

Felipe Rodrigues Pereira Fonseca

**Desenvolvimento de uma Plataforma  
Embarcada para Monitoramento e Operação de  
um Trocador de Calor**

Belo Horizonte  
Novembro de 2017



Felipe Rodrigues Pereira Fonseca

## **Desenvolvimento de uma Plataforma Embarcada para Monitoramento e Operação de um Trocador de Calor**

Monografia submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado Didático do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso II.

Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Engenharia

Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Orientador: Lúcio Fábio Dias Passos, DEQ/UFMG

Belo Horizonte

Novembro de 2017

---

Felipe Rodrigues Pereira Fonseca

Desenvolvimento de uma Plataforma Embarcada para Monitoramento e Operação de um Trocador de Calor/ Felipe Rodrigues Pereira Fonseca. – Belo Horizonte, Novembro de 2017-

37 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Lúcio Fábio Dias Passos, DEQ/UFMG

Monografia de Projeto Final de Curso – Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Engenharia

Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Novembro de 2017.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. I. Orientador. II. Universidade xxx. III. Faculdade de xxx. IV. Título

CDU 02:141:005.7

---

Felipe Rodrigues Pereira Fonseca

## **Desenvolvimento de uma Plataforma Embarcada para Monitoramento e Operação de um Trocador de Calor**

Monografia submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado Didático do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso II.

Trabalho aprovado. Belo Horizonte, 24 de novembro de 2012:

---

**Lúcio Fábio Dias Passos, DEQ/UFMG**  
Orientador

---

**Professor**  
Convidado 1

---

**Professor**  
Convidado 2

Belo Horizonte  
Novembro de 2017



*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,  
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*





# Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados à Gerald Weber, Miguel Frasson, Leslie H. Watter, Bruno Parente Lima, Flávio de Vasconcellos Corrêa, Otavio Real Salvador, Renato Machnievszc<sup>1</sup> e todos aqueles que contribuíram para que a produção de trabalhos acadêmicos conforme as normas ABNT com L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X fosse possível.

Agradecimentos especiais são direcionados ao Centro de Pesquisa em Arquitetura da Informação<sup>2</sup> da Universidade de Brasília (CPAI), ao grupo de usuários *latex-br*<sup>3</sup> e aos novos voluntários do grupo *abnT<sub>E</sub>X2*<sup>4</sup> que contribuíram e que ainda contribuirão para a evolução do abnT<sub>E</sub>X2.

---

<sup>1</sup> Os nomes dos integrantes do primeiro projeto abnT<sub>E</sub>X foram extraídos de <http://codigolivre.org.br/projects/abntex/>

<sup>2</sup> <http://www.cpai.unb.br/>

<sup>3</sup> <http://groups.google.com/group/latex-br>

<sup>4</sup> <http://groups.google.com/group/abntex2> e <http://abntex2.googlecode.com/>



*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,  
mas transformai-vos pela renovação da mente,  
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:  
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.  
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*



# Resumo

Resumo

**Palavras-chaves:** latex. abntex. editoração de texto.



# Abstract

This is the english abstract.

**Key-words:** latex. abntex. text editoration.





# Lista de ilustrações

Figura 2.1 –Trocador de Calor presente no LOP. . . . .	5
Figura 2.2 –Painel instalado na planta de trocador de calor . . . . .	6
Figura 3.1 –Arquitetura do sistema instalado . . . . .	7
Figura 3.2 –Arquitetura do sistema BrewPi . . . . .	10
Figura 3.3 –Nova Arquitetura Proposta para o Sistema . . . . .	10
Figura 3.4 –Arquitetura Detalhada . . . . .	13
Figura 3.5 –Estrutura do Código do Arduino . . . . .	14



# Lista de tabelas

Tabela 3.1 –Requisitos Funcionais do Sistema . . . . .	8
Tabela 3.2 –Comparação entre tecnologias . . . . .	9
Tabela 3.3 –Comparação entre versões do Raspberry PI . . . . .	11
Tabela 3.4 –Atribuições de cada Componente . . . . .	12



# Lista de abreviaturas e siglas

Fig.            Area of the  $i^{th}$  component

456            Isto é um número

123            Isto é outro número

lauro cesar   este é o meu nome



# Lista de símbolos

$\Gamma$	Letra grega Gama
$\Lambda$	Lambda
$\zeta$	Letra grega minúscula zeta
$\in$	Pertence





# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
	<i>Este capítulo apresenta a motivação e justificativa para a realização deste projeto e o local de desenvolvimento, bem como descreve brevemente a estrutura da monografia</i>	
1.1	Motivação e Justificativa	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Local de Realização	3
1.4	Estrutura da Monografia	3
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
	<i>Teste, teste</i>	
2.1	Laboratório de Operações e Processos	5
2.2	Controle e Monitoramento de Processos Industriais	6
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>7</b>
	<i>Este capítulo apresenta a arquitetura do sistema implementado. São descritos os módulos do sistema, suas interconexões e como eles funcionam.</i>	
3.1	Estado Atual	7
3.2	Requisitos Funcionais do Sistema	7
3.3	Critérios para Escolha do Sistema	8
3.4	Arquitetura do Sistema	9
3.4.1	Escolha da Versão do Raspberry PI	11
3.4.2	Arquitetura Detalhada do Sistema	12
3.4.2.1	Funcionamento do Arduino	13
3.4.2.2	Comunicação Entre Arduino e Gateway	14
3.4.2.3	Funcionamento do Gateway	15
3.4.2.4	Comunicação entre WebServer e Gateway	16
3.4.2.5	WebServer	16
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>21</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>23</b>

<b>Apêndices</b>	<b>25</b>
<b>APÊNDICE A</b> Quisque libero justo . . . . .	<b>27</b>
<b>APÊNDICE B</b> Nullam elementum urna vel imperdiet sodales elit ipsum pharetra ligula ac pretium ante justo a nulla curabitur tristique arcu eu metus . . . . .	<b>29</b>
<b>Anexos</b>	<b>31</b>
<b>ANEXO A</b> Morbi ultrices rutrum lorem. . . . .	<b>33</b>
<b>ANEXO B</b> Cras non urna sed feugiat cum sociis natoque penatibus et magnis disparturient montes nascetur ridiculus mus . . . . .	<b>35</b>
<b>ANEXO C</b> Fusce facilisis lacinia dui . . . . .	<b>37</b>

# 1 Introdução

*Este capítulo apresenta a motivação e justificativa para a realização deste projeto e o local de desenvolvimento, bem como descreve brevemente a estrutura da monografia*

## 1.1 Motivação e Justificativa

Um trocador de calor pode ser definido como um dispositivo em que ocorre uma transferência de calor entre duas substâncias que estejam em temperaturas distintas. Geralmente, as substâncias envolvidas são fluidos. Os trocadores de calor podem ser classificados com relação a diversos critérios, como por exemplo o modo de troca de calor, tipo de construção, entre outros. (KREITH; MANGLIK; BOHN, 2011)

Indústrias dos mais variados setores utilizam trocadores de calores para diversas funcionalidades, tais como:

- Recuperar energia térmica gerada em algum processo, com o intuito de reduzir o consumo de energia da planta;
- Transportar produtos em temperaturas predeterminadas.

