

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

GUILHERME STELLE

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO  
EM UM SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DE ÁGUA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2016

GUILHERME STELLE

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO  
EM UM SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DE ÁGUA**

Monografia de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Leandro Stebel

CURITIBA  
2016

## RESUMO

STELLE, Guilherme. **Sugestão de Implementação de Controle e Automação em um Sistema de Purificação de Água.** 2016. 30 f. Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

O foco da indústria é a grande produção e a venda de produtos que tenham qualidade e sejam destacados entre os outros oferecidos no mercado, a automação industrial vem trazer benefícios que são realmente relevantes quanto aos objetivos finais. Buscando uma solução que pudesse melhorar o processo do sistema de purificação de água, o presente trabalho focou na importância da automação industrial e todos os bons resultados que ela pode oferecer. Com base na melhoria de um sistema já utilizado, foram analisados meios para a melhoria e sugeridos peças que seriam usadas. Considerando-se necessidades do processo que dependem de um equipamento e nem sempre são atingidos, a substituição do equipamento de purificação de água demonstrou a possibilidade de estabilidade nas informações do controle. Dessa forma, foram oferecidos exemplos e sugestões de melhorias, que poderiam aumentar a produtividade, diminuir a necessidade de um controle humano que pode falhar e melhorar o processo como um todo.

**Palavras chave:** Automação. Controle. Sistema. Purificação de água.

## **ABSTRACT**

STELLE, Guilherme. **Suggestion of Control and Automation Implementation in a Water Purification System.** 2016. 30 f. Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Since the industry focus is the major production and sale of products that have quality and are highlighted among the others offered in the market, industrial automation is showing benefits that are really relevant as to the final objectives. Seeking a solution that could improve the process of a water purification system, this work focused on the importance of industrial automation and all the satisfactory results it can offer. Focusing on improving a system already in use, means for improvement and suggested parts that would be used were analyzed. Considering the process requirements to rely on a device and which are not always achieved, replacing the water purification equipment demonstrated the possibility of stability in the control information. Nevertheless, examples and suggestions for improvements which could increase productivity were given, reducing the need for human control and improving the process as a whole.

**Keywords:** Automation. Control. System. Water purification.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da membrana semipermeável.....	14
Figura 2 - Layout hidráulico.....	18
Figura 3 - Fluxograma do sistema a ser analisado.....	19
Figura 4 - Fluxograma do sistema a ser analisado.....	20
Figura 5 - Fluxograma do sistema a ser analisado.....	21
Figura 6 -Transmissor de nível modelo NGR.....	25
Figura 7 - Alarme do Nível de Líquido modelo RT 280A.....	26
Figura 8 - Transmissor de pressão modelo LD-301.....	27
Figura 9 - Transmissor de condutividade modelo 3-8850-3.....	28
Figura 10 - Controlador ControlLogix 1756-IF8H.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo do projeto.....	31
----------------------------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

CLP	Controlador Lógico Programável
mA	<i>Miliampère</i>
HART	<i>Highway Addressable Remote Transducer</i>
Hz	<i>Hertz</i>
OR	<i>Osiose Reversa</i>
RDC	<i>Resolução da diretoria colegiada</i>
$\Delta P$	<i>Diferencial de pressão</i>
$\mu S/cm$	<i>Micro Siemens por centimetro</i>
U.V.	<i>Ultravioleta</i>
USP	<i>United States Pharmacopeial</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
1.1	PROBLEMA	10
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1	Objetivo Geral	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
1.3	JUSTIFICATIVA	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
2.1	RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA – N° 16	12
2.2	QUALIDADE E PURIFICAÇÃO DE ÁGUA	13
2.2.1	OSMOSE REVERSA E PRESSÃO OSMÓTICA	14
2.3	CONDUTIVIDADE DA ÁGUA	15
2.4	INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE	16
2.4.1	COMUNICAÇÃO 4-20mA	16
2.4.2	TRANSMISSORES	16
2.4.3	PROTOCOLO HART	17
2.5	CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	17
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO TEMA</b>	<b>18</b>
3.1	PARAMETROS DO SISTEMA	18
3.2	DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO	22
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>23</b>
4.1	Automação aplicada	23
4.1.1	Siglas	23
4.2	Automação	24
4.2.1	Nível de tanques	24
4.2.1.1	Transmissor de Nível dos Tanques	24
4.2.1.2	Sensor de Nível alto e baixo dos tanques	25
4.2.2	Diferencial de pressão	26
4.2.3	Controle de vazão	27
4.2.4	Análise condutividade e Controle da vazão	27
4.2.5	Controle das lâmpadas U.V.	29
4.2.6	CLP	29
4.2.7	SUPERVISÓRIO	30
4.2.8	CUSTO DA AUTOMAÇÃO	30
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>32</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Considerando o propósito de se destacar e oferecer produtos médicos de qualidade que as empresas e indústrias têm atualmente, torna-se inevitável a implementação de sistemas de controle e automação em equipamentos, que oferecem melhoria mesmo quando os parâmetros e resultados obtidos já apresentam-se dentro das conformidades.

Fatores como competitividade, qualidade e vantagens oferecidas pela automação de equipamentos podem fazer do processo uma dinâmica complexa, que exige maneiras mais práticas ou mais acessíveis para serem executadas. A automação de um processo, que não objetiva apenas acelerar cada etapa deste, é vista como uma maneira de poupar tempo e recursos, principalmente ao analisar sua eficiência em comparação com o mesmo trabalho exercido por uma pessoa.

Por isso, levando em consideração o não atendimento das necessidades do processo que são dependentes do sistema, observa-se a relevância da substituição de um sistema de purificação de água, com a finalidade de tornar o processo mais estável através do acesso das informações do controle.

