, animais e até plantas, às vezes induzindo a morte precoce. Outro valor mencionado na resolução de 2003 leva em conta a taxa de renovação do ar.

3.4 - a Taxa de Renovação do Ar adequada de ambientes climatizados será, no mínimo, de 27 m<sup>3</sup>/hora/pessoa, exceto no caso específico de ambientes com alta rotatividade de pessoas. Nestes casos a Taxa de Renovação do Ar mínima será de 17 m<sup>3</sup>/hora/pessoa, não sendo admitido em qualquer situação que os ambientes possuam uma concentração de CO<sub>2</sub>, maior ou igual à estabelecida em IV-2.1, desta Orientação Técnica. **(Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003)**



## 2.3 Redes de sensores sem fio

Um sensor é um dispositivo que interpreta valores de fenômenos e variáveis de ambiente como umidade, temperatura, vibrações, concentrações de solutos em misturas, entre outros.

O grande avanço de novos materiais de sensoriamento, microprocessadores, micro sistemas eletromecânicos e de comunicação sem fio, levou ao surgimento de micros sensores sem-fio de baixa potencia, que se comunicam nas chamadas RSSF como demonstrado na Figura 1, os micros sensores representados na figura são as antenas nos vértices dos hexágonos. [Hoeller 2010]

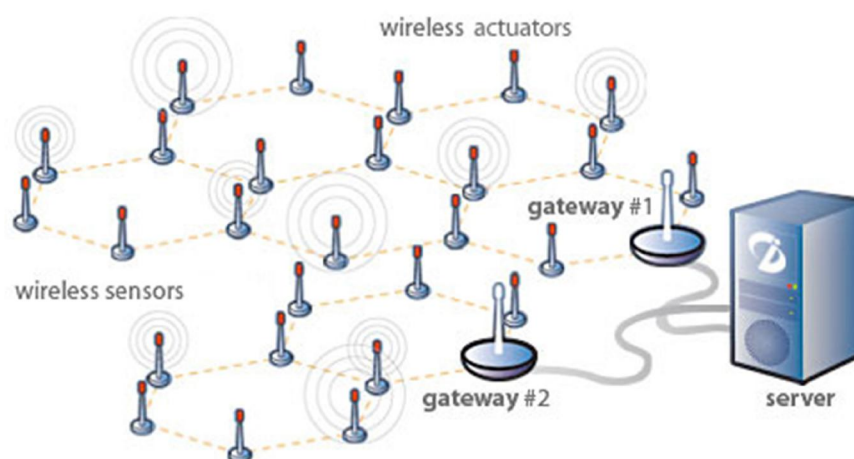


Figura 1 - Exemplo de uma RSSF

Fonte: (<http://www.isisingeneria.com/br/products.html>)

Dissecando um nodo de uma rede de sensores sem fio encontra-se um ou mais sensores analógicos ou digitais, um módulo de comunicação sem fio, um processador digital, memória e uma fonte de alimentação.

Os nodos são geralmente organizados em redes do tipo ad hoc. Redes ad hoc são caracterizadas por não terem um nó central ou terminal especial para onde converge toda a comunicação, e sim por terem nós autônomos que se auto-organizam. Assim, numa rede desse tipo, todos os nós conversam livremente entre si, podendo também servir de roteador, encaminhando mensagens entre nós que estejam impossibilitados de conversarem diretamente por causa da distancia entre eles. [Bar, Bicket, Dantas, Du, Kim, Zhou, Sirer et al 2002]

RSSF podem ser empregadas nas mais diversas áreas e aplicações, como por exemplo controle de uma estufa analisando a umidade e a temperatura, controle de pressão e fluxo em dutos de água, gás ou petróleo, entre outros.

Em muitos casos a fonte de alimentação de cada nodo é por pilhas ou baterias, pelo ambiente que o nodo está inserido não poder fornecer uma alimentação por fios. Isso caracteriza um dos principais requisitos das RSSF: eficiência energética. Por motivos como custo para trocar as baterias ou inviabilidade dependendo do local que ele estiver inserido, os nodos devem operar durante longos períodos e com quantidade de energia limitada. Para isso devem utilizar o mínimo de energia possível para seu funcionamento. E com isso torna-se comum muitas vezes, sendo até mais barato, descartar o sensor sem energia e colocar um novo no local.

Dependendo da aplicação, as configurações de cada RSSF e seus requisitos variam enormemente, podendo gerar conjuntos de requisitos conflitantes, ou seja, características das quais um determinado tipo de aplicação se beneficia, pode tornar proibitiva a outra aplicação. Com isso em mente, as RSSF necessitam ser amplamente configuráveis.

Em certas aplicações mais de uma variável é observada, nesses casos podem-se ter nodos homogêneos munidos de vários sensores (todos desempenhando as mesmas funções) ou heterogêneos munidos de sensores diferentes entre si (cada um desempenhando funções diferentes) numa mesma RSSF.

## **2.4 Tipos de sensores**

Com tantas variáveis diferentes vindas do ambiente cada sensor tem uma forma de analisar o meio ambiente e retirar informações. Exemplos de tipos de sensores são termistores para medir temperatura, fotodiodos para medir luminosidade, acelerômetros para medir deslocamento, NDIR (Non-Dispersive Infrared) para medir concentração de gases no ar.

Neste trabalho utiliza-se sensores NDIR para medir concentrações de CO<sup>2</sup> e termistores para medir temperatura. Estes sensores serão descritos a seguir.

### 2.4.1 Sensores de gases NDIR

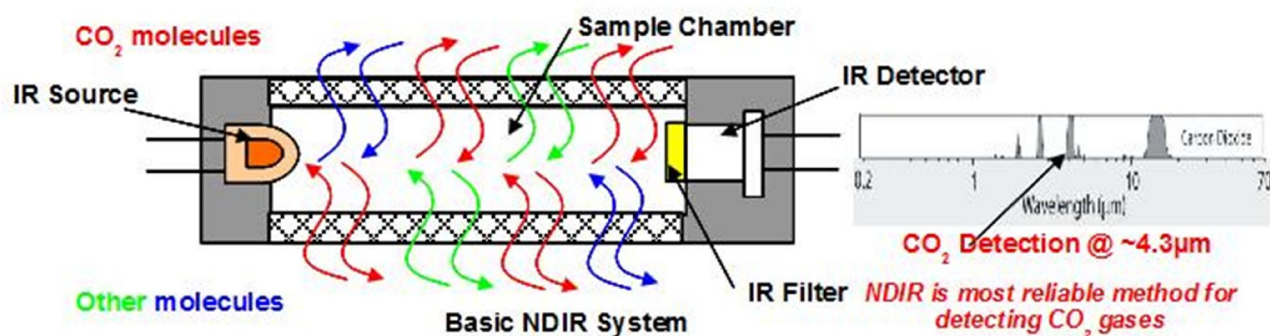


Figura 2 - Funcionamento de um sensor de gás

Fonte: (<http://www.protecaorespiratoria.com/2011/06/sensores-de-gas-principios-e.html>)