Portanto, é de suma importância a utilização de um sistema de controle eficiente em plantas que contém trocadores de calor. Plantas como essa devem ser capazes de atender referências de temperatura bem como rejeitar de possíveis perturbações que podem ocorrer durante o funcionamento do processo. (NOVAZZI, 2007). Além disso, soluções que permitem o monitoramento e operação remota das plantas são relevantes para o processo, uma vez que trocadores de calor podem estar instalados em ambientes de difícil acesso ou operando em altas temperaturas. A operação remota de plantas industriais traz outros benefícios como (RAMESH BABAU; KRISHNAMURTHY; INDRA, 2009):

- Interface mais amigável de operação, que contribui para uma atuação mais rápida e assertiva;
- Melhor acessibilidade aos dados coletados, o que permite a equipe de engenharia e de gestão analisar e e propor melhorias na operação.

Diferentes arquiteturas de sistema de supervisão (monitoramento e operação) e controle podem ser aplicadas em plantas industriais. Encontram-se plantas utilizando a

tradicional topologia formada por PLC e um computador (PC) executando alguma ferramenta SCADA <sup>1</sup>, bem como é possível verificar a utilização de sistemas embarcados.<sup>2</sup> A escolha entre uma ou outra arquitetura depende de uma série de fatores, como: funcionalidades disponibilizadas por cada ferramenta, custo, domínio do desenvolvedor para utilizar determinados softwares, entre outros.

Um sistema embarcado pode ser definido como um sistema projetado para realizar tarefas específicas e geralmente fazem parte de uma aplicação maior, operando em tempo real e sem intervenção do usuário (BASKIYAR; MEGHANNATHAN, 2005). Devido ao avanço da tecnologia e o aumento do poder de processamento dos hardwares, os sistemas embarcados podem realizar cada vez mais tarefas, ou seja, disponibilizar mais funcionalidades aos usuários (PEREIRA; CARVALHO et al., 2011). Este fenômeno também ocorre para os softwares SCADA, que estão cada vez mais poderosos e oferecem cada vez mais recursos (GREENFIELD, 2017). Porém, quanto maior é a variabilidade de opções de projeto disponível, maior é a dificuldade de se alcançar uma padronização no desenvolvimento e, principalmente, uma padronização da comunicação entre os componentes, pois muitos sistemas ainda se comunicam em protocolo proprietário.

Colocar nesse parágrafo informações sobre a evolução na utilização de sistemas Web no controle de processo, abordando a necessidade crescente de comunicação de vários sistemas.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para monitoramento e operação via Web de um trocador de calor localizado em um dos laboratórios do departamento da engenharia química da UFMG. Para isso, foram utilizados protocolos de comunicação e ferramentas de código aberto, para possibilitar futura integração de outros sistemas e/ou funcionalidades.

O tema é relevante pois, a implementação proposta permite aos alunos que realizem as práticas no laboratório forma mais adequada, de forma que os esforços estejam concentrados na análise dos experimentos e identificação dos fenômenos, e não na coleta de dados e regulação da planta nos pontos de operação. Essa implementação também permite aos alunos de Engenharia de Controle e Automação estudar modelagem de sistemas e projeto de controladores. Por fim, a solução proposta também proporciona aos alunos o contato com tecnologias emergentes e que podem ser utilizadas largamente nas indústrias.

## 1.2 Objetivos

De acordo com as informações expostas acima, este Projeto Final de Curso (PFC) possui o seguinte objetivo geral:

<sup>1</sup> <https://www.wonderware.com/hmi-scada/what-is-scada/>

<sup>2</sup> [http://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO\\_SIST\\_EMB.pdf](http://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO_SIST_EMB.pdf)

- Propor e testar uma solução baseada em sistemas embarcados para monitoramento e operação remota de um trocador de calor.

Além do objetivo geral, o projeto possui também os seguintes objetivos específicos:

- Comparar a solução embarcada com um software de prateleira tradicional;
- Proporcionar uma base de conhecimento para implementações de sistemas semelhantes para outras plantas do laboratório;
- Possibilitar a inserção de mais funcionalidades ao sistema, como por exemplo um algoritmo de autovalidação. da planta;

## 1.3 Local de Realização

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Operações e Processos Industriais, um dos laboratórios que pertencem ao Departamento de Engenharia Química (DEQ) da UFMG. Estes laboratórios são utilizados para fins didáticos e de pesquisa.

## 1.4 Estrutura da Monografia

O trabalho está dividido em 6 capítulos. O presente capítulo apresentou a motivação e os objetivos do trabalho. O capítulo 2 ....



## 2 Revisão Bibliográfica

*Teste, teste*

### 2.1 Laboratório de Operações e Processos

O Laboratório de Operações e Processos (LOP) é um dos diversos laboratórios para fins de ensino e pesquisa pertencentes ao Departamento de Engenharia Química da UFMG (DEQ). Ainda existem outros laboratórios vinculados ao departamento cuja finalidade é prestar serviços às comunidades interna e externa à UFMG <sup>1</sup>.

O LOP possui quatro plantas didáticas: **explicar aqui brevemente as 4 plantas constituintes do laboratório**

O trocador de calor existente no laboratório, cuja imagem pode ser vista na [Figura 2.1](#), é do tipo **tubular**.



Figura 2.1 – Trocador de Calor presente no LOP.

Este trocador de calor foi instalado no laboratório em **colocar aqui a história do trocador de calor** e originalmente possuía apenas a indicação das medidas de temperatura. A imagem destaca os sensores de temperatura instalados inicialmente. A medição de vazão era inferida através da utilização de uma Calha Parshall<sup>2</sup>.