Segundo Lamb:

Os sistemas de automação conseguem incorporar facilmente inspeções e verificações a fim de reduzir o número de produtos fora de um determinado padrão de produção, permitindo o controle estatístico de processo que gerará produtos mais consistentes e uniformes. (2013, p.3)

Ao realizar a implementação do sistema de automação, assegura-se a melhoria de um processo que já é de qualidade notável, entretanto, que irá destacar-se ainda mais. A atualização deste processo desde o princípio influencia diretamente no trabalho final, especialmente quando se tem um sistema que, em questão de poucas horas, pode ter uma alteração em suas medidas de pressão ou utilização do filtro, por exemplo, e exige uma ação rápida para conter danos que podem ser causados em decorrência da demora.

A necessidade de fazer análises constantes de medições e informações de controle do sistema pode, muitas vezes, adiar a manutenção do equipamento ou atrasar o processo como um todo. Um sistema que esteja operando com autonomia e seja capaz de distribuir informação a respeito de sua operação pode agilizar as atividades de pessoas de setores diferentes dentro da indústria.

## 1.1 PROBLEMA

Com a falta de informação do controle do sistema de purificação de água, bem como a sua disponibilização *online*, o acesso é restrito aos momentos em que é feita a verificação do sistema, pessoalmente. Tal dificuldade em estar sempre mensurando causa demora em manutenção e solução de problemas, que poderiam ser resolvidos a partir da disponibilização desta.

Dessa forma, é visível a perda de qualidade e agilidade do processo, sobretudo no que diz respeito ao controle da vida útil e às melhorias que podem ser implantadas com a automação do processo. Havendo a possibilidade de fazer e registrar leituras constantes e autônomas, a cada minuto, observa-se que é prescindível o gasto de tempo, recursos e pessoas para esta atividade.

Além disso, há a necessidade de ampliação do sistema, que gerou a relevância da troca de outro. A utilização dos equipamentos de forma apropriada deve ser uma prioridade enquanto o processo todo depender deles.

Assim, espera-se encontrar um planejamento viável e que supra aquilo que é essencial ao bom funcionamento do processo como um todo, alcançando um padrão de qualidade que seja condizente com os padrões da empresa e a qualidade de seus produtos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Propor a automação de um sistema de purificação de água para atendimento ao processo estipulado.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver o P&ID de controle do sistema
- Propor solução para melhorar o acesso aos parâmetros do sistema a partir de monitoramento remoto
- Monitorar a vida útil dos componentes do sistema;

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Obrigatoriamente, as indústrias de fabricação de materiais médicos precisam seguir rigorosos meios de controle de qualidade na produção dos produtos. Com a necessidade de substituir um sistema de purificação de água, foi sugerida a implementação do controle e automação do sistema, para elevar o controle e registros do sistema e também implementar manutenção preditiva por alarmes de troca dos insumos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A automação industrial possui diversos benefícios, que surgem de processos que incluem projetos, avaliações e componentes, a fim de obter um sistema que atenda as mais diversas exigências e demandas dentro do mercado.

Dentro os benefícios observados que oriundam da automação, é possível notar que um dos mais significativos é o aumento da produtividade aliado a melhoria da qualidade. A precisão perfeita exigida pelo mercado não pode ser obtido com uma pessoa, afinal, um operário não é capaz de fazer uma mesma ação repetitivamente com a mesma perfeição sempre – do outro lado, a automação traz um sistema onde o computador é dotado de instruções para realizar o trabalho com o máximo de precisão, ainda que muitas vezes, permitindo ciclos contínuos, por exemplo.

Outro fator notável dentro da automação industrial é melhoria da qualidade, já que é viável manter um padrão, com uniformidade e qualidade, onde o resultado está quase e/ou totalmente livre de erros que fazem parte do processo. Tal qualidade está atrelada ao benefício, também, de precisão, pois consegue-se assegurar um *timing* e a redução na probabilidade das falhas na linha de produção.

Dessa forma, levando em consideração os benefícios mencionados acima, adicionados a outros fatores que devem ser levados em consideração, a automação industrial surge como um processo que se sobressai em meio a outros avanços tecnológicos, que são medidas temporárias ou descartáveis.

Portanto, vê-se a automação industrial como um grande aliado deste projeto de pesquisa, afinal, propõe-se que o sistema de purificação de água e seus componentes implementados funcionem dentro das normas, com qualidade e precisão que são buscadas e exigidas pelo mercado.

### 2.1 RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA – N° 16

Para obter uma noção ampliada da importância das etapas de projeto e avaliação do processo de automação, buscou-se analisar a Resolução da Diretoria

Colegiada (RDC) número 16, onde são abordados os temas de bomba de alimentação, dimensionamento de tubulação, sistemas de pré-filtração, filtro de osmose reversa, tanque pulmão, instrumentação e controle aplicáveis e calibração.

Empresas que fabricam produtos para saúde, obrigatoriamente, devem seguir a RDC N°16 de 28 de março de 2013, que devem cumprir suas obrigações, garantindo o funcionamento de equipamentos e registro de informações assegurando a qualidade do produto fornecido, mantendo estes registros junto ao registro histórico do produto. Os principais tópicos considerados serão:

5.1.5. Equipamento. Cada fabricante deverá assegurar que todos os equipamentos utilizados no processo de fabricação sejam adequados ao uso pretendido e corretamente projetados, construídos e instalados para facilitar a manutenção, ajustes, limpeza e uso. (...)

5.1.5.1. Programação de manutenção. Cada fabricante deverá estabelecer e manter uma programação para a manutenção, ajustes e, quando for o caso, limpeza do equipamento, para assegurar que todas as especificações de fabricação estejam sendo alcançadas. O programa de manutenção deverá estar em local de fácil acesso ao pessoal encarregado da manutenção e uso do equipamento. Deverá ser feito um registro das atividades de manutenção com a data de realização e a identificação das pessoas encarregadas. (...)

