

UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAIS E TECNOLOGIAS
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

JOSÉ LUIS SORIANO LISAIUSKAS

OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA APOIO AO PROCESSO ENSINO-
APRENDIZAGEM DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA
TRATAMENTO DE ÁGUA EM CALDEIRAS

RIBEIRÃO PRETO
2017

JOSÉ LUIS SORIANO LISAUSKAS

OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA APOIO AO PROCESSO ENSINO-
APRENDIZAGEM DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA
TRATAMENTO DE ÁGUA EM CALDEIRAS

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientação do Prof. Dr. Edilson Carlos Caritá.

Ribeirão Preto
2017

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

L769p Lisauskas, José Luis Soriano, 1968-
Objeto de aprendizagem para apoio ao processo ensino-
aprendizagem de seleção de tecnologias para tratamento de
água em Caldeiras / José Luis Soriano Lisauskas. – Ribeirão
Preto, 2017.

61f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Edilson Carlos Caritá.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2017.

1. Tratamento de Água em Caldeira. 2. Objeto de Aprendizagem.
3. Processo de Ensino-Aprendizagem. 4. Tecnologia da Informação
I. Título.

CDD 628

José Luis Soriano Lisauskas

**“Objeto de aprendizagem para apoio ao processo ensino-aprendizagem
de seleção de tecnologias para tratamento de água em caldeiras”.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Edilson Carlos Caritá.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

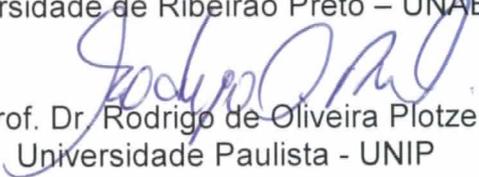
Data de defesa: 20 de fevereiro de 2017

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Edilson Carlos Caritá
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP
Presidente


Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira
Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP


Prof. Dr. Rodrigo de Oliveira Plotze
Universidade Paulista - UNIP

Ribeirão Preto
2017

RESUMO

A água bruta que é utilizada na alimentação de reservatórios de caldeiras provém de fontes naturais como rios, poços, lagos, córregos e água subterrânea e dependendo da sua origem pode conter substâncias dissolvidas ou partículas em suspensão que interferirão no funcionamento e vida útil da caldeira. Esse contexto de análise de água e definição de quais tecnologias podem ser utilizadas estão presentes na formação de diversos profissionais da área técnica ou de engenharia, em um processo ensino-aprendizagem tradicional, apresenta-se ao educando teorias e equações para que ele possa realizar os cálculos e tomar as decisões. Contudo, simular todos os parâmetros utilizados para o tratamento de águas de caldeiras por meio de um objeto de aprendizagem seria uma estratégia pedagógica importante para apoiar os educandos no seu processo de ensino-aprendizagem no que se refere à temática seleção de tecnologia adequada para o tratamento de água bruta para caldeiras. O objetivo desse estudo foi apresentar o desenvolvimento de um objeto de aprendizagem para simulação de seleção de tecnologia adequada para o tratamento de água bruta a ser utilizada em caldeiras. O Objeto de Aprendizagem (OA) foi desenvolvido com o *Microsoft Access* versão 2010 que é um gerenciador de dados da empresa *Microsoft Corporation*. Foram elaborados por meio da ferramenta *Astha Community 7.1.0 - Model Version 37* os *use cases* de sistema para ilustrar os processos do OA. A linguagem *Unified Modeling Language (UML)* foi usada para detalhar os referidos processos mapeados e o método de comunicação por desenho Lição de Um Ponto (LUP) foi utilizada para facilitar a compreensão de como o usuário (aluno), utilizará o ambiente implementado. O OA desenvolvido para seleção de tecnologias para o tratamento de água em caldeiras determina o tipo de tratamento adequado da água de alimentação da caldeira por meio da faixa de pressão de trabalho da caldeira, parâmetros físicos e químicos que foram analisados em laboratório (impurezas), que estão contidas na água bruta. O mesmo auxiliará na escolha da tecnologia de tratamento de água de caldeira a partir das impurezas encontradas na água de alimentação da caldeira, tais como silício, dureza, alcalinidade, pH, turbidez, entre outras. O desenvolvimento do OA para apoio ao processo de ensino-aprendizagem de seleção de tecnologias para tratamento de água em caldeiras fará com que os experimentos se tornem mais atrativos do ponto de vista do usuário (aluno), permitindo, ainda, ao docente criar e testar várias situações problema alterando os parâmetros do *software* de simulação, sendo, portanto, uma ferramenta contemporânea para o processo ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Tratamento de Água de Caldeira. Objeto de Aprendizagem. Processo de Ensino-aprendizagem. Seleção de Tecnologia. Tecnologia da Informação e Comunicação.