Em 2016, um projeto de modernização desta planta foi iniciado por ([PEREIRA; ROCHA et al., 2016](#)). O projeto consistiu na implementação de um sistema embarcado

<sup>1</sup> <http://www.deq.ufmg.br/departamento/infraestrutura>

<sup>2</sup> <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/PARSHALL.html>

para monitoramento, operação e controle da planta. Para alcançar o objetivo, foram feitos os seguintes passos:

- Instalação de quatro novos sensores de temperatura, dois novos sensores de vazão, tornando possível a medição digital das vazões, 2 relés, para o controle do acionamento dos atuadores e um inversor de frequência para controlar a rotação da bomba;
- Instalação de um Arduino Due<sup>3</sup> para fazer a interface com sensores e atuadores, processar os algoritmos de controle, e exibir os dados em um display LCD. O programa criado no Arduino possibilita a operação em modo automático e manual;
- Construção e instalação de um painel para operar e visualizar os dados da planta. Através desse painel é possível selecionar o modo de funcionamento da planta (manual ou automático). Em modo manual, é possível ligar e desligar bomba e aquecedor, bem como controlar a velocidade da bomba e potência do aquecedor. O display LCD permite exibir várias informações como por exemplo valores das temperaturas e vazões, bem como a sintonia dos controladores. Essas informações não conseguem ser expostas ao mesmo tempo para o usuário, portanto um sistema de navegação foi implementado no Arduino. O esboço do painel elaborado é mostrado na Figura 2.2.

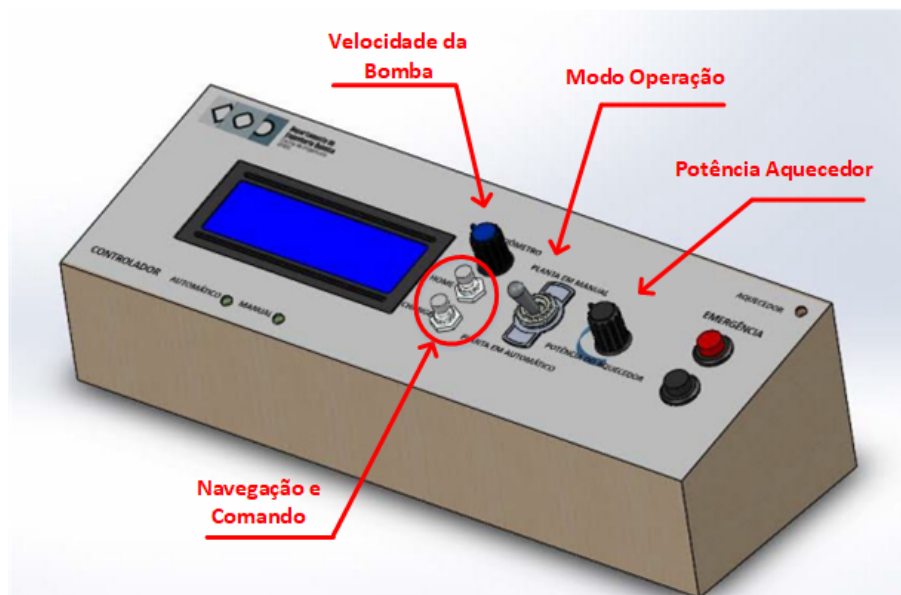


Figura 2.2 – Painel instalado na planta de trocador de calor.  
Adaptado de (PEREIRA; ROCHA et al., 2016)

## 2.2 Controle e Monitoramento de Processos Industriais

<sup>3</sup> <https://store.arduino.cc/usa/arduino-due>



## 3 Metodologia

*Este capítulo apresenta a arquitetura do sistema implementado. São descritos os módulos do sistema, suas interconexões e como eles funcionam.*

### 3.1 Estado Atual

A Arquitetura do sistema atual instalado na planta de trocador de calor está representada na [Figura 3.1](#). Pelo painel é possível efetuar a leitura das variáveis de processo, cuja leitura é feita pelo Arduino, bem como comandar a bomba e o aquecedor. É importante observar que o controle da potência do aquecedor não passa pelo Arduino, e que o sistema não recebe nenhum feedback sobre a velocidade da bomba, bem como sobre a potência do aquecedor. Apesar de estar previsto no projeto de [Pereira, Rocha et al. \(2016\)](#), nenhum controle em malha fechada está operacional.

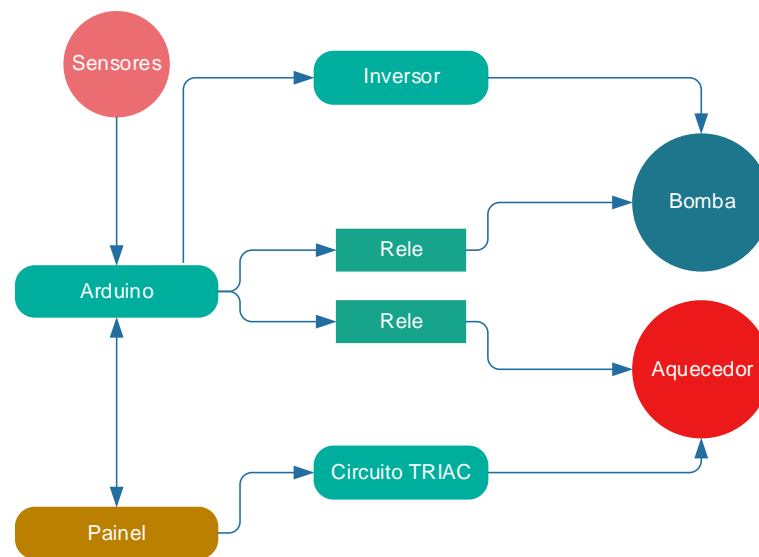


Figura 3.1 – Arquitetura do sistema instalado

O intuito do projeto é implementar um sistema de monitoramento e controle remoto, sem que haja alteração infraestrutura já montada. Em resumo, o objetivo é implementar um sistema que necessite apenas se comunicar com o Arduino para executar as suas tarefas.

### 3.2 Requisitos Funcionais do Sistema

Para determinar a arquitetura do sistema a ser implementado, foram levantados os requisitos funcionais do sistema, ou seja, quais informações devem ser transmitidas ao

operador, bem como quais as ações que este pode realizar no sistema. Os requisitos estão resumidos na [Tabela 3.1](#).