5.4.4. Registros de calibração. Cada fabricante deverá assegurar que sejam mantidos registros das datas de calibração, mensurações obtidas, do empregado encarregado desta tarefa e da data seguinte para esta operação. Os registros devem ser mantidos pelo fabricante, devendo estar disponível para o pessoal que usa este equipamento e para os responsáveis pela calibração do mesmo. (BRASIL, 2013, p.12-14)

## 2.2 QUALIDADE E PURIFICAÇÃO DE ÁGUA

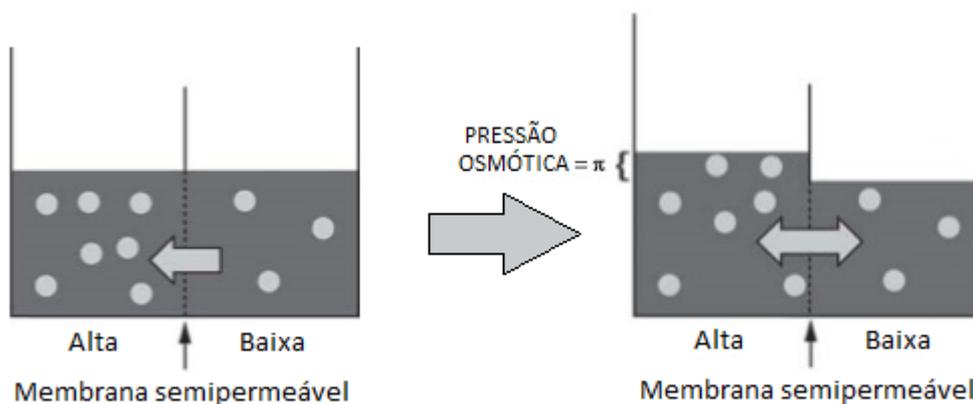
A qualidade da água é um fator a ser considerado durante o processo por conta desta não encontrar-se pura na natureza. Levou-se em consideração a existência de materiais na água, como resquícios de sais em suspensão, minérios e metais pesados, muitas vezes dissolvidos, além de microorganismos.

Por exemplo, o equipamento em questão faz alimentação de uma caldeira e, no processo de aquecimento da água, após sua evaporação, há sólidos que não evaporaram igualmente, causando diversos problemas para o processo como um todo. De acordo com o American Water-Works Association Manual (2005), o objetivo principal da utilização da membrana semipermeável é justamente remover contaminantes num processo controlado.

É importante ressaltar que a água deve ser pura para que não ocorra contaminação do produto, mas limpeza deste. Dessa forma, o processo de osmose foi considerado para entender a melhoria do processo.

### 2.2.1 OSMOSE REVERSA E PRESSÃO OSMÓTICA

Osmose é um processo natural onde um líquido passa de um meio de baixa concentração de sólidos dissolvidos para um meio de maior concentração através de uma membrana semipermeável, conforme figura 1:



**Figura 1:** Representação da membrana semipermeável

Fonte: Autoria própria (2016)

A pressão osmótica, conforme apresentada na Figura 1, é o diferencial de pressão causado pela variação de saturação entre um meio e outro. Em outras palavras, Barrow (1983, p. 343) define que pressão osmótica é a pressão externa que deve ser exercida em uma solução mais concentrada para evitar a diluição, de modo que a pressão osmótica é proporcional a concentração da solução.

Um sistema com base no método de osmose reversa é um equipamento cujo principal método de filtração é uma membrana pressurizada, com capacidade de realizar o processo reverso do natural. Fazendo com que o líquido passe de um meio mais saturado para o menos saturado, realiza assim um método de filtração dos sais dissolvidos. Este meio de maior concentração é chamado de rejeito, enquanto o meio de menor concentração é chamado de permeado.

Em um sistema de osmose reversa é sempre necessário que haja um rejeito do líquido filtrado para que não ocorra o entupimento da membrana ou do meio filtrante, evitando que os sais retirados fiquem presos a ela e o meio saturado da filtração possa ser eliminado.

Segundo Jane Kucera (2015, p. 19, tradução própria)

A osmose reversa (OR) é um processo de desmineralização que depende de uma membrana semipermeável para realizar a separação de sólidos dissolvidos em um líquido. A membrana semipermeável permite que líquidos e alguns íons passem, mas retém grande parte dos sólidos dissolvidos. Apesar de que muitos líquidos possam ser utilizados, a aplicação primária da OR é em sistemas à base de água. (...) Para entender como a OR funciona, é primeiramente necessário compreender o processo natural de osmose.

### **2.3 CONDUTIVIDADE DA ÁGUA**

A condutividade elétrica da água tem dependência direta da quantidade de sais dissolvidos. Presume-se que a água pura não permite a passagem de corrente elétrica, já que o baixo valor de condutividade está relacionado a baixa quantidade de sais presentes na água.

De acordo com a The United States Pharmacopeia (USP), item 645 (2014), “as moléculas de água se dissociam em íons como uma função de pH e de temperatura, e resultam em uma condutividade muito previsível”.

A condutividade da água deve ser mensurada com precisão, através do uso de instrumentação calibrada. Uma medição da condutividade elétrica consiste na determinação da condutância - a medição através da água é feita por ser uma medida com baixo custo (se comparado a outros métodos mais caros) e eficiente no que se trata de saber a qualidade efetiva da água.

Para Collentro (2016, p. 314), o monitoramento da condutividade da água é importante para que um processo seja feito com sucesso, pois pode determinar a sua efetividade. O autor ainda sugere que a condutividade da água é sensível à presença de outros íons contaminantes, que podem também ser contaminada a partir do material de taques e canos, por exemplo.

## 2.4 INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

É sabido que a instrumentação é a base primordial para o controle de processos na indústria. Além disso, antes de pensar no controle, é necessário visitar a concepção de que uma instrumentação adequada é essencial para que o controle industrial seja efetivo.