ABSTRACT

The raw water, that is used to feed boiler reservoirs, comes from natural sources such as rivers, wells, lakes, streams and groundwater and depending on their origin, may contain dissolved substances or suspended particles that will interfere with the operation and life of the boiler. This context of water analysis and definition of which technologies can be used are present in the training of several technical or engineering professionals, in a traditional teaching-learning process, is presented to student's theories and equations for they can do calculations and take decisions. However, simulating all the parameters used for wastewater treatment by an object of learning, would be an important pedagogical strategy to support educational processes, in relation to the thematic technology suitable for the treatment of raw water. The aim of this study was to present the development of a learning object for the selection simulation of suitable technology for the treatment of raw water to be used in boilers. The Learning Object (LO) was developed with Microsoft Access version 2010 that is the Microsoft Corporation data manager. It was made by the tool Astha Community 7.1.0 – Model Version 37 the use cases of system to illustrate the LO process. The language Unified Modeling Language (UML) was used to detail the referred mapped processes and methods of communication by drawing One Point Lesson (OPL), that was used to make easy the understanding of how the user will use the implemented environment. The LO developed for selection of technologies for the treatment of water in boilers determine the type of suitable treatment of boiler feed water by the working pressure range of the boiler, physical and chemical parameters that are analyzed in the laboratory (impurities), which are contained in the raw water. It is will help in the choice of boiler water treatment technology from the impurities found in boiler feedwater such as silicon, hardness, alkalinity, pH, turbidity, among others. The development of LO to support the teaching-learning process of selection of technologies for water treatment in boilers will make the experiments more attractive from the point of view of the user (student), also allowing the teacher to create and test several problem situations altering the parameters of the simulation software, being, therefore, a contemporary tool for the teaching-learning process.

Keywords: Boiler Water Treatment. Learning Object. Teaching-learning Process. Technology Selection. Technology of Information and Communication.

LISTA DE ABREVIATURAS

AMVAP - Associação dos Municípios da Microrregião do Vale do Paranaíba
ANA – Agência Nacional de Águas
ASME – *American Society of Mechanical Engineers*
AVA – Ambiente Virtual de Aprendizagem
CIPA - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
COT - Carbono Orgânico Total
EDTA – Ácido Etilenodiamino Tetra-acético
ETA – Estação de Tratamento de Água
FUNASA - Fundação Nacional de Saúde
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
HD – *Hard Disk*
IDE - *Integrated Development Environment*
IEEE - *Institute of Electrical and Electronic Engineers*
IIRM - Instrutores Interativos de Matemática Recreativa
LOM – *Learning Objects Metadata Working Group*
LTSC - *Learning Technology Standards Committee*
LUP - Lição de Um Ponto
NR-13 – Norma Regulamentadora 13
NTA – Ácido Nitrilotriacético
OA – Objeto de Aprendizagem
OAF - Objetos de Aprendizagem Funcionais
OD – Oxigênio Dissolvido
OG - Óleos e Graxas
OR – Osmose Reversa
PDF - *Portable Document Format*
pH – Potencial Hidrogeniônico
RAM – *Random Access Memory*
RIVED – Rede Internacional Virtual de Educação
SDI – *Silt Density Index*
SE – *Softwares* Educacionais
STD – Sólidos Totais Dissolvidos

TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação

TPM - *Total Productive Maintenance*

VBA – *Visual Basic Application*

UML - *Unified Modeling Language*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Caldeira Fogotubular	25
Figura 2 - Caldeira Aquatubular	26
Figura 3 - Filtro de areia por gravidade	31
Figura 4 - Decantador cilíndrico cônico	32
Figura 5 – Definição de parâmetros da qualidade da água para caldeiras.....	49
Figura 6 – Definição de custo para o tratamento da água da caldeira.....	53
Figura 7 – Definição de parâmetros da qualidade da água para caldeiras.....	54
Figura 8 – Tela Principal do OA	55
Figura 9 - Tela de definição da faixa de pressão de trabalho da caldeira do OA	56
Figura 10 - Tela da qualidade da água de alimentação na caldeira do OA	56
Figura 11 - Visualização dos parâmetros inseridos no OA	57
Figura 12 - Resultado dos parâmetros inseridos no OA.....	59
Figura 13 - Simulação de Processos no OA	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de animações	19
Quadro 2 – Substâncias contidas na água bruta, os respectivos problemas e a metodologia de tratamento utilizada.....	39
Quadro 3 – Problemas originados pela água e as respectivas consequências	40
Quadro 4 – Parâmetros da água para caldeiras de baixa, média e alta pressão	40
Quadro 5 - Processo definir parâmetros para tratamento	50
Quadro 6 - Processo definir parâmetros para análise	50
Quadro 7 - Processo sair do OA	51
Quadro 8 - Processo visualizar análise dos parâmetros.....	51
Quadro 9 - Processo inserir parâmetros para cálculo dos insumos de tratamento	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 OBJETO DE APRENDIZAGEM (OA).....	14
3.1.1 Tipos de Objetos de Aprendizagem	17
3.1.2 Exemplos de Objetos de Aprendizagem	21
3.2 CALDEIRAS.....	23
3.3 ÁGUA PARA ABASTECIMENTO DE CALDEIRAS	27
3.4 TRATAMENTO DAS ÁGUAS DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS	28
3.4.1 Tratamento Externo.....	30
3.4.2 Tratamento interno.....	36
4 MATERIAL E MÉTODOS	45
4.1 LEVANTAMENTO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EM CALDEIRAS.....	45
4.2 ESTUDO DO USO DE OBJETOS DE APREDIZAGEM COMO APOIO AO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM NAS DIFERENTES ÁREAS DO SABER ..	45
4.3 IMPLANTAÇÃO DE UM OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA SIMULAR A SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EM CALDEIRAS.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 LEVANTAMENTO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EM CALDEIRAS.....	47
5.2 ESTUDO DO USO DE OBJETOS DE APRENDIZAGEM COMO APOIO AO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM NAS DIFERENTES ÁREAS DO SABER ..	48
5.3 DESENVOLVIMENTO DE UM OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA SIMULAR A SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EM CALDEIRAS.....	48
6 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A água bruta que é utilizada na alimentação de reservatórios de caldeiras provém de fontes naturais como rios, poços, lagos, córregos e água subterrânea e dependendo da sua origem pode conter substâncias dissolvidas ou partículas em suspensão que interferirão no funcionamento e vida útil da caldeira.

Para minimizar os efeitos prejudiciais da água bruta que alimenta o reservatório de uma caldeira é possível selecionar alguns tratamentos que reduzirão ou até mesmo sanarão os problemas de corrosão, incrustação e arraste. As tecnologias para o tratamento de água de alimentação para caldeiras mais utilizadas podem ser por abrandamento, desmineralização ou osmose reversa.

Esse contexto de análise de água e definição de quais tecnologias podem ser utilizadas estão presentes na formação de diversos profissionais da área técnica ou de engenharia, em um processo ensino-aprendizagem tradicional, apresenta-se ao educando teorias e equações para que ele possa realizar os cálculos e tomar as decisões. Contudo, nem sempre é possível exemplificar e testar diferentes situações, bem como avaliar os resultados das combinações não assertivas das variáveis.