Tabela 3.1 – Requisitos Funcionais do Sistema

Índice Requisito	Descrição Requisito
1	Exibir a informação atual das variáveis de processo (vazões e temperaturas)
2	Exibir o estado da bomba e do aquecedor (Ligado ou Desligado)
3	Exibir o valor da rotação atual da bomba
4	Em modo remoto, deve permitir que o operador acione a bomba e o aquecedor
5	Em modo remoto, deve permitir que o operador altere a velocidade da bomba
6	Permitir a visualização dos dados analógicos em gráficos
7	Impedir a atuação do operador quando o Arduino estiver em modo local ou de emergência
8	Armazenar os dados do sistema em banco de dados
9	Permitir que o usuário habilite ou desabilite o armazenamento de dados das variáveis
10	Permitir que o usuário colete as informações contidas no banco em um arquivo no formato csv
11	Permitir que o usuário apague as informações contidas no banco de dados

Após levantamento dos requisitos, é possível concluir que as arquiteturas citadas na [seção 2.2](#) podem ser utilizadas. É possível utilizar um PC que executa um software SCADA tradicional como utilizado por [Gonçalves, Silva e Batista \(2015\)](#). Basicamente, o Arduino foi programado de forma que ele consiga utilizar um protocolo industrial comumente utilizado por ferramentas SCADA, no caso o protocolo Modbus<sup>1</sup> foi utilizado. Também é possível utilizar uma arquitetura totalmente embarcada como utilizada no sistema *BrewPi* ([BREWPI, 2017](#)).

### 3.3 Critérios para Escolha do Sistema

Para possibilitar a comparação entre a arquitetura SCADA tradicional e embarcada e conseqüentemente ajudar na tomada de decisão, algumas características pontuais do sistema foram avaliadas. Existem características subjetivas e objetivas, sendo que as características subjetivas foram avaliadas de acordo com a experiência na utilização das

<sup>1</sup> <http://www.ni.com/white-paper/52134/pt/>

ferramentas pelo desenvolvedor. Como existem diversos softwares SCADA no mercado, um software específico foi escolhido para comparação. O E3, que é fornecido pela Elipse Software<sup>2</sup>, foi escolhido devido ao grau de conhecimento do desenvolvedor sobre a ferramenta. Os critérios e avaliações estão apresentados na [Tabela 3.2](#).

Tabela 3.2 – Comparação entre tecnologias

Arquitetura Critério	Tecnologia Embarcada	
	SCADA (E3)	
Custo	Alto	Baixo
Complexidade do desenvolvimento das interfaces gráficas	Baixa	Alta
Complexidade da implementação da comunicação com Arduino	Baixa	Média
Facilidade para interoperar com outros sistemas	Média	Alta
Multiplataforma	Não	Sim
Interface se adapta à resolução do dispositivo	Não	Sim
Suporte a vários clientes conectados simultaneamente	Sim	Sim
Consumo de energia	Médio	Baixo

A grande disparidade entre esses sistemas basicamente é o custo em a relação a demanda de mão-de-obra especializada para desenvolvimento de sistemas embarcados. Conhecimentos de ferramentas SCADAs já estão difundidos, facilitando o desenvolvimento de aplicações utilizando essas ferramentas. Contudo, esses softwares são caros, com exceção de algumas ferramentas *opensource* como por exemplo o SCADABR<sup>3</sup>.

Desde o início da modernização do laboratório, o custo era uma das restrições mais fortes, o que favoreceu a opção pela tecnologia embarcada. Além disso, a oportunidade de utilizar tecnologias emergentes no monitoramento de processos contribuiu ainda mais para a utilização de sistemas embarcados.

### 3.4 Arquitetura do Sistema

A arquitetura pensada para o sistema foi inspirada no projeto BrewPi. Esse sistema foi concebido para controlar a temperatura de um recipiente com líquido, bem como

<sup>2</sup> <https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/>

<sup>3</sup> <http://www.scadabr.com.br/>

para permitir o monitoramento via qualquer dispositivo que possua um navegador Web. A Arquitetura deste sistema é mostrada na Figura 3.2. Basicamente, o Arduino, é encarregado de executar a malha de controle e enviar as informações para um RaspberryPi, que implementa um WebServer. Os usuários que desejam visualizar e/ou modificar as informações, devem abrir um navegador e se conectar ao WebServer para obter os dados.

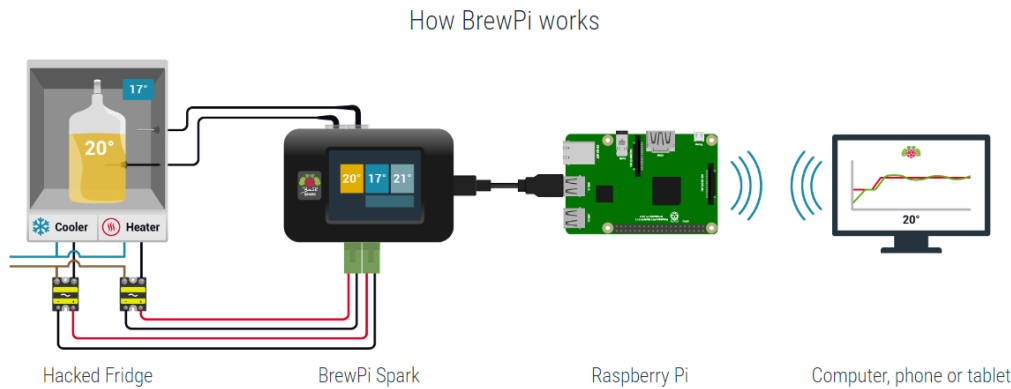


Figura 3.2 – Arquitetura do sistema BrewPi. Fonte: <https://www.brewpi.com/>

Para o trocador de calor, a proposta é semelhante. A adição de um RaspberryPi no sistema atual é simples de ser realizada e está em conformidade com a condição de não modificar as instalações atuais. Dessa forma, a arquitetura proposta simplificada para o sistema com o Raspberry é exibida na Figura 3.3. A Arquitetura detalhada do sistema, como por exemplo, os softwares a serem desenvolvidos em cada dispositivo, bem como a forma de interação entre eles serão tópicos abordados posteriormente.

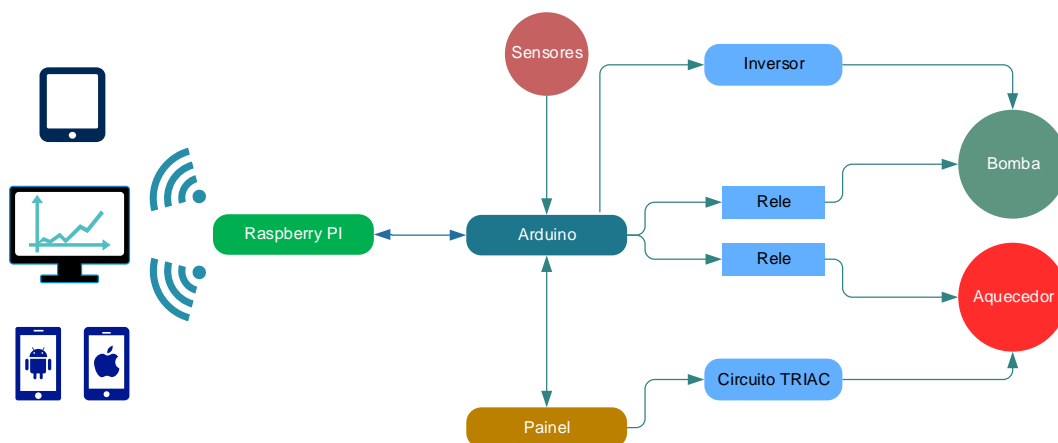


Figura 3.3 – Nova Arquitetura Proposta para o Sistema

É importante salientar que existem outros dispositivos similares ao Raspberry PI como o BeagleBone Black<sup>4</sup> e a recente e também poderosa placa DragonBoard 410c<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> <https://beagleboard.org/black>