No ponto de vista de Dunn (2013, p.3), a produção de um produto adequado está diretamente atrelado ao controle de processo cabível ou adequado. O autor ressalta que controle de processo é o controle automático de uma variável de saída por meio da medição da amplitude do parâmetro a partir do processo e que, em uma instalação, o controlador não está restrito a uma variável única, por exemplo, mas é capaz de controlar e realizar a medição de várias.

Para este projeto, foram observados alguns itens, como transmissores, comunicação analógica por corrente (4-20mA) e protocolo Hart.

### 2.4.1 COMUNICAÇÃO 4-20mA

Dunn (2013, p. 223) sugere que existem diversos padrões de medição para a comunicação analógica por corrente, mas a aceita como padrão é a 4-20mA, visto que transmissores de comunicação analógicos estabelecem uma relação entre o transmissor e o receptor.

Apesar de serem lentos se comparados aos digitais, como discorre Dunn (2013, p. 220), há *setups* disponíveis para amenizar este e outros problemas, como perda da precisão.

Um transmissor de comunicação 4-20mA estabelece valores em comparação a progressão da corrente, ou seja, valores estabelecidos para uma temperatura X variam na escala do transmissor. Assim, pode-se estabelecer que a temperatura 0°C é relativa a corrente em 4mA e 100°C é estabelecida em 20mA num modelo que seguiria a variação de temperatura dentro dessa escala.

### 2.4.2 TRANSMISSORES

Conforme descreve Dunn (2013, p. 5), transmissores são aparelhos utilizados para fazer amplificação e formatação de sinais, de forma a evitar o mínimo de perda de informações cruciais. A transmissão digital é uma das mais utilizadas atualmente por ter um sistema que também funciona com base digital, e é necessária para o

processo no aspecto que se refere a confiabilidade e precisão que são buscadas dentro deste projeto.

Dos vários transmissores, foram selecionados três que fazem parte deste projeto: de pressão, de vazão ultrassônico e de nível ultrassônico.

### **2.4.3 PROTOCOLO HART**

O protocolo conhecido como HART, ou *Highway Addressable Remote Transducer*, é de domínio público. Apesar de ser considerado um protocolo digital, é compatível com a comunicação analógica 4-20mA, podem operar a rede de comunicação estabelecida.

O sinal da informação do protocolo HART é feita pela modulação em chaveamento por mudança de frequência (...), que é sobreposto ao final de 40 a 20 mA. (...) a frequência utilizada na modulação é muito maior do que a frequência do sinal analógico, que é inferior a 10Hz. Dessa forma, não existem interferências entre dois sinais. (SENAI, 2014, p. 295)

## **2.5 CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS**

No que diz respeito a calibração de equipamentos, Gupta (2012, p.137) discorre que grande parte dos instrumentos são calibrados através da observação de suas leituras e medições, atentando-se para os valores padrões que são estabelecidos previamente.

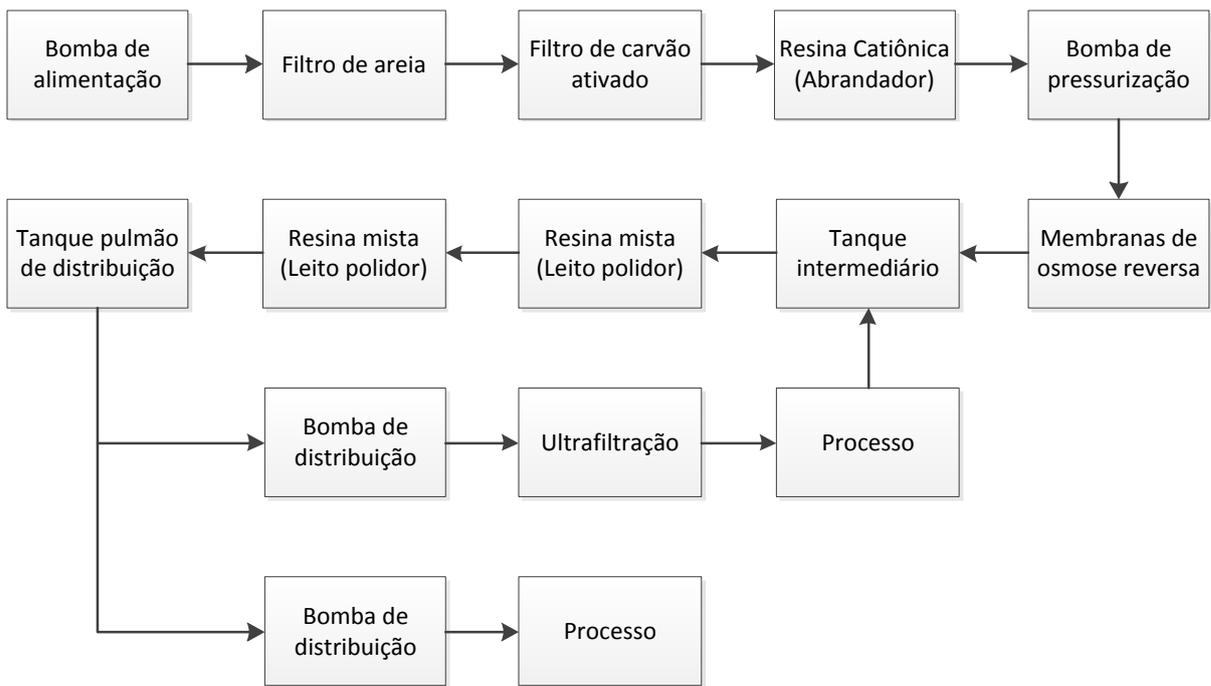
O autor ainda sugere que para o cálculo de desvio do padrão com pequenas variações estatísticas, várias repetições devem ser feitas para a identificação do problema durante o processo de calibração.