A tecnologia de Infravermelho Não Dispersivo (Non-Dispersive Infrared – NDIR) utiliza um emissor infravermelho de banda larga ilustrado na Figura 2 denominado IR Source, que cobre todos os comprimentos de onda para medição de um determinado conjunto de gases. O filtro ótico passa-banda, apontado na figura como IR Filter, permite a passagem de comprimentos de onda que podem ser absorvidos pelos gases dentro da câmara com isolamento luminoso. Uma vez que determinado gás absorve a radiação infravermelha de um determinado comprimento de onda, o receptor ótico, apontado na figura como IR Detector, não recebe a mesma quantidade de radiação emitida e, com essa diferença de radiação, calcula a concentração desse gás no ar entre o emissor e o receptor. [MACHADO. 2011]

Utiliza-se um emissor de banda larga junto com um determinado filtro ótico ao invés de um emissor de um determinado comprimento de onda por ser mais barato e de mais fácil implementação.

### 2.4.2 Termistores

Um termistor é um resistor cuja resistência varia com mudanças de temperatura. A equação de Steinhart-Hart é uma aproximação de terceira ordem amplamente utilizada para determinar a curva de resposta de um termistor: [Steinhart , 1968]

$$T = \frac{1}{a + b \cdot \ln R_t + c \cdot (\ln R_t)^3} \quad (1)$$

onde a, b, e c são parâmetros Steinhart-Hart específicos para cada termistor, T é a temperatura Kelvin, e  $R_t$  é a resistência em Ohms apresentada pelo termistor na temperatura atual. Um termistor normalmente é ligado a um conversor analógico-digital através de um circuito divisor de tensão simples. A estimativa de temperatura baseada em leituras do ADC pode depender do cálculo em tempo de execução de funções de aproximação complexas (e.g., a equação Steinhart-Hart), ou pode fazer uso de tabelas de conversão previamente calculadas. Termistores diferentes podem ter constantes de tempo e precisão diferentes, bem como diferentes constantes de dissipação de energia. [Hoeller 2010]

### 2.5 EPOS

Desenvolver aplicações integrando processador, memória, transceptor, sensores e alimentação é um trabalho bastante extensivo. Trabalhando em cima disso, o LISHA desenvolveu o EPOS (Embedded Parallel Operating System) - um SO específico para sistemas embarcados. A ideia do EPOS é automatizar o desenvolvimento de sistemas embarcados para que o programador possa focar no que realmente importa: suas aplicações. O EPOS possibilita a portabilidade para uma enorme variedade de processadores, protocolos e arquiteturas. [Hoeller 2010]

## 2.6 EPOSMOTE II

O EPOSMote II pertence à família de módulos de sensoriamento produzidos no projeto EposMote, sendo o segundo da família EposMote. Ele é baseado em uma arquitetura Arm7 de 32 bits enquanto seu antecessor o EPOSMote I, baseado em uma arquitetura Avr de 8bits.

O EPOSMote foi concebido com um projeto modular, sendo previstos três módulos: 1) Módulo de base incorporando as funcionalidades de processamento e de comunicação, 2) módulo de entrada e saída onde devem ser implementadas as interfaces necessárias de entrada e saída. O projeto EposMote desenvolveu um módulo de entrada e saída chamado de *start-up board* onde incorpora interface USB, sensores de temperatura, acelerômetros de 3 eixos, alguns LEDs e botões. 3) O ultimo módulo é o de alimentação de modo a permitir o emprego de diferentes fontes de alimentação, uma interface de alimentação foi implementada, disponível com uma interface I2C. [Hoeller 2010]

### 3 SISTEMA PROPOSTO

Este capítulo descreve o ambiente utilizado e o sistema desenvolvido.

#### 3.1 Ambiente de trabalho LISHA/INE

O objeto de estudo neste trabalho é uma sala do Laboratório de Integração Software/Hardware, onde hoje trabalham 7 alunos, possui dimensões de 4,65m por 8,7m, 8 janelas basculantes de dimensões 30cmx30cm e duas portas. Essa sala tem dois aparelhos de ar condicionado do tipo split um de 9.000 btu/h da marca York e um de 12.000 btu/h da marca Blue Ice, A literatura diz que um condicionador de ar de 12.000 btu/h consegue resfriar um ambiente com cerca de 13 a 20 metros quadrados de área e um de 9.000 btu/h resfria um ambiente de 10 a 12 metros quadrados de área.

#### 3.2 Verificação da QAI

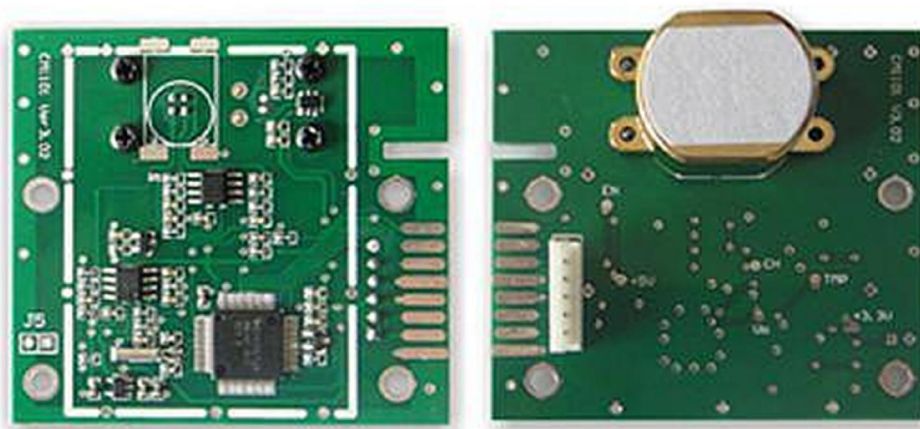


Figura 3 - Sensor de CO<sub>2</sub> - CM1101

Para analisar a qualidade do ar na sala foi inserido no ambiente de trabalho um sensor de CO<sub>2</sub>(Figura 3) conectado a um EPOSMote II que analisa a concentração de gás carbônico na sala, colhendo e armazenando dados.

Tabela 1 - Concentração CO<sub>2</sub>

<b>Data</b>	<b>hora</b>	<b>Concentração</b>
17/04/2014	19:58:38	2690
22/04/2014	12:10:45	1010
22/04/2014	12:10:57	1010
22/04/2014	12:11:34	1020
22/04/2014	12:11:47	1040
22/04/2014	18:10:59	1080
22/04/2014	18:11:00	1090
22/04/2014	18:11:23	1100
23/04/2014	15:54:44	1170
23/04/2014	15:55:43	1210
23/04/2014	15:57:55	1210
23/04/2014	16:00:42	1220
23/04/2014	16:12:04	1240
23/04/2014	16:13:23	1260
23/04/2014	16:39:52	1360
23/04/2014	16:40:04	1360
24/04/2014	16:59:06	1330
24/04/2014	16:59:16	1990
24/04/2014	16:59:19	2860
24/04/2014	16:59:43	3310

A tabela acima exibe concentrações de CO<sub>2</sub> colhidas no ambiente em diferentes dias e horários. Visivelmente essas concentrações estão fora dos limites aceitos pelas normas ditadas pela ANVISA, apresentadas na sessão 2.2.