<sup>5</sup> <https://developer.qualcomm.com/hardware/dragonboard-410c>

Qualquer uma das placas poderia ser utilizada no projeto. A escolha do Raspberry PI foi influenciada pela extensa base de conhecimento e documentação já produzida pelos usuários, aliado ao menor custo da placa. As demais placas por serem mais novas, não dispõem de muitos documentos e exemplos, o que aumenta o tempo de desenvolvimento de um novo projeto.

Ainda em relação as placas utilizadas, verifica-se que existem vários modelos distintos de Raspberry PI. Portanto é necessário definir qual a versão é a mais adequada ao projeto.

### 3.4.1 Escolha da Versão do Raspberry PI

O Raspberry PI possui algumas versões, que se diferem em tamanho, capacidade de memória, processamento e componentes. Um resumo das características das principais versões do Raspberry é exibido na [Tabela 3.3](#)

Tabela 3.3 – Comparação entre versões do Raspberry.  
Adaptado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)

	Raspberry 1	Raspberry 2	Raspberry 3
Lançamento	02/2013	02/2015	02/2016
Preço	\$25	\$35	\$35
Arquitetura	ARMv6Z	ARMv7-A	ARMv8-A
CPU	700Mhz one core	900Mhz quad-core 64bit	1.2Ghz quad-core 64bit
Memória	256MB	1GB	1GB
Nº de Portas USB	1	4	4
Corrente	300mA	220mA - 820mA	300mA - 1.34A
Wifi Integrado	Não	Não	Sim. 802.11n
Bluetooth Integrado	Não	Não	Sim. v4.1

A última versão do Raspberry apresenta uma grande vantagem por possuir Wifi nativamente. Isso evita a utilização de adaptadores para utilizar a comunicação Wireless no dispositivo. Além disso, possui maior poder de processamento, conta com um chip mais moderno, e suporta uma capacidade maior de corrente em estado de sobrecarga. Portanto, o Raspberry 3 foi escolhido. Na próxima seção detalhados os sistemas a serem executados dentro do Raspberry e como estes se relacionam entre si e com o Arduino.

### 3.4.2 Arquitetura Detalhada do Sistema

A [Figura 3.1](#) exibe a visão geral do sistema, ou seja, não exibe como é a comunicação entre os componentes. Como dito anteriormente, não faz parte do escopo do projeto promover alterações nas instalações atuais, portanto, é necessário focar apenas em como o Raspberry será programado e como será realizada a sua comunicação com o Arduino.

Os componentes foram projetados de forma que cada um funcione da forma mais independente possível. Dessa forma, o impacto no sistema caso haja alguma alteração de componente, em termos de esforço de desenvolvimento, é minimizado.

A arquitetura detalhada do sistema é exibida na [Figura 3.4](#). Foram definidos 3 componentes: o programa que é executado no Arduino; o Gateway e o WebServer, **que são** programas que são executados no Raspberry. O termo componente deve ser entendido nesse contexto como um programa, por isso o banco de dados não deve ser interpretado como um componente. Optou-se por criar dois programas no Raspberry PI, de forma que as funcionalidades do sistema fossem corretamente agrupadas. As atribuições de cada programa estão resumidas na [Tabela 3.4](#)

Tabela 3.4 – Atribuições de cada Componente

	Atribuições
Arduino	1 - Interface com sensores e Atuadores 2 - Interface com Painel 3 - Enviar estado do sistema quando solicitado pelo Gateway 4 - Interpretar comandos enviados pelo Gateway
Gateway	5 - Solicitar de forma cíclica o estado das variáveis 6 - Armazenar os dados recebidos em um banco de dados 7 - Receber comandos vêm do WebServer (comandos dos usuários) e repassar ao Arduino
WebServer	8 - Ler dados do banco e apresentar ao usuário 9 - Receber comandos do usuário e repassar ao Gateway

É importante observar que as atribuições 4 e 5 envolvem uma comunicação entre Arduino e Gateway, e as atribuições 7 e 9 envolvem uma comunicação entre o WebServer e Gateway. Portanto, é necessário definir protocolos de comunicação para ambos os casos. Já foi dito que os componentes foram projetados de forma a possibilitar a substituição de um componente sem alterar os demais. Porém, alterações no protocolo de comunicação necessariamente levam a modificações nos componentes envolvidos. Em resumo, os protocolos de comunicação devem ser mantidos.

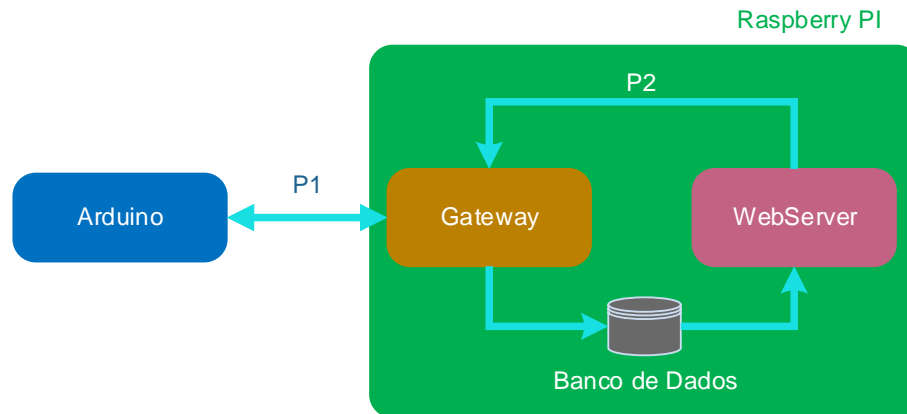


Figura 3.4 – Arquitetura Detalhada

#### 3.4.2.1 Funcionamento do Arduino

Foi feita uma análise do programa atual que o Arduino executa. O programa é extenso (contém 1482 linhas), sendo que cerca de 90% do código é dedicado a cuidar do sistema de navegação do display LCD através dos botões existentes no painel. A implementação de um sistema de monitoramento elimina a necessidade dessa estrutura de navegação, de modo que o painel passe a ter apenas funcionalidades diretas de acionamento, e o display exiba apenas informações básicas. Portanto, a melhor opção foi reformular o código do Arduino e aproveitar apenas as funções que fazem a leitura dos sensores e convertem os valores para unidade de engenharia.