### 3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA

Para este sistema, será necessário avaliar as necessidades do processo com base em suas especificações.

#### 3.1 PARAMETROS DO SISTEMA

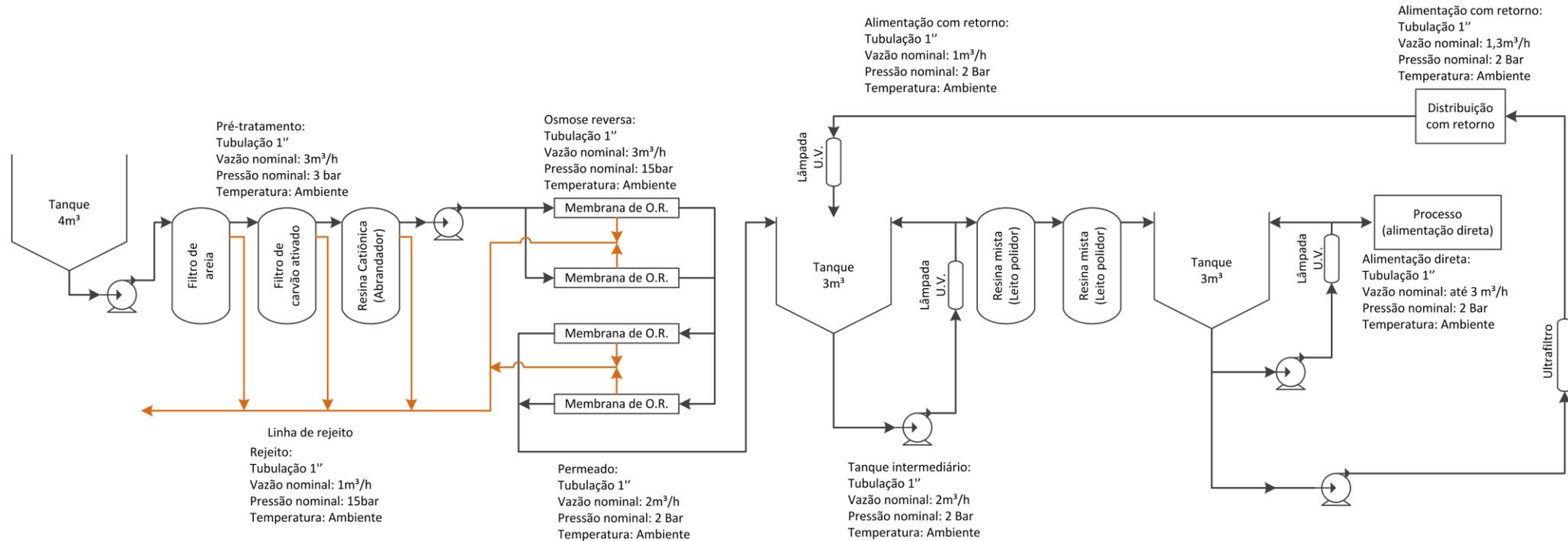
Como forma de atendimento ao processo, foi elaborado um equipamento que terá dois tipos de alimentação de água purificada: a alimentação direta no processo onde a água irá ser apenas enviada, sem retorno, e uma linha de distribuição com retorno para um tanque intermediário como forma de reaproveitamento da água que passa por ultrafiltração. A imagem 2 o fluxograma básico de funcionamento



**Figura 2:** Fluxograma do sistema a ser analisado

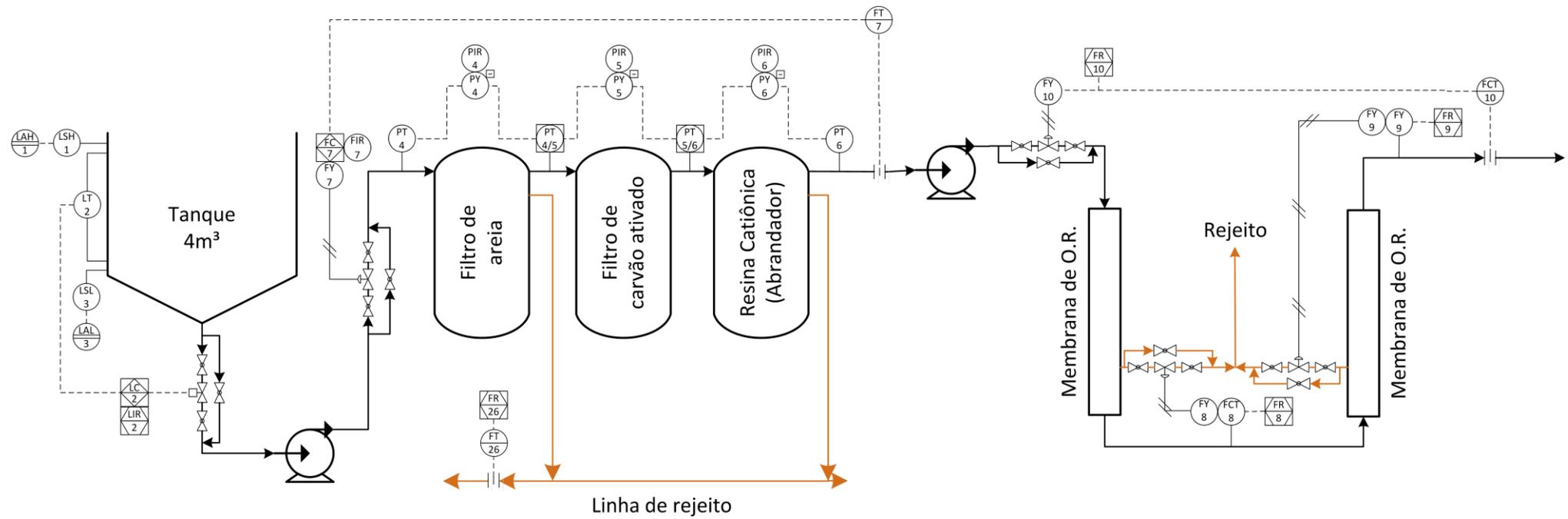
Fonte: Autoria própria (2016)

O sistema que será proposto a automação, possui o layout conforme Figura 3. Este layout representa apenas a tubulação e seus componentes de filtração, sendo proposto todos os instrumentos a serem utilizados. Foi realizada a separação dos processos por partes para facilitar a explicação e a visualização da automação aplicada ao processo conforme figuras 3 e 4.