### 3.3 RSSF proposta

Para renovar o ar dessa sala, foi inserido no ambiente uma RSSF com um nodo sensor munido com o sensor de CO<sub>2</sub> citado no item anterior, um nodo gateway responsável por processar os dados e aplicar o algoritmo de controle do volume de ar inserido na sala e um nodo atuador, com uma ventoinha do tipo MegaFlow 200 Blue LED da marca Cooler Master dimensionado para renovar o ar numa taxa de 110 CFM (aproximadamente de 187 m<sup>3</sup>/h) em sua velocidade máxima, produzindo ruído de no máximo 19 dB-A.

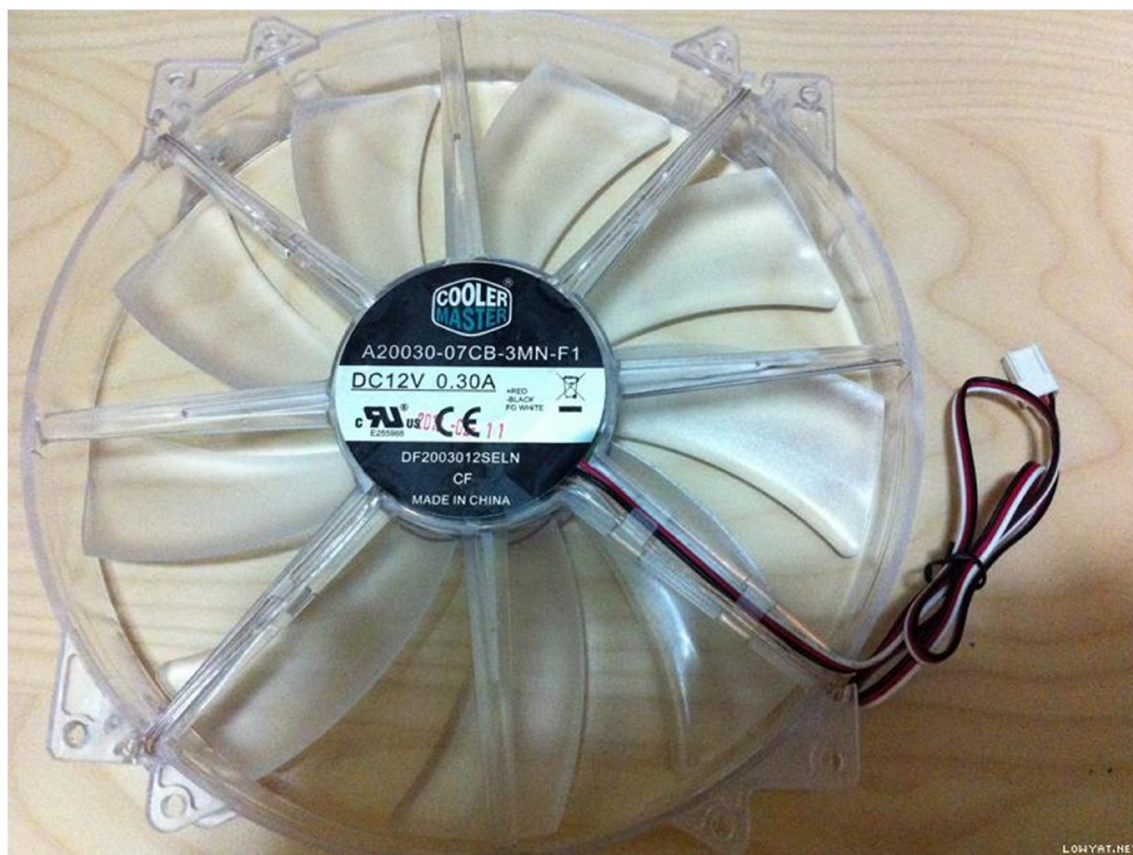


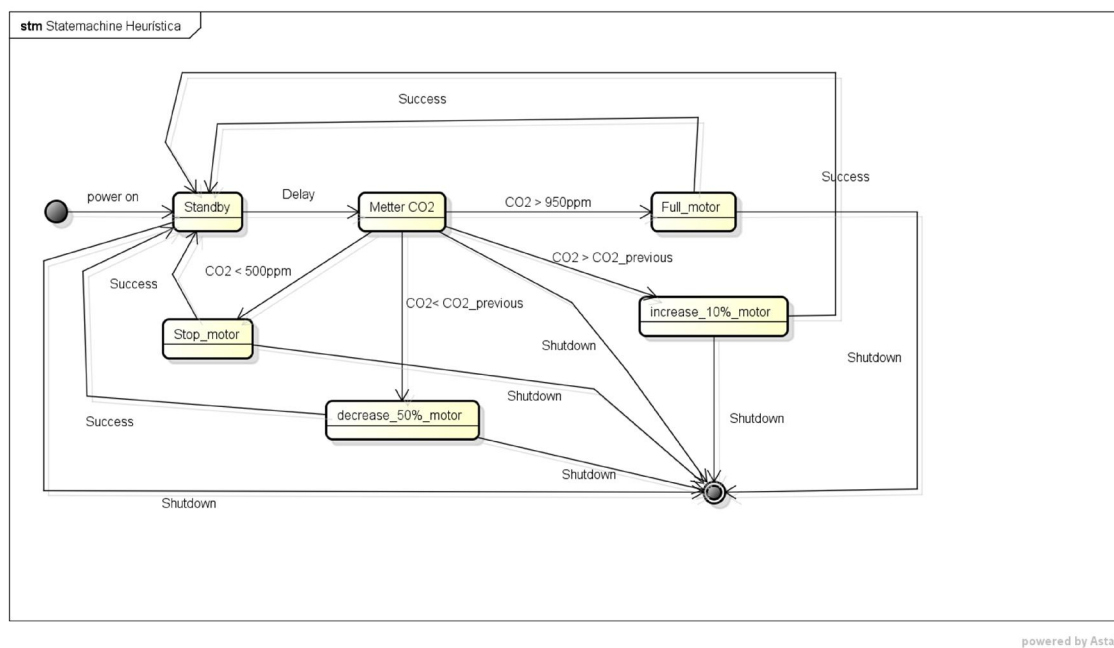
Figura 4 - CoolerMaster MegaFlow 200mm

Essa ventoinha (Figura 4) é feita para resfriamento em gabinetes de servidores e foi escolhida por ter uma taxa de renovação de ar adequada para o ambiente em questão e apresentar um dos menores ruídos encontrados entre as ventoinhas pesquisadas.