A estrutura do código, que está exibida na [Figura 3.5](#), foi montada de forma a permitir rápida adaptação do mesmo para diferentes protocolos de comunicação, e está de acordo com as atribuições mencionadas na [Tabela 3.4](#). As trocas de mensagens com o Gateway são feitas por interrupção, ou seja, estão fora da função *loop* do Arduino.

O programa criado seguiu o paradigma de programação procedural, ou seja, o programa foi bastante modularizado. Esse tipo de prática acelera a identificação de uma funcionalidade (atribuição) no código fonte, o que facilita a manutenção deste. Outro benefício é a possibilidade de expansão de funcionalidades, como por exemplo a implementação de malhas de controle no código. **Para isso, um Estado Automático cujas atribuições fossem executar as malhas de controle poderia ser adicionado ao sistema. Para que este estado entre em funcionamento, bastaria adicionar mais uma condição de teste no código, ou seja, uma alteração bastante simples.**

No diagrama é utilizado o termo “estado do sistema”, que deve ser interpretado como o conjunto de variáveis necessários para descrever o sistema. Essas variáveis são: as 4 temperaturas; 2 vazões; estado de acionamento de bomba e aquecedor (Ligado ou Desligado); velocidade da bomba; modo de operação (Local ou Remoto) e se o botão de emergência está acionado ou não.

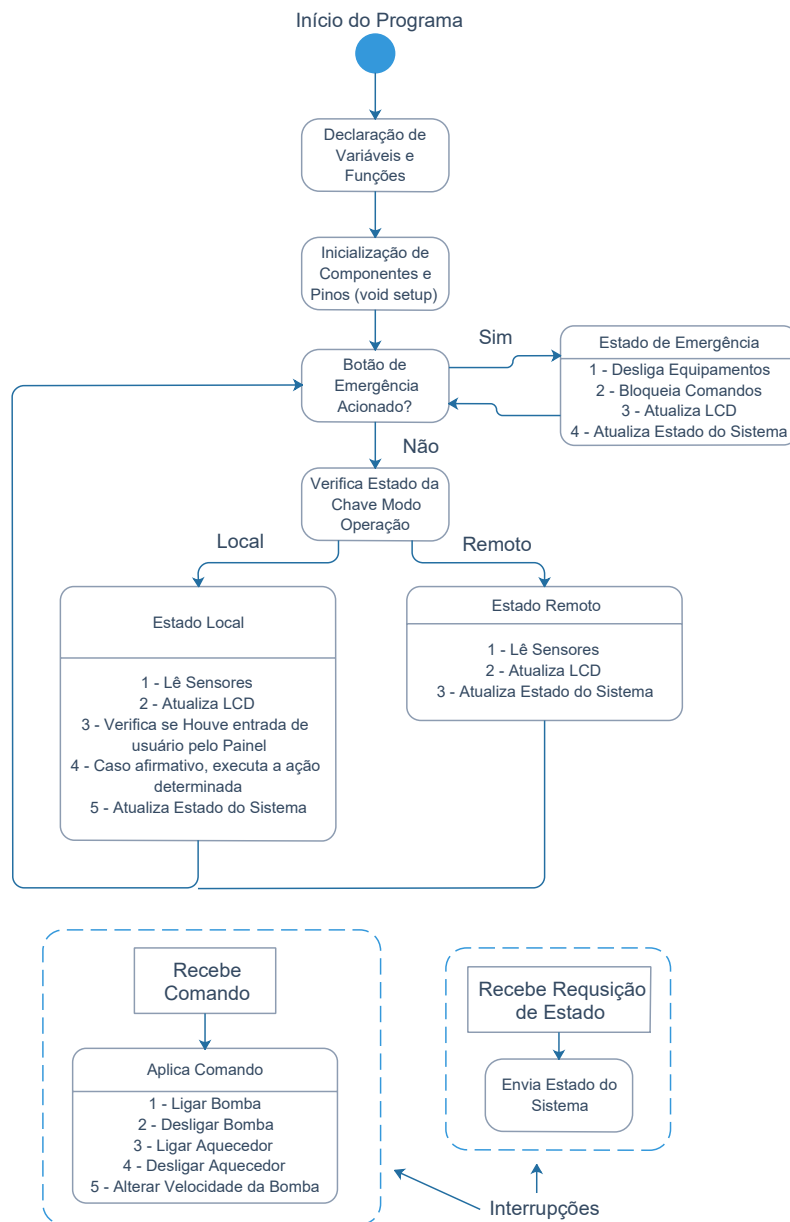


Figura 3.5 – Estrutura do Código do Arduino

### 3.4.2.2 Comunicação Entre Arduino e Gateway

Ao observar as atribuições 3 e 4 da [Tabela 3.4](#), verifica-se que a comunicação entre Arduino e Gateway é do tipo mestre-escravo, ou seja, o dispositivo mestre (Gateway) sempre inicia a comunicação, e o escravo (Arduino) responde quando solicitado. Existem diversos protocolos que implementam esse tipo de comunicação.

É necessário escolher um protocolo que funcione em meio físico serial, uma vez que nenhum *Shield* Ethernet será utilizado. É possível portanto utilizar algum protocolo



industrial, disponibilizado na forma de bibliotecas, ou então algum dos protocolos seriais descritos na seção [colocar aqui a seção da rev sobre protocolos](#), ou seja: UART, SPI, I2C.

O protocolo industrial aberto encontrado com maior frequência em outras referências e implementações é o Modbus. É possível baixar pelo menos 5 bibliotecas que implementam o protocolo. A utilização de Modbus apresenta a vantagem de facilitar a integração com diferentes sistemas, uma vez que é um protocolo amplamente difundido e utilizado. Contudo, ao adicionar a biblioteca Modbus no Arduino, o código aumenta consideravelmente o tamanho, pois as bibliotecas implementam praticamente todo o protocolo, o que é desnecessário para o projeto atual, uma vez que a quantidade de informações trocadas entre os componentes é pequena.