O ensino na área de engenharia, contemporaneamente, vem recebendo o auxílio da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para o processo de ensino-aprendizagem, principalmente, nas atividades em que o educando precisa adquirir competências e habilidades técnicas e, isso ocorre, majoritariamente, por meio de simulações computacionais, que também podem ser chamadas de objetos de aprendizagem.

Segundo Gavira (2003), utilizando um *software* de simulação é possível desenvolver no usuário (aluno), uma visão sistêmica, capacidade de tomar decisões, organização e elaboração do conhecimento.

A simulação permite ao usuário (aluno), tomar decisões em um ambiente virtual de acordo com cada situação de ensino-aprendizagem sem correr o risco de danificar máquinas ou equipamentos reais, motivando e desenvolvendo sua competência. Em síntese, o papel do docente será de um mediador, fornecendo informações para que o usuário (aluno) desenvolva o seu conhecimento e sua competência para determinado assunto, promovendo, um aprendizado mais ativo do educando.

Ainda é possível ressaltar, que por meio de objetos de aprendizagem, o educando poderá realizar várias vezes os experimentos sem necessidade de insumos, visualizando os diferentes resultados que ocorrerão com as diversas combinações de variáveis.

Em uma simulação computacional referente a seleção da tecnologia para tratamento de água em caldeiras para permitir o gerenciamento dos insumos presentes para tornar o processo de tratamento de água da caldeira mais eficiente, é necessário garantir que a água que alimentará a caldeira saia livre de sólidos totais, pois esses causam problemas de arraste, contaminação das resinas, entupimento nas tubulações e precipitação na caldeira.

Outro problema que deverá ser contemplado na simulação computacional é em relação ao ferro que pode causar a perda da eficiência na troca de íons pela resina, caso a opção de tratamento seja por desmineralização; há também a alcalinidade que em níveis acima do permitido pela Agência Nacional de Águas (ANA) pode causar, nas partes internas, a decomposição pela ação do calor na caldeira, tornando a água excessivamente alcalina; o CO₂ gerado pela decomposição térmica que provoca a redução do pH na linha do condensado com corrosão progressiva e ainda os gases dissolvidos (O₂ e CO₂) que podem provocar corrosão do sistema de alimentação da caldeira e do sistema de recuperação do condensado.

Portanto, simular todos os parâmetros citados anteriormente por meio de um objeto de aprendizagem seria uma importante estratégia pedagógica para apoiar os usuários (alunos), no seu processo ensino-aprendizagem no que se refere a temática seleção de tecnologia adequada para o tratamento de água bruta para caldeiras.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do estudo.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse estudo foi apresentar o desenvolvimento de um objeto de aprendizagem para simulação de seleção de tecnologia adequada para o tratamento de água bruta a ser utilizada em caldeiras.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do referido estudo são:

- Levantar as tecnologias existentes para o tratamento de águas em caldeiras;
- Estudar o uso de objetos de aprendizagem como apoio ao processo de ensino-aprendizagem nas diferentes áreas do saber;
- Implementar um objeto de aprendizagem para simular a seleção de tecnologias para o tratamento de águas em caldeiras.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo encontra-se a revisão de literatura que contempla objetos de aprendizagem, a caracterização dos tipos de caldeiras, os tipos de água para abastecimento de caldeiras e o tratamento das águas de alimentação de caldeiras.

3.1 OBJETO DE APRENDIZAGEM (OA)

Nos últimos tempos, o mundo transformou-se de maneira ampla e profunda. Essas transformações, de natureza científica, tecnológica, política, econômica, social e cultural, têm nos levado a enfrentar sucessivos e complexos acontecimentos que modificam nossas vidas nos mais diferentes aspectos. Alguns desses acontecimentos estão relacionados com as funções sociais e econômicas que a informação e o conhecimento ocupam na sociedade.

As instituições são produtos das ações humanas, desta forma, pode-se afirmar que os professores universitários precisam sobremaneira estar atualizados porque estes mediante as funções de ensino, pesquisa e extensão, devem estar se apropriando permanentemente do conhecimento pertinente a sua área de atuação.