### 3.4 Algoritmo de controle do volume de ar



Levando em conta que o número de pessoas num ambiente de trabalho não é sempre o número máximo e sim um número variável, esse algoritmo controla o volume de ar a ser inserido, demonstrada na Figura 5:



**Figura 5 - algoritmo de velocidade do motor**

A ideia por trás desse algoritmo é tentar ajustar a taxa de renovação do ar o mais próximo da taxa de produção de CO<sub>2</sub>, mantendo o erro da taxa de renovação sempre abaixo da taxa de produção de CO<sub>2</sub>.

Esse algoritmo foi inspirada no método da bissecção, um método iterativo, em que para encontrar o zero de uma função definida em um intervalo [a,b], divide-se o intervalo no meio,  $x = \frac{a+b}{2}$ , e testa se em qual subintervalo está o zero da função, substitui-se o intervalo inicial pelo subintervalo que contem o zero da função e itera-se o método até encontrar um valor com um erro aceitável. Adaptando essa ideia para o problema onde a taxa de produção de CO<sub>2</sub> é dinâmica, aplica-se a iteratividade do método e a ideia de dividir o intervalo em subintervalos a cada iteração.[SOUZA, 2009]

Ao invés de dividir pela metade a soma dos limites, optou-se por acrescentar ou diminuir uma porcentagem da potencia, já que o zero da função é dinâmico. Quando a taxa de produção de CO<sub>2</sub> se mantém constante, o algoritmo a cada iteração aproxima as duas taxas e, caso não seja constante, o algoritmo se adapta ao novo problema.

### 3.5 Modelo Matemático

O ventilador utilizado tem dimensões de 200mmx200mm, rotação máxima de 700 rpm, uma vazão de ar de 110 CFM (187m<sup>3</sup>/h), pressão do ar 0.595 mmH<sup>2</sup>O, ruído de 19 dB-A, corrente de 0.28A em rotação máxima e um pino de retorno com a rotação atual.

Para calcular a vazão de ar do ventilador em cada momento diferente, em que ele não se encontrar na rotação máxima, em função das variáveis de controle, para tentar minimizar o volume de ar renovado, utiliza-se a lei de semelhança dos ventiladores que diz que: [LACERDA, MELO, 2008]

$$Q' = Q * \left(\frac{n'}{n}\right) * \left(\frac{D'}{D}\right)^3$$

**Equação 1**

$$P' = P * \left(\frac{n'}{n}\right)^2 * \left(\frac{D'}{D}\right)^2 * \left(\frac{d'}{d}\right)$$

**Equação 2**

$$W' = W * \left(\frac{n'}{n}\right)^2 * \left(\frac{D'}{D}\right)^2 * \left(\frac{d'}{d}\right)$$

**Equação 3**

Em que:

$Q$  = vazão,  $m^3 s^{-1}$ ;

$P$  = pressão, (estática, total, ou dinâmica),  $Pa$

$n$  = rotação do ventilador,  $rpm$ ;

$D$  = diâmetro do rotor,  $m$ ;

$W$  = potência,  $W$ ;

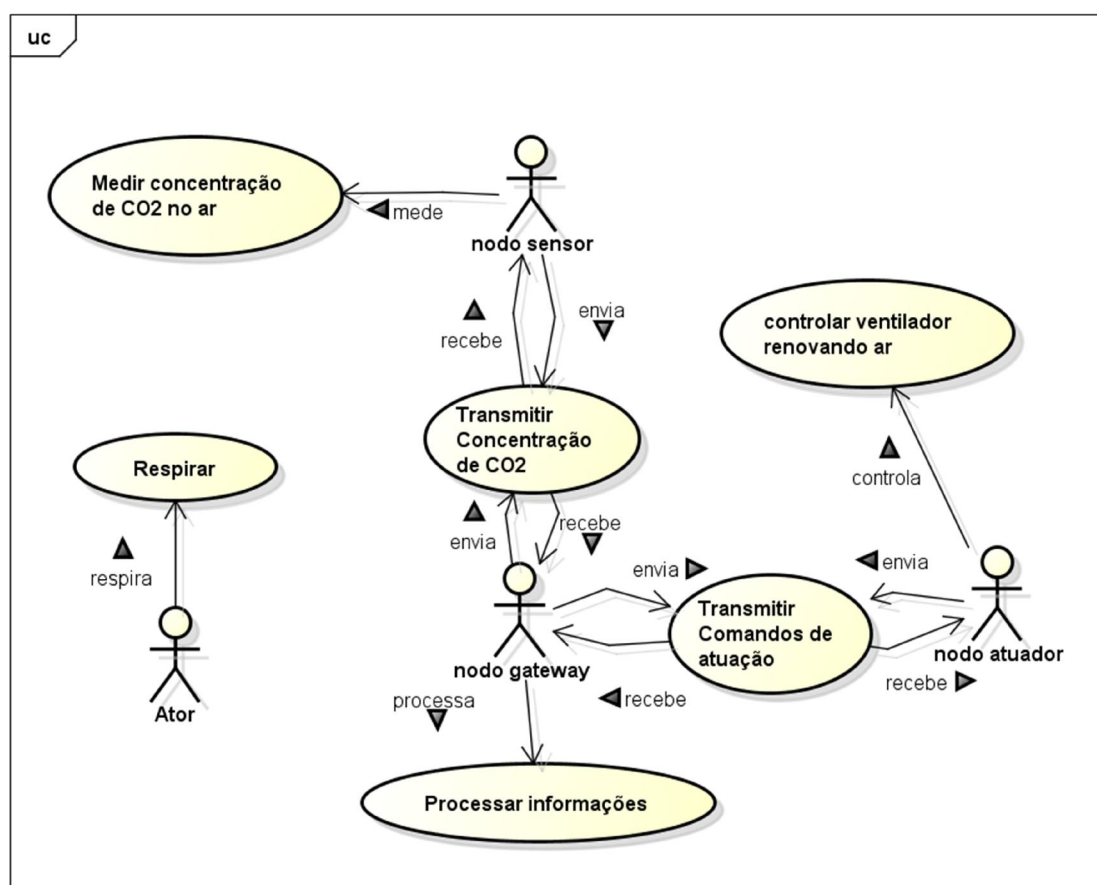
$d$  = densidade do fluido,  $kg m^3$ ;

Com essas fórmulas o sistema garante a rotação certa do motor para injetar o volume ideal de ar no ambiente. Utilizando o pino de sinal do ventilador o protótipo tem certeza de que a rotação está de acordo.