O protocolo SPI possui uma taxa de transferência máxima maior que I2C e UART, porém a implementação da troca das mensagens entre os dispositivos é a mais complexa. O protocolo SPI exige o recebimento de informação enquanto está enviando, o que é ruim em para o propósito desse sistema, pois torna-se necessário o tratamento de informações indesejadas. A comunicação UART permite a implementação mais simples de troca de mensagens. Porém, é a mais lenta das 3, além de ser assíncrona. Além disso, a troca de mensagens é através de strings, portanto, o tamanho dos frames envolvidos na troca de mensagens é maior.

O protocolo I2C se apresenta como um meio termo entre SPI e UART, em termos de complexidade das trocas de mensagens e velocidade de comunicação. Além disso, é um protocolo síncrono, e a velocidade típica de utilização, que é 100kbps, atende plenamente ao projeto. Portanto, o I2C será utilizado no projeto. Existe uma biblioteca nativa que implementa o I2C para o Arduino, bem como existem bibliotecas I2C para diversas linguagens de programação (necessário para o Gateway). Os detalhes dos frames de comunicação serão explorados no capítulo de [implementação](#).

#### 3.4.2.3 Funcionamento do Gateway

O programa do Gateway foi desenvolvido em Python, embora possa ser escrito também em Java e C/C++, que são linguagens também suportadas pelo Raspberry. O Python foi escolhido por ser uma linguagem de programação de alto nível, ou seja, uma linguagem que está próxima da linguística humana. Essa característica facilita o entendimento de programas, e acelera o processo de aprendizado da mesma.

O processo do Gateway foi dividido em duas Threads. Uma thread é responsável por solicitar os dados do arduino e enviar ao banco de dados, e a outra responsável por aguardar comandos vindos do WebServer, e repassar ao Arduino. A divisão se mostra uma decisão acertada. Enquanto a tarefa de leitura dos dados e envio ao banco é executada em um intervalo fixo, o recebimento dos dados do WebServer é essencialmente assíncrono, pois os usuários podem enviar comandos em qualquer momento. Portanto, implementar

ambas as funcionalidades em uma única Thread seria inviável. Além disso, essa implementação permite o repasse do comando enviado pelo WebServer para o Arduino tão logo a mensagem seja recebida. As Threads compartilham apenas um recurso, que é o canal I2C, para escrita e leitura dos dados para o Arduino.

#### 3.4.2.4 Comunicação entre WebServer e Gateway

A comunicação entre WebServer e Gateway é feita via TCP/IP. Uma das threads do Gateway implementa um servidor TCP assíncrono que fica “escutando” em uma determinada porta. A cada comando de usuário, o WebServer abre um cliente, se conecta ao servidor TCP, envia a informação necessária e posteriormente fecha a conexão. Dessa forma, evita-se manter conexões estabelecidas de forma desnecessária.

As mensagens trafegadas consistem em um conjunto strings. Para simplificar o processo de decodificação da mensagem, bem como facilitar a captura de erros no transporte, decidiu-se transmitir as informações em pacotes JSON. Como dito na seção [colocar aqui a seção que fala sobre json](#), uma das vantagens de se utilizar JSON é a fácil interpretação das mensagens, tanto pelos humanos, quanto pelos softwares.

#### 3.4.2.5 WebServer

Conforme foi abordado na seção [colocar a seção sobre frameworks web](#), existem frameworks web para diversas linguagens de programação, inclusive existem muitos frameworks para uma mesma linguagem de programação. A linguagem Python foi mantida para o desenvolvimento do WebServer, pelos mesmos motivos mencionados na seção anterior.

[Primakovski \(2017\)](#) e [Brown \(2015\)](#) abordam sobre as diferenças entre os diversos frameworks web existentes para a linguagem Python. O framework escolhido foi o Django devido a 4 motivos:

1. É um dos frameworks mais utilizados. Portanto, conta com uma vasta e completa documentação.
2. A complexidade de uma aplicação escrita em Django é praticamente uniforme. Ou seja, uma aplicação de pequeno porte ou grande porte, resultam em um código de complexidade próxima.
3. O framework Django é adequado para usuários que querem desenvolver aplicações web rapidamente, sem fazer muitas decisões sobre a infraestrutura da aplicação. Ou seja, o Django já fornece uma infraestrutura básica para possibilitar desenvolvimento imediato

4. Consultas a banco de dados não precisam ser feitas utilizando código SQL. O Django provê uma estrutura de forma que é possível manipular dados do banco através de códigos Python. Isso facilita, por exemplo, algumas funcionalidades do Gateway.

Para apresentação da interface para o cliente são utilizadas as linguagens HTML e CSS. A parte da animação e interatividade da página é desenvolvida utilizando JavaScript. Essas 3 linguagens são utilizadas por quase todos os sistemas web existentes atualmente.



## 4 Resultados



## 5 Conclusão

Sed consequat tellus et tortor. Ut tempor laoreet quam. Nullam id wisi a libero tristique semper. Nullam nisl massa, rutrum ut, egestas semper, mollis id, leo. Nulla ac massa eu risus blandit mattis. Mauris ut nunc. In hac habitasse platea dictumst. Aliquam eget tortor. Quisque dapibus pede in erat. Nunc enim. In dui nulla, commodo at, consectetur nec, malesuada nec, elit. Aliquam ornare tellus eu urna. Sed nec metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.

Phasellus id magna. Duis malesuada interdum arcu. Integer metus. Morbi pulvinar pellentesque mi. Suspendisse sed est eu magna molestie egestas. Quisque mi lorem, pulvinar eget, egestas quis, luctus at, ante. Proin auctor vehicula purus. Fusce ac nisl aliquam ante hendrerit pellentesque. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi wisi. Etiam arcu mauris, facilisis sed, eleifend non, nonummy ut, pede. Cras ut lacus tempor metus mollis placerat. Vivamus eu tortor vel metus interdum malesuada.

Sed eleifend, eros sit amet faucibus elementum, urna sapien consectetur mauris, quis egestas leo justo non risus. Morbi non felis ac libero vulputate fringilla. Mauris libero eros, lacinia non, sodales quis, dapibus porttitor, pede. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi dapibus mauris condimentum nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam sit amet erat. Nulla varius. Etiam tincidunt dui vitae turpis. Donec leo. Morbi vulputate convallis est. Integer aliquet. Pellentesque aliquet sodales urna.