Vale ainda ressaltar que a inclusão de novas estratégias no processo de ensino-aprendizagem aplicada a qualquer área, principalmente, a inclusão de atividades de aprendizagem fundamentadas em novas tecnologias, auxilia na formação continuada de profissionais, otimiza o tempo de aprendizagem minimizando os recursos financeiros e humanos envolvidos (CASTRO; CARVALHO; CARRAPATOSO, 2011).

Os profissionais devem ser capazes de aprender continuamente, tanto na sua formação, quanto na sua prática. Desta forma, os trabalhadores devem aprender a aprender e ter responsabilidade e compromisso com a sua educação e os treinamentos ou estágios das futuras gerações de profissionais, mas proporcionando condições para que haja benefício mútuo entre os futuros profissionais e os profissionais dos serviços, inclusive, estimulando, desenvolvendo a mobilidade acadêmica e profissional, a formação e a cooperação por meio de redes nacionais e internacionais.

É fundamental ao profissional se manter atualizado ou em processo de atualização contínua para que possa discutir e adquirir competências para a aplicação de recursos tecnológicos na sua área de atuação.

A aplicação desses conceitos tem provocado uma nova maneira de aprender e ensinar conteúdos da área de engenharia e, certamente é uma forma significativa de divulgar o conhecimento, apoiando permanentemente o processo de educação continuada. Assim, de acordo com Cardoso et al. (2008), as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) passaram a desempenhar um papel importante na estrutura organizacional das sociedades, permitindo processamento, armazenamento, difusão e elaboração permanente do conhecimento.

Segundo Castro, Carvalho e Carrapatoso (2011), com a necessidade de formação continuada dos profissionais na área de engenharia e os altos custos que essa formação implica, não somente para os participantes, mas também para as suas instituições, não apenas financeiro, mas principalmente de recursos humanos, é fundamental que haja aprendizagem baseada em novas tecnologias.

A tecnologia é a causa de mudança e as grandes inovações tecnológicas podem ocasionar mudanças de paradigma. A rede de computadores denominada Internet foi uma destas inovações. Depois de provocar mudanças extensas no modo como as pessoas se comunicam e fazem negócios, a Internet passa a produzir uma mudança de paradigma no modo como as pessoas aprendem. Em decorrência disso, uma mudança importante também pode estar surgindo no modo como os materiais educacionais são projetados, desenvolvidos e evidenciados para aqueles que desejam aprender. Uma tecnologia instrucional chamada Objetos de Aprendizagem (OA) superou outros aspirantes à posição de tecnologia escolhida na próxima geração de projeto instrucional, desenvolvimento e entrega devido ao seu potencial para reusabilidade, geração, adaptabilidade e escalabilidade (WILEY, 2000).

Desde o início do século Wiley define que OA é qualquer entidade digital, que pode ser usada, reusada ou referenciada no processo ensino-aprendizagem apoiado por Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) (WILEY, 2000).

O Objeto de Aprendizagem é definido como uma entidade, digital ou não-digital, que pode ser usada, reusada ou referenciada durante o ensino com suporte tecnológico. Exemplos de ensino com suporte tecnológico incluem sistemas de treinamento baseados no computador, ambientes de aprendizagem interativa, sistemas instrucionais auxiliados por computador, sistemas de ensino a distância e ambientes de aprendizagem colaborativa. Exemplos de Objetos de Aprendizagem incluem conteúdo multimídia, conteúdos instrucionais, objetivos de ensino, *software* instrucional e *software* em geral, bem como pessoas, organizações ou eventos referenciados durante a aprendizagem apoiada por tecnologia (WILEY, 2000 apud *LEARNING OBJECTS METADATA WORKING GROUP - LOM*, 2000).

Segundo Braga e Menezes (2014), um conteúdo didático utilizado no processo de ensino-aprendizagem pode ser comumente chamado de OA. Esses objetos podem ser utilizados como ferramentas para apoiar o professor a criar novas estratégias de ensino visando favorecer a apropriação do conhecimento pelo usuário (aluno).