## 4 DESENVOLVIMENTO

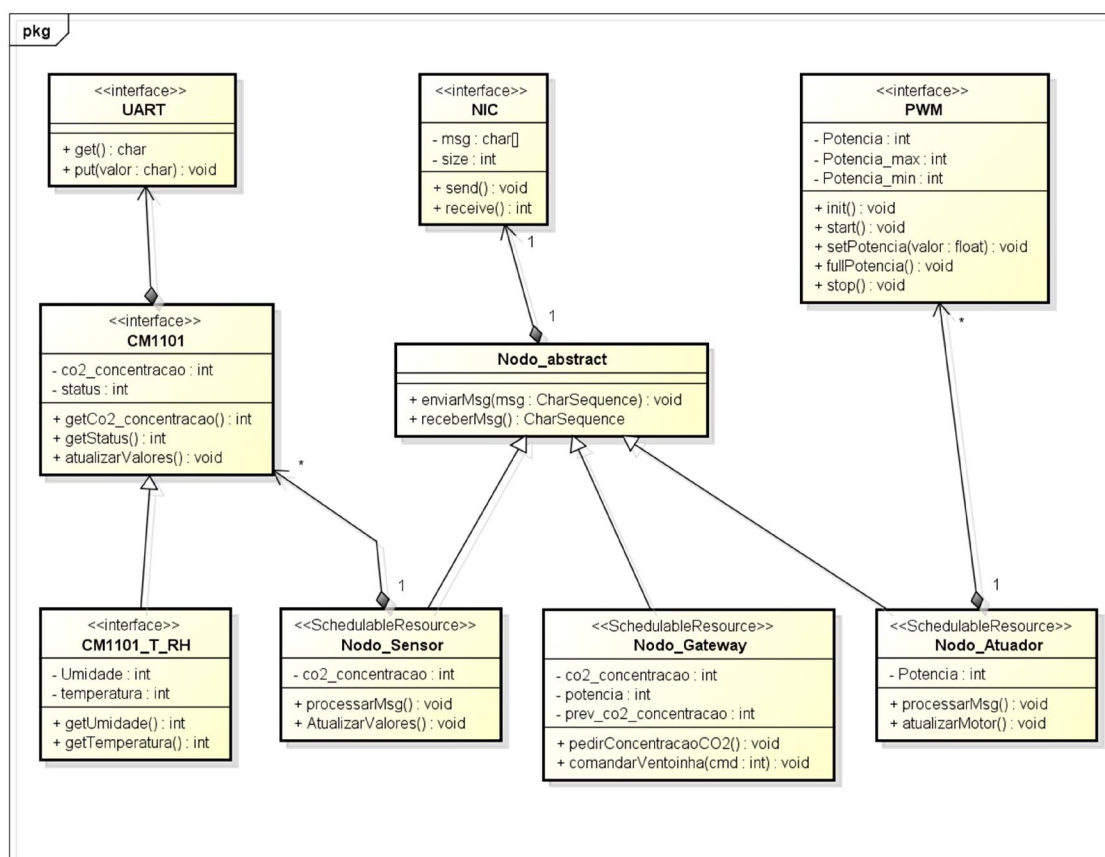
### 4.1 Desenvolvimento do software

Descreve-se o caso de uso do sistema dentro de um ambiente fechado com pessoas, representados na Figura 6 pelo Ator que interage com o sistema por meio da respiração. O nodo sensor interage com o ambiente medindo a concentração de CO<sub>2</sub> e troca mensagens com o gateway enviando a concentração medida e recebendo uma mensagem de confirmação. O gateway processa a concentração e envia comandos para o nodo atuador e recebe mensagem de confirmação. O nodo atuador por sua vez executa os comandos recebidos operando o ventilador.



powered by Astah

Figura 6 - Diagrama de casos de uso



powered by Astah

**Figura 7 - Diagrama de classes**

A classe `Nodo_abstract` é uma classe abstrata que define um protocolo de troca de mensagens e comandos entre os nodos que estendem ela, herdam os dois comandos de troca de mensagem, `enviarMsg()` e `receberMsg()`, seus parâmetros e retornos estão descritos no diagrama de classe da Figura 7.

Os métodos responsáveis pelas comunicações dos nodos utilizam a classe `NIC`, já implementada no EPOS, facilitando a troca de mensagens sem fio.

A classe `Nodo_Gateway` é basicamente a classe por trás da lógica operacional. É ela que solicita ao nodo sensor os valores do meio ambiente e comanda o nodo atuador. Essas solicitações e comandos são feitas através dos métodos `pedirConcentracaoCO2()` e `comandarVentoinha()`. Estes métodos preparam as mensagens utilizadas no protocolo de troca de mensagens citados anteriormente.

A classe `Nodo_Sensor` possui o método `AtualizarValores()` que utiliza o objeto descrito pela classe `CM1101` para obter os valores do meio ambiente.

A classe CM1101 é onde se encontra a implementação de controle do módulo de sensoriamento CM1101 da empresa Cubic. Existe a classe CM1101\_T\_RH que herda a CM1101. Essa classe permite o controle do módulo de sensoriamento de CO2 que tem outros sensores adicionais, como o sensor de umidade relativa e temperatura ambiental. O controle do módulo é feito pelo hardware UART, também já implementado no EPOS pela classe UART.

## 4.2 Desenvolvimento do hardware

Foi desenvolvido um módulo de expansão para o EPOSMote II para o controle da velocidade da ventoinha. O propósito desse módulo é conseguir controlar a velocidade por PWM (*Pulse-width modulation*). Foi necessário o módulo pois a entrada da ventoinha é 12V e a saída das portas do EPOSMote II é 3.3V.

O módulo construído utilizou um transistor NPN modelo BD139, possibilitando o controle por PWM. A Figura 8 apresenta o esquemático do módulo desenvolvido.