**Figura 3 - Layout hidráulico**

Fonte: Autoria própria (2016)



**Figura 4 - Controle da purificação de água**

Fonte: Autoria própria (2016)



Para especificação dos equipamentos de instrumentação, é necessário avaliar os parâmetros do equipamento para identificar quais serão os dados necessários realizar o controle.

Este levantamento foi feito a partir do fluxograma apresentado na figura 2 e dos parâmetros internos dos processos. O resultado deste estudo foi o layout apresentado no apêndice A. As informações contidas neste *layout*, servirão como base das especificações dos instrumentos utilizados para leitura e análise do processo.

### **3.2 DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO**

A automação necessária para este sistema será visando o registro e controle de processo a partir de um supervisório. Dessa maneira, é possível fazer um auxílio na manutenção preditiva dos equipamentos e armazenando os dados de processo em forma digital.

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Com base nos dados de processo fornecidos pelo estudo realizado para desenvolvimento do sistema, será apresentada uma sugestão de instrumentos para serem utilizados na automação do sistema.

### **4.1 Automação aplicada**

A automação realizada no equipamento foi feita com base no layout desenvolvido e aplicada conforme apêndice B, referente a parte de purificação de água e o apêndice C para a distribuição de água.

#### **4.1.1 Siglas**

AT: Analisador de condutividade

AR: Registrador de condutividade

FC: Controlador de vazão

FCT: Controlador e transmissor de vazão

FIR: Indicador e registrador de vazão

FR: Registrador de vazão

FT: Transmissor de vazão

FY: Conversor analógico para pneumático

KR: Registrador de tempo

KT: Transmissor de tempo

LAH: Alarme de nível alto

LAL: Alarme de nível baixo

LC: Controlador de nível

LY: Conversor analógico para pneumático

LIR: Indicador e registrador de nível

LSH: Chave de segurança de nível alto

LSL: Chave de segurança de nível baixo

LT: Transmissor de nível

PIR: Indicador e registrador de pressão

PT: Transmissor de pressão

PY(-): Comparador de diferencial de pressão

## **4.2 Automação**

### **4.2.1 Nível de tanques**

Cada tanque possui 3 malhas de controle, referentes ao nível de operação, nível alto e baixo. Cada malha possui uma finalidade diferente que atuam como operação e segurança do sistema.

#### **4.2.1.1 Transmissor de Nível dos Tanques**

As malhas de controle 2, 12 e 18, são referentes controle de nível dos tanques. O controle é feito a partir do acionamento das bombas de produção, abastecendo os tanques quando o nível abaixar de 80% da sua capacidade. Para este caso, o equipamento deverá ser instalado no centro do tanque devido ao seu fundo cônico.

O instrumento sugerido para a medição de nível será do tipo ultrassônico da marca KOBOLD modelo NGR, conforme figura 3. Este sensor possui capacidade de leitura para até 2m, com comunicação 4-20mA.



**Figura 6:** Transmissor de nível modelo NGR

Fonte: KOBOLD S.A.

#### **4.2.1.2 Sensor de Nível alto e baixo dos tanques**

As malhas de controle 1, 11 e 17, são referentes ao controle de nível alto dos tanques, enquanto as malhas de controle 3, 13 e 19, são referentes ao controle de nível mínimo dos tanques. Como forma de segurança estas malhas foram implementadas para garantir que o equipamento desligue em caso de estar fora dos limites de nível estipulado para o tanque. Este controle será feito a partir de chave de segurança para desligamento do bombeamento e um alarme para informar o sistema supervisorio da falha ocorrida. O equipamento sugerido é da marca Danfoss modelo RT 280A, conforme figura 4.



**Figura 7:** Alarme do Nível de Líquido modelo RT 280<sup>a</sup>

Fonte: Danfoss S.A.

Este equipamento deverá ser conectado a um CLP que receberá a informação do alarme e desligará a bomba em operação que alimenta o respectivo tanque, evitando que ocorra o transbordamento ou a operação sem líquido.

Para a instalação nas malhas, será necessário a aquisição de 6 unidades do equipamento citado, sendo instalado 2 em cada tanque, 10 centímetros acima do nível de operação máximo estipulado pelo sensor ultrassônico de nível e 10 centímetros abaixo do nível de operação mínimo.

#### 4.2.2 Diferencial de pressão

As malhas de controle 4, 5 e 6, tem a finalidade de medir e analisar a pressão de entrada e saída de cada filtro, verificando a presença de entupimentos e perda de carga nos filtros. Para isso, foi escolhido um modelo de medidor de pressão que realizará a comunicação com o CLP. A partir do CLP, os dados serão enviados para o supervisor que terá a função de indicar o diferencial de pressão entre os filtros e gerar um alarme em caso do  $\Delta P > 0,5$  bar.

O medidor escolhido tem saída em padrão de comunicação HART®. O modelo LD-301, da fabricante SMAR, que está ilustrado na Figura 5, tem a finalidade de realizar a medição e a transmissão da pressão. Todo o seu corpo será montado em aço inoxidável com interior de teflon, as características do equipamento são:

- Exatidão de  $\pm 0,04\%$
- Estabilidade de  $\pm 0,2\%$  do URL -
- Rangeabilidade de 120:1



**Figura 8:** Transmissor de pressão modelo LD-301

Fonte: SMAR S.A.