Conforme Braga e Menezes (2014), os OA devem possuir características que favoreçam o reuso e a aprendizagem, sendo elas:

- Habilidades didático-pedagógicas: o OA deve ser capaz de mostrar ao usuário (aluno), o objetivo do aprendizado a que se propõe. É desejável também fornecer *feedback* suficiente para facilitar o aprendizado do usuário (aluno).
- Disponibilidade: o OA deve ser indexado e armazenado de maneira que possa ser facilmente encontrado.
- Acessibilidade: o OA pode ser acessado por diferentes dispositivos, diferentes contextos (exemplo, velocidade de conexão diferente) e, principalmente, possuir versão adaptada para diferentes tipos de usuários (alunos), (deficientes visuais, motores, idosos etc).
- Precisão: o OA deve sempre apresentar resultados precisos e dentro do esperado.
- Confiabilidade: o OA não deve possuir nenhum defeito técnico de uso ou erros no conteúdo pedagógico apresentado por ele.
- Portabilidade: o OA deve funcionar em diversos cenários como diferentes sistemas operacionais, Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) e diferentes dispositivos (celular, *notebook*, *smartphone*, entre outros).
- Facilidade de instalação: o OA deve ser fácil de ser instalado.
- Interoperabilidade: o OA, se necessário, deve exportar dados para diferentes tipos de sistemas.
- Usabilidade: o OA deve ser fácil de ser utilizado e estar de acordo com os padrões mais consagrados de usabilidade.

Os OA, segundo a Rede Internacional Virtual de Educação (RIVED, 2007), seriam quaisquer recursos capazes de facilitar a aprendizagem, desde que permitam, por meio de seu uso, o advento de processos críticos-reflexivos e de raciocínio abstrato por parte do usuário (aluno), que o manipula. São capazes de agregar diferentes e inovadoras abordagens pedagógicas ao uso do computador como ferramenta de apoio ao ensino-aprendizagem.

Segundo Yamazaki (2011), o *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) e o LOM, os OA são elementos digitais ou não, que podem ser aplicadas, reutilizadas ou

referenciadas durante o processo de ensino-aprendizagem com auxílio tecnológico. Para Machado (2016), um OA pode ser usado como recurso didático devido a sua singular capacidade de interatividade.

3.1.1 Tipos de Objetos de Aprendizagem

Atualmente, muito se debate sobre as diversas possibilidades em torno das TIC e suas aplicações na educação. De acordo com Rodrigues e Peres (2008), o uso da Internet permite o acesso à imagem, vídeos, áudios, animações, hipertextos, simulações e *softwares*, podendo ser utilizada para fins comerciais, acadêmicos, científicos, pessoais, profissionais, educativos, de entretenimento e porque não um importante recurso para a educação:

- Imagem: Figura que representa uma pessoa ou objeto por meio de desenho, pintura, escultura, símbolo ou figura. Uma imagem digital pode ser utilizada para apoiar a aprendizagem e, devido a isso, é considerada como um tipo de OA (DICIONÁRIO SOARES AMORA, 2010).
- Áudio: é uma faixa do espectro reservada ao som, em contraposição ao vídeo (DICIONÁRIO SOARES AMORA, 2010). Pode atuar sozinho como um OA, desde que seja utilizado para aprendizagem.
- Vídeo: trata-se de uma gravação de imagens em movimento composta por fotos sequenciais que resultam em uma imagem animada (*stop motion*) (DICIONÁRIO SOARES AMORA, 2010). Um vídeo utilizado para apoiar a aprendizagem é considerado um OA.
- Animações: a palavra animação vem do latim “Anima”, que significa “Alma” ou “Sopro Vital”. Portanto, pode-se dizer que animação significa “dar vida” a objetos estáticos, que podem ser imagens, textos etc (DICIONÁRIO SOARES AMORA, 2010).
- Simulação: de acordo com o Dicionário Aurélio (2017), tem-se que: “[simulação] s.f. Ato ou efeito de simular. Experiência ou ensaio realizado com o auxílio de modelos”.
- Hipertexto: é uma “organização da informação, no qual certas palavras de um documento estão ligadas a outros documentos, exibindo o texto quando a palavra é selecionada” (DICIONÁRIO SOARES AMORA, 2010). Um hipertexto é também conhecido como páginas na Internet e pode ser utilizado como apoio ao

processo de ensino-aprendizagem, portanto, pode ser considerado um OA. Encaixam-se nessa categoria: aulas virtuais e cursos à distância.