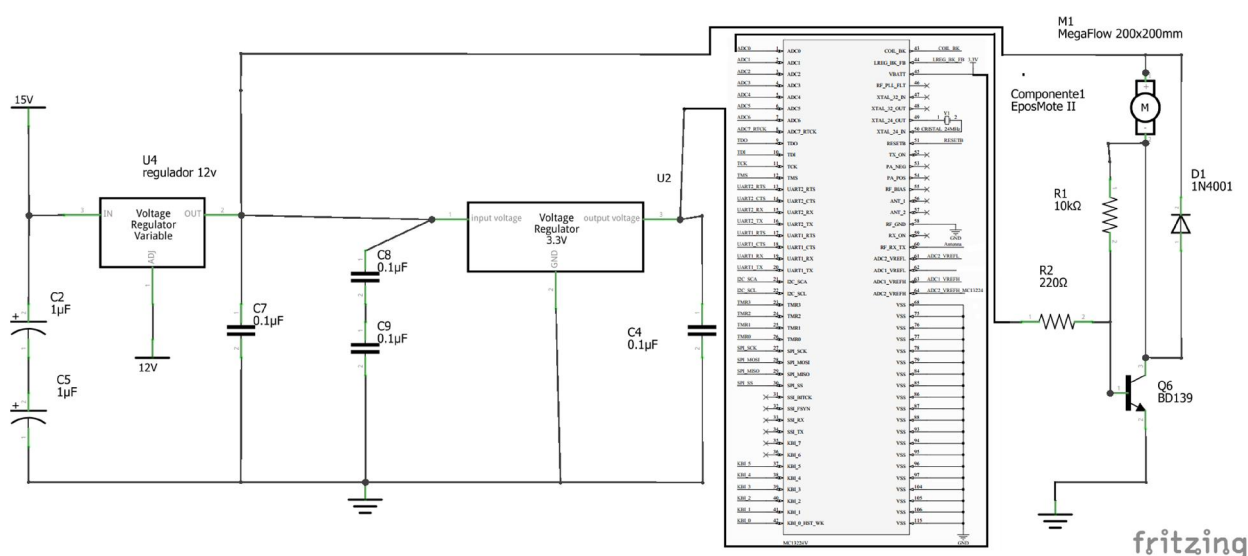


Figura 8 - Esquemático Ventoinha.

Na Figura 9 pode-se observar o módulo soldado com um EPOSMote II plugado, o conector de 3 fios da ventoinha e a fonte alimentando o circuito com 15v.

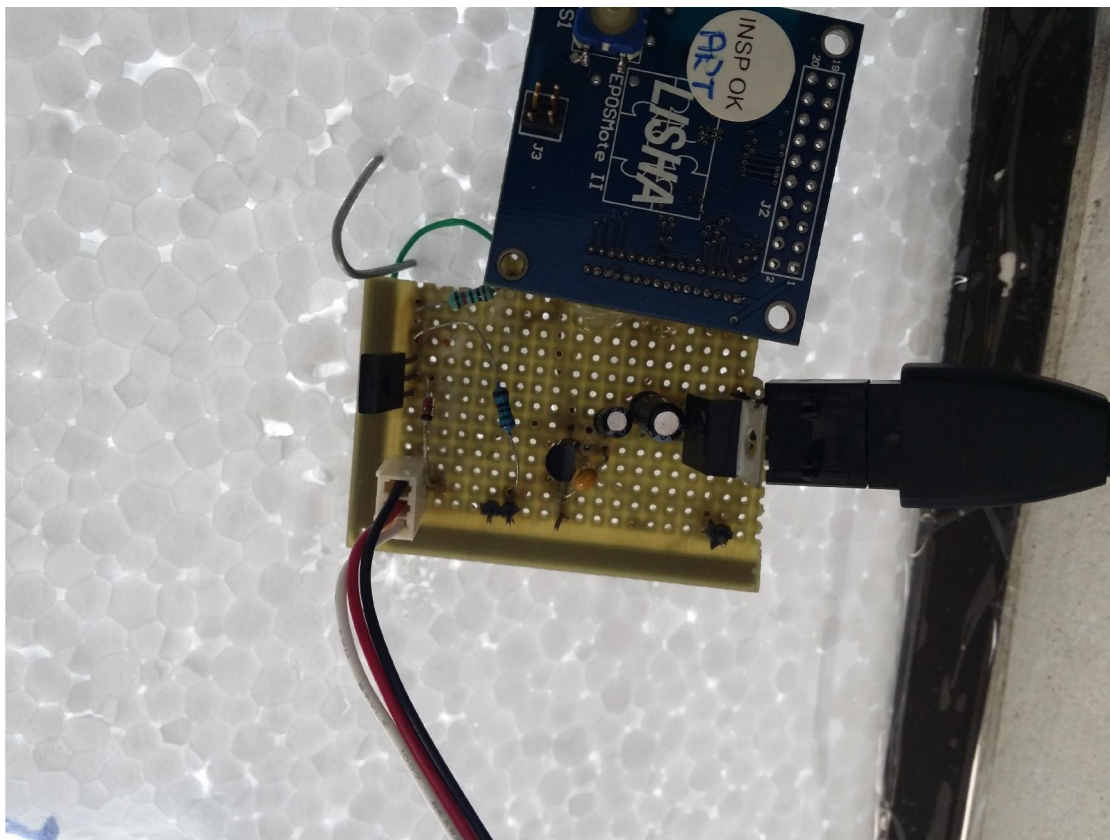


Figura 9 - Placa controle da ventoinha

### 4.3 Instalação da RSSF

A primeira instalação da RSSF foi feita em outro ambiente para os primeiros testes. Utilizou-se isopor para anexar a ventoinha a uma janela(Figura 10).

Validada a RSSF, ela foi instalada em uma janela do escritório do LISHA. Foi colocado o nodo sensor longe da janela, no lado oposto da sala. O nodo gateway foi plugado via USB a um computador para salvar os logs durante o funcionamento do sistema.