Para a instalação nas malhas, será necessário a aquisição de 3 unidades do transmissor citado e instalados antes e depois dos filtros de areia, carvão ativado e resina catiônica.

### **4.2.3 Controle de vazão**

A análise de vazão será utilizada nas malhas de controle 7,10, 18, 23 e 24, como forma de controle das bombas de alimentação de cada etapa do processo. A especificação de vazão de cada etapa do processo já foi estabelecida no apêndice A, com vazões entre 1m<sup>3</sup>/h até 3m<sup>3</sup>/h em diferentes etapas.

A partir das informações analisadas, a sugestão de equipamento a ser utilizado será o mesmo equipamento para medição de diferencial de pressão, o equipamento marca SMAR modelo LD-301 (modelo com comunicação HART). Será utilizado o conceito de placa de orifício, onde a vazão será analisada pelo diferencial de pressão, pela função raiz quadrada, antes e depois da placa.

A escolha deste modelo de equipamento visa evitar a utilização de equipamentos de fabricantes diferentes, não sendo necessário a aquisição de outros softwares para realizar o controle dos equipamentos remotamente.

### **4.2.4 Analise condutividade e Controle da vazão**

A análise da condutividade é fundamental para avaliar a qualidade da água produzida pelo sistema, a partir desta medição é possível identificar instabilidades no processo e necessidade de trocas de meios filtrantes. Dessa forma, sugere-se a implementação deste sensor em diversos pontos do sistema.

Uma das formas de controle que utilizarão a condutividade como base, será a vazão de rejeito e permeado das membranas de osmose reversa, representadas pelas malhas 8, 9. Estas malhas estão localizadas após cada etapa de osmose reversa (1° e 2° passo) referentes ao permeado da filtração.

Cada membrana possui a capacidade de filtrar acima de 95% dos sais dissolvidos na água e 99% das bactérias, resultando em uma redução da condutividade aproximadamente na mesma proporção. A membrana possui características de elevação da condutividade caso o rejeito esteja menor que o especificado pelo fabricante, este será o conceito utilizado para a utilização da condutividade como meio de controle.

Caso ocorra a elevação da condutividade após cada etapa de osmose reversa, uma válvula será reposicionada, aumentando ou diminuindo a vazão do rejeito até que sua condutividade atinja o patamar estabelecido.

A medição das malhas 8 e 9, deverão ser realizadas antes e depois de cada etapa da filtração para que possa ocorrer a comparação de dados da entrada e saída do equipamento. O valor a se adotar para aceitação do sistema é uma redução de aproximadamente 95%, como por exemplo:

**Condutividade de entrada:** 300 $\mu$ S/cm (100%)

**Condutividade de saída máxima aceitável:** 15 $\mu$ S/cm (5%)

A partir desta comparação, o CLP deve estar programado para realizar a abertura do rejeito caso a condutividade se eleve e reduza o rejeito em caso de condutividade muito baixa. Isso proporciona um uso consciente da água do sistema evitando desperdícios por falta de controle automático.

As malhas 14 e 21 serão utilizadas apenas como medição e registro da condutividade do sistema, apresentando possíveis saturações de filtros e contaminações no sistema. Este registro deve ser armazenado pelo sistema supervisor e indicar alarmes caso a condutividade se eleve além do especificado no projeto.

As malhas 15 e 16 serão utilizadas para indicar a saturação da resina mista (leito polidor), como este meio de filtração possui saturação frequente, a medição em linha proporciona um monitoramento 24h por dia da situação da resina. Este monitoramento servirá como forma de manutenção preditiva, indicando que o filtro está próximo de sua saturação quando o valor de condutividade começar a se elevar próximo ao limite de condutividade especificada no projeto (1,3  $\mu$ S/cm).

Para a medição e envio de informações ao CLP, sugere-se a utilização de um transmissor da marca Georg Fischer modelo 3-8850-3 conforme figura 6, este equipamento conta com comunicação 4-20mA.



**Figura 9:** Transmissor de condutividade modelo 3-8850-3 e sensor de condutividade

Fonte: George Fisher S.A.

Para realização da medição os sensores sugeridos são:

- Para as malhas 9, 15, 16 e 21, recomenda-se a utilização de células de titânio com constante  $K=0,01/cm$ , para a faixa de medição entre  $0,55 \mu S/cm$  até  $100 \mu S/cm$ . Para isso, a recomendação é o modelo 3-2819-T1 da marca Georg Fischer.
- Para a malha 8, recomenda-se a utilização de células de titânio com constante  $K=0,1/cm$ , para a faixa de medição entre  $0,55 \mu S/cm$  até  $100 \mu S/cm$ . Para isso, a recomendação é o modelo 3-2820-T1 da marca Georg Fischer.

#### 4.2.5 Controle das lâmpadas U.V.

O controle das lâmpadas U.V. será feito a partir do seu tempo de uso, conforme especificação de utilização de até 6 meses de operação. As malhas de controle, 20, 22 e 25, são controles de tempo de utilização, onde será utilizada a própria lógica de programação do CLP para que envie o tempo de utilização das lâmpadas, baseado no tempo do equipamento ligado.

#### 4.2.6 CLP

Toda a programação de acionamento e de obtenção informações, serão feitos a partir do CLP. Para este equipamento, com comunicação HART, foi necessário a escolha de um CLP com entradas e saídas digitais, com protocolo HART.

Considerando todos os pontos do processo, de medição e acionamento, será necessário um CLP com as seguintes I/O: 16 entradas de comunicação analógica, 8

entradas de comunicação analógica com protocolo HART e 8 saídas de comunicação analógica.