- *Softwares*: são programas de computadores, utilizando uma determinada linguagem, que executam determinadas tarefas e resolvem problemas de forma automática (BRAGA; MENEZES, 2014). Muitos *softwares* podem ser utilizados para apoiar a aprendizagem de maneira direta e, por isso, podem ser considerados OA.

Segundo Braga e Menezes (2014), as animações interativas podem se tornar ferramentas didáticas valiosas no auxílio aqueles usuários (alunos), com alguma dificuldade de abstrair conceitos. Sendo assim, uma animação pode ser considerada um OA. O uso de animações é essencial para o desempenho individual do usuário (aluno), visto que a animação possibilita o aprendizado de um modo mais efetivo, o que colabora com a aprendizagem dos conceitos envolvidos na animação. Além disso, esses recursos permitem a simulação de eventos reais que evoluem com o tempo. Seu uso estimula processos cognitivos como percepção, capacidade de organização, memória, linguagem, pensamento e outros. Produzem ainda um ambiente lúdico para o desenvolvimento da aula.

São três os tipos de animações com vários subtipos, que estão classificados de acordo com a forma como as imagens são criadas, os materiais envolvidos e a tecnologia utilizada. A primeira forma é chamada de animação tradicional ou desenhada à mão. Isso inclui os muitos desenhos animados e filmes de longa-metragem feitos nos últimos 70 anos, o que é às vezes chamado de “animação cel”. Esse termo refere-se às folhas de acetato transparente onde os diagramas são desenhados e fotografados no filme, a fim de que possam ser mostrados rapidamente, para criar a ilusão de movimento. A segunda forma apresenta a animação *stop motion*, consiste em tirar fotografias digitais fixas de objetos ou imagens depois de terem sido movidos manualmente para simular o movimento. A terceira forma de animação são aquelas realizadas por computador e têm imagens que são criadas digitalmente, com o uso de uma grande variedade de novas técnicas e *softwares* (BRAGA; MENEZES, 2014). No Quadro 1 são apresentadas as três formas de animação.

Abensur e Tamosauskas (2011) mostram que as ferramentas computacionais assistem o aprendizado e entre elas estão *softwares* educacionais que utilizam multimídia e ajudam usuários (alunos), e professores a tornarem o processo de ensino-aprendizagem simples, ágil e eficaz.

O processo de ensino-aprendizagem vem sofrendo mudanças nesses últimos anos, como em todas as áreas a evolução tecnológica contribui muito neste desenvolvimento. A TIC como recursos educacionais possui o propósito de tornar o ensino-aprendizado mais atraente, aumentar o acesso e diminuir o tempo a ser dedicado a essa atividade. É possível refletir que a utilização dos OA, atualmente, está muito diversificada, é uma ferramenta pedagógica amplamente utilizada em todas as áreas do saber: humanas, exatas e biológicas.

Quadro 1 – Tipos de animações

Forma de animação	Características	Tipos	Exemplos
Manual (<i>Hand-drawn</i>)	Imagens são desenhadas a mão e digitalizadas para o computador.	Desenhos animados Personagens animados	A Turma da Mônica Flintstones Jetsons Rei Leão Desenhos da Disney
<i>Stop-motion</i>	Objetos, modelos ou imagens são criados e pequenos movimentos são feitos com a mão, e os modelos são fotografados individualmente.	Animação de argila Animação de cortes Animação de modelos Animação de objetos Animação de marionetes Animação de silhuetas	Wallace e Gromit Gumby A Fuga das Galinhas Os Muppets harvie krumpet
Animações computacionais	Imagens são criadas digitalmente e manipuladas pelo computador.	Animação 2-D e 3-D Animação com esqueleto Captura de movimento (ou <i>mocap</i>) Animação Morph (ou de metamorfose) Animação <i>Flash</i> Animação em Slides (ex.: Power Point)	Sherek Carros Procurando Nemo

Fonte: HOBAN (2009) apud BRAGA; MENEZES (2014).