Figura 10 - Janela com ventoinha anexada

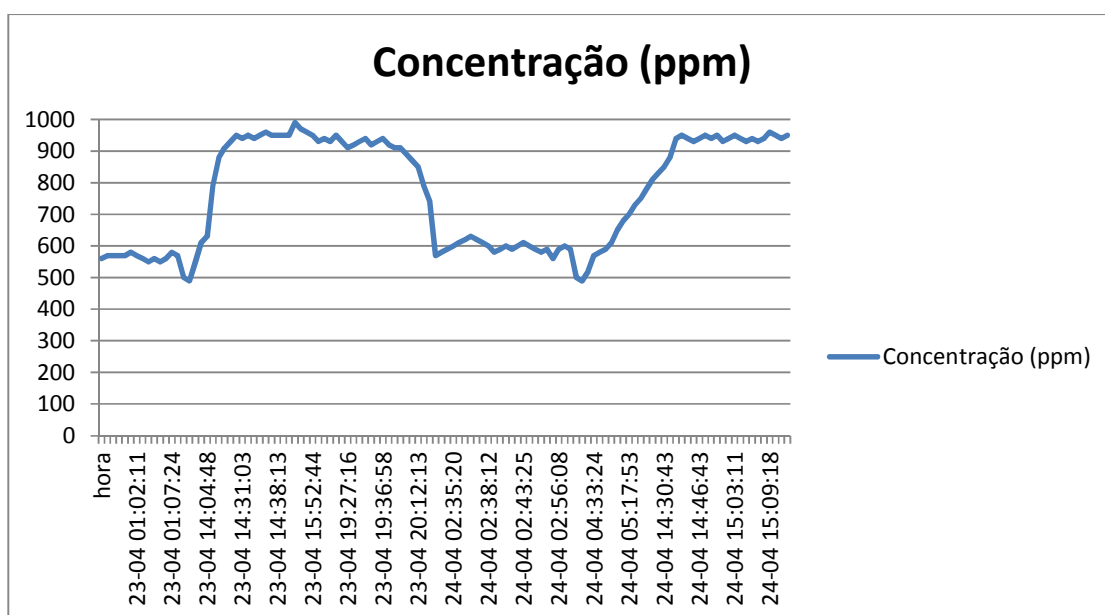
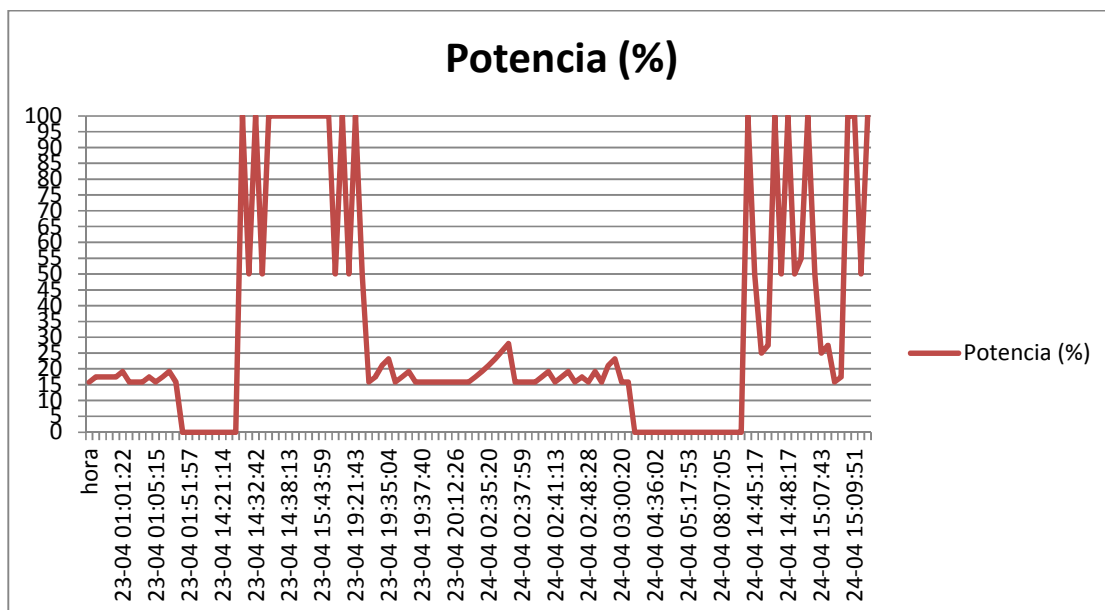
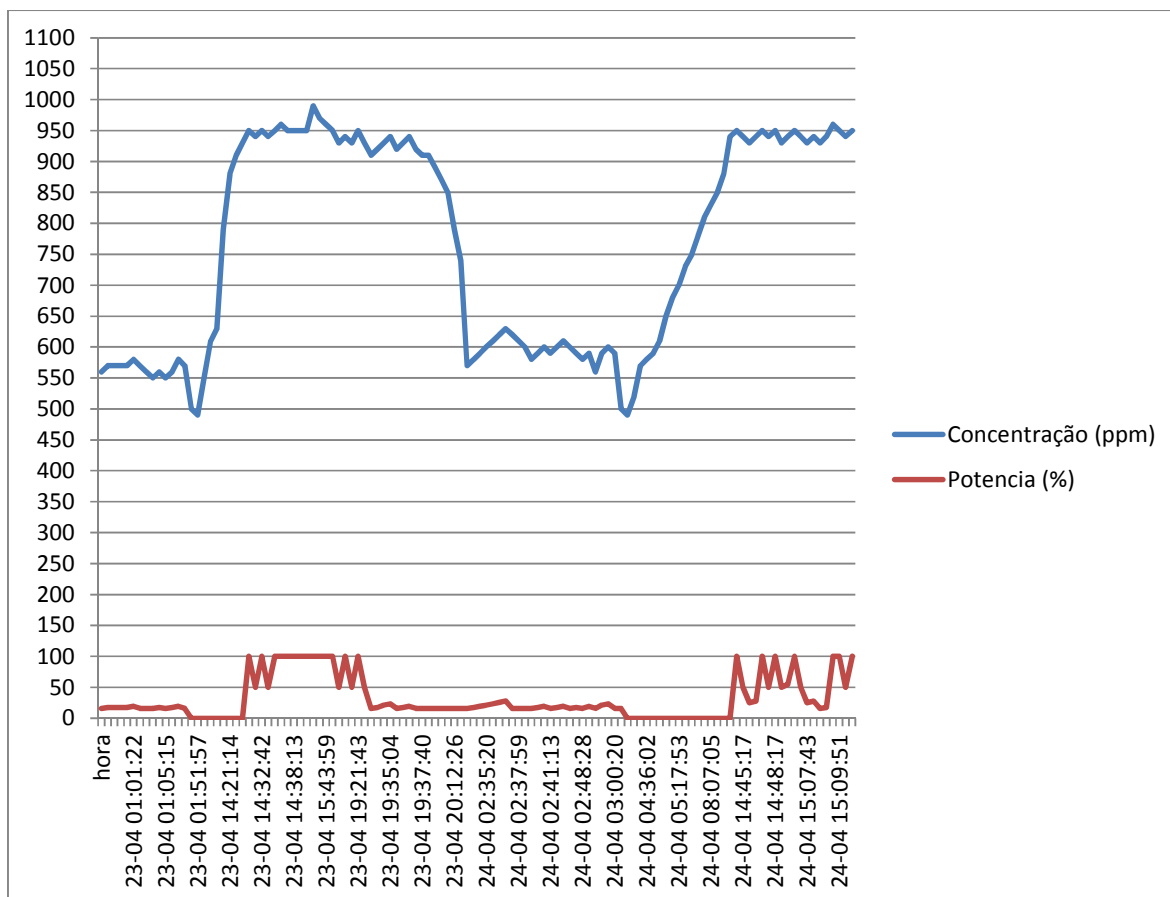


Figura 11 - Gráfico Concentração CO<sub>2</sub>



**Figura 12 - Gráfico potencia do motor**



**Figura 13 - Gráfico Concentração e Potencia X Tempo**

A taxa da concentração de CO<sub>2</sub> torna-se difícil de estabilizar uma vez que existe uma variação na quantidade de pessoas no ambiente. Sem o conhecimento



do numero de pessoas, a forma para tentar encontrar a taxa de renovação apropriada para o ambiente foi utilizar o algoritmo apresentada na sessão 3.4 Algoritmo de controle do volume de ar e apresentada na forma de gráfico na Figura 13.

Os gráficos na Figura 11, Figura 12 e Figura 13, apresentam a oscilação da concentração e potência do motor durante de um dia e meio de coleta de dados pela RSSF em funcionamento. Alguns dados omitidos para facilitar a apresentação.

A curva em azul representa a concentração de CO<sub>2</sub>, enquanto a curva vermelha representa a potencia em porcentagem da ventoinha.

Pode-se observar a ação da ventoinha diminuindo a concentração de CO<sub>2</sub> cada vez que ela cresce e tentando sempre manter uma baixa rotação.