Para este caso, foram considerados quatro módulos de controle da marca Allen Bradley modelo E/S ControlLogix 1756-IF8H, conforme figura 8. Cada módulo possui 8 entradas ou saídas de comunicação, como cada módulo pode ser conectado um ao outro, será necessário utilizar 4 módulos deste controlador conectados.



**Figura 10:** Controlador ControlLogix 1756-IF8H

Fonte: Allen Bradley

A escolha deste equipamento foi devido a confiabilidade da marca e pela facilidade de atender os requisitos do processo com adição de módulos básicos para suprir toda a necessidade de I/O do processo.

#### **4.2.7 SUPERVISÓRIO**

A escolha para um supervisório para este processo seria o ELIPSE E3, que realizará toda a leitura, registros e controle de informações do processo. O número de TAGs necessárias para este processo será de 24. Toda a programação e controle do processo no supervisório deverá utilizar o layout do apêndice A, como referência.

#### **4.2.8 CUSTO DA AUTOMAÇÃO**

O custo da automação foi realizado e está especificado conforme tabela 1.

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo</b>
Sensor de máximo/mínimo	6	R\$ 500 / unidade
Transmissor de nível	3	R\$ 2,500,00 / unidade
Transmissor de vazão e pressão	8	R\$4.500,00 / unidade
Transmissor de condutividade	6	R\$8.000,00 / unidade
CLP	4	R\$ 4.200,00 / unidade
Supervisório (Já programado)	1	R\$35.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 145.800,00</b>

**Tabela 1:** Custo do projeto

Fonte: Autoria própria (2016)

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante da enorme competitividade que surge no meio industrial, especialmente com a constante busca por melhorias e produtos que se destaquem por terem uma qualidade maior, a automação industrial coloca-se como o caminho ideal para implementar tais mudanças benéficas para todo o processo. De certo modo, é importante refletir que o trabalho humano é passível a erros e, muitas vezes, estes erros podem colocar em risco toda uma produção.

Dessa forma, o presente trabalho procurou mostrar as melhorias que poderiam ser obtidas através da implementação de um sistema de controle com base na automação industrial, de modo que o sistema de purificação de água – fundamental nesse processo, conforme mencionado anteriormente – esteja adequado para os requisitos do consumidor.

Levando-se em conta que as indústrias de materiais médicos devem seguir padrões e exigências de qualidade rigorosos, a automação industrial apresenta-se como uma solução que auxilia em vários aspectos, como a manutenção preditiva através de alarmes e controle nos registros dos equipamentos.

Com sugestões de peças que poderiam ser utilizadas para a automação do sistema, o objetivo de propor a automação do sistema de purificação de água, a fim de que ele atendesse ao processo estipulado, foi alcançado. Baseado nas bibliografias e pesquisas que contribuíram para o processo, o trabalho pode realmente juntar ideias e conceitos, colocando-os em conjunto para uma finalidade em comum.

## REFERÊNCIAS

ALLEN BRADLEY. **Módulos de E/S ControlLogix** Disponível em: <  
<http://ab.rockwellautomation.com/pt/IO/Chassis-Based/1756-ControlLogix-IO>>  
Acesso em: 30 Set. 2016

BARROW, Gordon M. **Físico-química**. Rio de Janeiro: Reverté, 1983.

BERGMAN, Robert. **Reverse Osmosis And Nanofiltration**: American Water-Works association Manual. United States: American Water Works Association, 2005

BRASIL. Decreto-lei n. 79.094, de 5 de janeiro de 1977. **Resolução da Diretoria Colegiada**, Brasília, n.16, 28 de março de 2013. Seção 5.

COLLENTRO, William V. **Pharmaceutical Water**: System Design, Operation, and Validation. United Kingdom: Macmillan Company, 2016.

DANFOSS. **RT 280A**. Disponível em: <  
<http://products.danfoss.com/productrange/refrigeration/liquid-level-controls/rt-280a-281a-liquid-level-alarm-safety-switch-liquid-level-regulator/>> Acesso em: 22 Set. 2016

DUNN, William C. **Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control**. United States of America: McGraw-Hill, 2013.

ELIPSE. **E3** Disponível em: < <http://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/> > Acesso em: 02 Out. 2016

**United States Pharmacopeia N-37**, Estados Unidos: United States Pharmacopoeial Convention, 2014.

GEORG FISHER. **8850 ProcessPro Conductivity-Resistivity Transmitter**  
Disponível em: <

[http://www.gfps.com/country\\_CA/en\\_US/products/sensors/conductivityresistivity-instruments/8850.html](http://www.gfps.com/country_CA/en_US/products/sensors/conductivityresistivity-instruments/8850.html) > Acesso em: 16 Set. 2016

GUPTA, S. V. **Measurement Uncertainties: Physical Parameters and Calibration of Instruments**. India: Spriger, 2012

KOBOLD. **Medidor de Nível tipo Ultrassônico NGR** Disponível em: < <http://www.kobold.com/pt/product/detail/~nm.61~nc.19~id.757/Guided-Radar-Level-Transmitter-NGR.html> > Acesso em: 02 Out. 2016

KUCERA, Jane. **Reverse Osmosis: Industrial Processes and Applications**. Beverly: Scrivener Publishing, 2015

LAMB, Frank **Automação industrial na prática**. New York: Bookman, 2013

NOVUS. **Contador NC400**. Disponível em: < [http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaID=636262&Template=../catalogos/layout\\_produto.asp&ProdutoID=529380](http://www.novus.com.br/site/default.asp?TroncoID=621808&SecaID=636262&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=529380) > Acesso em: 27 Set. 2016

SMAR. **LD301** Disponível em: < <http://www.smar.com/brasil/produto/ld301-hart-4-to-20-ma-transmissores-inteligentes-de-pressao> > Acesso em: 18 Set. 2016

SENAI. **Sistemas eletroeletrônicos industriais**. São Paulo: Senai-SP Editora, 2014