# Bibliografia

- BASKIYAR, S.; MEGHANNATHAN, N. A Survey of Contemporary Real-time Operating Systems. **Informatica**, v. 29, p. 233–240, 2005. Citado na página 2.
- BREWPI. **About Brew Pi**. 2017. Disponível em: <<https://www.brewpi.com/>>. Acesso em: 24 out. 2017. Citado na página 8.
- BROWN, Ryan. **Django vs Flask vs Pyramid: Choosing a Python Web Framework**. 2015. Disponível em: <<https://www.airpair.com/python/posts/django-flask-pyramid>>. Acesso em: 27 out. 2017. Citado na página 16.
- GONÇALVES, Alexandre José; SILVA, Jair Rodrigues da; BATISTA, João Carlos. **Sistema Didático de Automação Baseado em Computador para Seleção de Esferas**. 2015. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. Citado na página 8.
- GREENFIELD, David. **Will SCADA Remain Relevant as Industry Advances?** [S.l.: s.n.], 7 set. 2017. Disponível em: <<https://www.automationworld.com/will-scada-remain-relevant-industry-advances>>. Acesso em: 11 out. 2017. Citado na página 2.
- KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M.; BOHN, Mark S. **Principles of Heat Transfer**. 7. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2011. p. 485–486. 784 p. Citado na página 1.
- NOVAZZI, Luis F. **Dinâmica e Controle de Redes de Trocadores de Calor**. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas. Citado na página 1.
- PEREIRA, Luis E. G.; ROCHA, Lucas Azevedo et al. **Projeto e implementação de sistema embarcado para monitoramento e controle do trocador de calor**. 2016. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Citado 2 vezes nas páginas 5–7.
- PEREIRA, Luiz Arthur Malta; CARVALHO, Francine Roberta et al. Software Embarcado, O Crescimento e as Novas Tendências Deste Mercado. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 6, p. 85–94, 2011. Citado na página 2.
- PRIMAKOVSKI, Bogdan. **17 Best Python Web Frameworks to Learn in 2017**. 27 maio 2017. Disponível em: <<http://steelkiwi.com/blog/best-python-web-frameworks-to-learn/>>. Acesso em: 27 out. 2017. Citado na página 16.

RAMESH BABAU, Kiruba Shankar; KRISHNAMURTHY, K; INDRA, J. Remote monitoring system for distributed control of industrial plant process. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 68, out. 2009. Citado na página [1](#).

## Apêndices



## APÊNDICE A – Quisque libero justo

Quisque facilisis auctor sapien. Pellentesque gravida hendrerit lectus. Mauris rutrum sodales sapien. Fusce hendrerit sem vel lorem. Integer pellentesque massa vel augue. Integer elit tortor, feugiat quis, sagittis et, ornare non, lacus. Vestibulum posuere pellentesque eros. Quisque venenatis ipsum dictum nulla. Aliquam quis quam non metus eleifend interdum. Nam eget sapien ac mauris malesuada adipiscing. Etiam eleifend neque sed quam. Nulla facilisi. Proin a ligula. Sed id dui eu nibh egestas tincidunt. Suspendisse arcu.



# APÊNDICE B – Nullam elementum urna vel imperdiet sodales elit ipsum pharetra ligula ac pretium ante justo a nulla curabitur tristique arcu eu metus

Nunc velit. Nullam elit sapien, eleifend eu, commodo nec, semper sit amet, elit. Nulla lectus risus, condimentum ut, laoreet eget, viverra nec, odio. Proin lobortis. Curabitur dictum arcu vel wisi. Cras id nulla venenatis tortor congue ultrices. Pellentesque eget pede. Sed eleifend sagittis elit. Nam sed tellus sit amet lectus ullamcorper tristique. Mauris enim sem, tristique eu, accumsan at, scelerisque vulputate, neque. Quisque lacus. Donec et ipsum sit amet elit nonummy aliquet. Sed viverra nisl at sem. Nam diam. Mauris ut dolor. Curabitur ornare tortor cursus velit.

Morbi tincidunt posuere arcu. Cras venenatis est vitae dolor. Vivamus scelerisque semper mi. Donec ipsum arcu, consequat scelerisque, viverra id, dictum at, metus. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut pede sem, tempus ut, porttitor bibendum, molestie eu, elit. Suspendisse potenti. Sed id lectus sit amet purus faucibus vehicula. Praesent sed sem non dui pharetra interdum. Nam viverra ultrices magna.

Aenean laoreet aliquam orci. Nunc interdum elementum urna. Quisque erat. Nullam tempor neque. Maecenas velit nibh, scelerisque a, consequat ut, viverra in, enim. Duis magna. Donec odio neque, tristique et, tincidunt eu, rhoncus ac, nunc. Mauris malesuada malesuada elit. Etiam lacus mauris, pretium vel, blandit in, ultricies id, libero. Phasellus bibendum erat ut diam. In congue imperdiet lectus.





# Anexos



## ANEXO A – Morbi ultrices rutrum lorem.

Sed mattis, erat sit amet gravida malesuada, elit augue egestas diam, tempus scelerisque nunc nisl vitae libero. Sed consequat feugiat massa. Nunc porta, eros in eleifend varius, erat leo rutrum dui, non convallis lectus orci ut nibh. Sed lorem massa, nonummy quis, egestas id, condimentum at, nisl. Maecenas at nibh. Aliquam et augue at nunc pellentesque ullamcorper. Duis nisl nibh, laoreet suscipit, convallis ut, rutrum id, enim. Phasellus odio. Nulla nulla elit, molestie non, scelerisque at, vestibulum eu, nulla. Ut odio nisl, facilisis id, mollis et, scelerisque nec, enim. Aenean sem leo, pellentesque sit amet, scelerisque sit amet, vehicula pellentesque, sapien.



# ANEXO B – Cras non urna sed feugiat cum sociis natoque penatibus et magnis disparturient montes nascetur ridiculus mus

Sed consequat tellus et tortor. Ut tempor laoreet quam. Nullam id wisi a libero tristique semper. Nullam nisl massa, rutrum ut, egestas semper, mollis id, leo. Nulla ac massa eu risus blandit mattis. Mauris ut nunc. In hac habitasse platea dictumst. Aliquam eget tortor. Quisque dapibus pede in erat. Nunc enim. In dui nulla, commodo at, consectetur nec, malesuada nec, elit. Aliquam ornare tellus eu urna. Sed nec metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.



## ANEXO C – Fusce facilisis lacinia dui

Phasellus id magna. Duis malesuada interdum arcu. Integer metus. Morbi pulvinar pellentesque mi. Suspendisse sed est eu magna molestie egestas. Quisque mi lorem, pulvinar eget, egestas quis, luctus at, ante. Proin auctor vehicula purus. Fusce ac nisl aliquam ante hendrerit pellentesque. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi wisi. Etiam arcu mauris, facilisis sed, eleifend non, nonummy ut, pede. Cras ut lacus tempor metus mollis placerat. Vivamus eu tortor vel metus interdum malesuada.