Considerações: Observando o gráfico na Figura 13, pode-se observar que o sistema funciona garantindo a QAI, porém o algoritmo apresenta problemas quando a taxa de produção de CO<sub>2</sub> é alta. Próximo ao limite do sistema, a potencia do motor fica oscilando entre 100% e 50%. Essa oscilação é causada porque a concentração chega a 950 ppm mais rápido do que o algoritmo aproxima a taxa de renovação da taxa de produção de CO<sub>2</sub>. Acontece principalmente porque o algoritmo parte de um principio de desligar o motor quando a concentração está abaixo de 500 ppm e só liga novamente quando chega no nível critico, >950 ppm. Quando chega ao nível critico a ventoinha é ligada na potencia de 100% e quando sai da área critica a taxa está decrescente, então reduz a potencia em 50%. Após redução do motor, a taxa de CO<sub>2</sub> volta a subir e ao invés de acrescentar os 10% para fazer a aproximação das taxas, atinge-se o nível critico ativando em 100% a ventoinha, apresentando o problema.

## 5 CONCLUSÃO

A SED é uma síndrome causada principalmente pela ausência da renovação de ar em ambientes fechados, gerando inúmeros sintomas principalmente no sistema respiratório. Esse trabalho foi desenvolvido para apresentar uma proposta de fácil instalação, que complementa aparelhos de ar condicionados sem a função de renovação de ar e garante as normas definidas de QAI definidas pela ANVISA de 2003.

Utilizando uma RSSF munida de um sensor de CO<sub>2</sub> e um ventilador com sua rotação controlada por PWM, foi possível desenvolver um protótipo de renovador de ar que garante a QAI definida pelas normas da ANVISA de 2003. Esse protótipo foi instalado em um laboratório do INE-UFSC, frequentado por sete pessoas e já instalados previamente nessa sala, dois condicionadores de ar sem a capacidade de renovação de ar. Com o protótipo instalado a concentração de CO<sub>2</sub> não ultrapassou os limites definidos pela ANVISA, demonstrado na Figura 11 - Gráfico Concentração CO<sub>2</sub>.

Foi desenvolvido um algoritmo para controle da rotação do ventilador para reduzir o volume de ar inserido no ambiente, o objetivo foi regular a taxa de produção de CO<sub>2</sub> e a taxa de renovação de ar. Ao Realizar menos trocas térmicas com o ambiente externo conseqüentemente demanda-se pouca energia para os compressores regularem a temperatura definida. O algoritmo apresentou uma limitação de não conseguir regular as duas taxas quando o ambiente está em sua capacidade máxima, ocasionando uma oscilação entre 50% e 100%, visto que se atinge o nível crítico mais depressa do que o algoritmo consegue encontrar um valor que regule as duas taxas.

### 5.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros sugere-se encontrar uma solução para corrigir o problema do algoritmo para taxas de produção de CO<sub>2</sub> alta.

Otimizar o algoritmo para equilibrar mais depressa a taxa de renovação de ar com a taxa de produção de CO<sub>2</sub>, deve corrigir o problema para taxas de produção de CO<sub>2</sub>.

Utilizar um controlador PID ao invés do algoritmo.

## 7 REFERÊNCIAS

Schirmer, W.N., Pian, L.B., Szymanski, M.S.E., Gauer, M.A. **A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes.**

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csc/v16n8/a26v16n8.pdf>> Acesso em: 25 jun. 2013

**Empresa Cubic.** Disponível em:

<[http://www.gassensor.com.cn/product\\_detail\\_en/typeid/9/id/56.html#](http://www.gassensor.com.cn/product_detail_en/typeid/9/id/56.html#)> Acesso em: 27 jun. 2013

DEGOBBI. M. C. ; GAMBALE. W.. **Síndrome dos Edifícios Doentes: Aspectos microbiológicos, qualidade do ar em ambientes interiores e legislação brasileira.** Disponível em:

<[http://www.abrava.com.br/encarte/Ed260\\_Encarte\\_parte1.pdf](http://www.abrava.com.br/encarte/Ed260_Encarte_parte1.pdf)> Acesso em: 25 jun. 2013

**Figura de RSSF.** Disponível em: < <http://www.isisingenieria.com/br/products.html>> Acesso em: 27 jun. 2013

Berndt, A. **Introdução a Redes de Sensores sem Fio (RSSF).** Disponível em:

<<http://www.sucesumt.org.br/mtdigital/anais/files/IntroducaoaRedesdeSensoressemFio.pdf>> Acesso em: 27 jun. 2013

MACHADO, C. **SENSORES DE GÁS - PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS.** Disponível em: <<http://www.protecaoespiratoria.com/2011/06/sensores-de-gas-principios-e.html>> Acesso em: 27 jun. 2013

Loureiro, A.A.F., Nogueira, J.M.S., Ruiz, L.B., Mini, R.A.F., Nakamura, E.F., Figueiredo, C.M.S. **Redes de Sensores Sem Fio.** Disponível em:

<<http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Redes%20de%20Sensores%20sem%20Fio/Livro%20UFMG%20SBRC2003%20Redes%20de%20Sensores%20Sem%20Fio.pdf>> Acesso em: 25 jul. 2013

Hoeller, A.J., Fröhlich, A.A. **Redes de sensores sem-fio sob a perspectiva do EPOS**. Disponível em: <[http://www.lisha.ufsc.br/pub/Hoeller\\_WSCAD\\_2010.pdf](http://www.lisha.ufsc.br/pub/Hoeller_WSCAD_2010.pdf)> Acesso em: 30 jun. 2013

**Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003.**

Disponível em:  
<[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao\\_RE\\_n\\_09.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao_RE_n_09.pdf?MOD=AJPERES)> Acesso em: 25 jun. 2013

Steinhart, J. S. and Hart, S. R. (1968). Calibration curves for thermistors. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 15(4):497–503.

Barr, R., Bicket, J. C., Dantas, D. S., Du, B., Kim, T. W. D., Zhou, B., and Sirer, E. G. (2002). On the need for system-level support for ad hoc and sensor networks. Disponível em: < <https://www.cs.cornell.edu/People/egs/magnetos/papers/magnetos-osr.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2013

MACHADO, C. SENSORES DE GÁS - PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS

Disponível em: < <http://www.protecaoespiratoria.com/2011/06/sensores-de-gas-principios-e.html>> Acesso em: 30 jun. 2013

SOUZA, A. G. ; SILVA, K. O. Método da Bissecção

Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABvR8AD/metodo-bisseccao>> Acesso em: 30 jun. 2013

LACERDA, A. F. F.; MELO, E. C. MEDIÇÃO DE VAZÃO DE AR

Disponível em:  
<<http://www.sop.eng.br/pdfs/be338e9d738ce584ee80c6e83f37e11b.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2013