Segundo Braga e Menezes (2014), o Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas (*Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE*) foi criado em 1884 e tem como missão fomentar a inovação tecnológica e a excelência para o benefício da humanidade. O IEEE possui um Comitê de Padrões para a Tecnologia, o *IEEE Learning Technology Standards Committee* (LTSC), que possui a função de desenvolver padrões técnicos, práticas

recomendadas e guias para a tecnologia da aprendizagem que sejam internacionalmente creditados. Este comitê definiu um objeto de aprendizagem como: “qualquer entidade, digital ou não, que pode ser usada, reutilizada ou referenciada durante o aprendizado apoiado pela tecnologia”.

Segundo Machado (2016), a utilização do computador tem sido aplicada na química como alternativa viável para facilitar a compreensão de conteúdos com consequente mudança conceitual e, assim, a concretização da aprendizagem. O uso que as tecnomídias têm representado no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem como instrumentos que, aplicados a uma metodologia e uma didática adequada, provocam mudanças conceituais são resultados que comprovam um aumento da capacidade de exibição simbólica dos fenômenos e das variáveis envolvidos nas reações estabelecidas nos sistemas químicos na educação básica brasileira.

As tecnomídias são recursos tecnológicos também identificados pelo termo recursos tecnomidiáticos, uma vez, que admitem aspectos de comunicação e informação sujeitos às tecnologias, explicitando uma aplicação nos processos formacionais na educação contemporânea (MACHADO, 2016). Operam como ferramentas de apoio ao desenvolvimento das atividades humanas, tendo ocorrido seu maior desenvolvimento e popularização nas duas últimas décadas.

A aplicação de tecnomídias na educação permite a simulação e demonstração de variáveis envolvidas nos fenômenos em que a matéria é transformada, por meio da sua utilização adequada e pedagogicamente compreendida numa abordagem significativa dos conteúdos, comprova-se a existência de ações educativas com uso de ferramentas tecnológicas. Estas admitem que sejam estudados os arranjos geométricos, as ligações químicas, a atomística, os processos físico-químicos e ainda os compostos orgânicos (MACHADO, 2016).

Ainda segundo Machado (2016), a química, entre outras ciências investigativas, também invoca para si uso e aplicação de tecnomídias específicas para promover a efetivação da aprendizagem científica. Essas ferramentas denotam toda sua capacidade, reforçando a ação docente em sala de aula de modo a favorecer colaborativa e notadamente a aprendizagem expressiva dos conteúdos escolares.

Para possibilitar a compreensão sobre esses recursos, é necessário que sejam apresentadas algumas definições e entendimentos sobre essas tecnomídias, considerando sua adaptabilidade com o processo de ensino-aprendizagem nas ciências físicas e mais estritamente em química.

As tecnomídias desenvolvidas são designadas como *Softwares* Educacionais (SE) ou OA e estão associadas ao desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem, visto que aprimoram, em seus usuários (alunos), evoluções mentais superiores como percepção, atenção e memória, agregando conjunto de informações sobre temas específicos a serem desenvolvidos e compartilhados também em sala de aula de modo presencial ou virtual.

Os *softwares* educacionais são programas onde os objetivos de desenvolvimento preveem aplicação principal para as atividades de ensino com o objetivo de incentivar a aprendizagem do conteúdo. Freire e Prado (2011) pensam que essas ferramentas tenham uma proposta educacional também por contemplar, além da finalidade educacional, o público-alvo, a estratégia de uso, o modo de apresentação, a ergonomia cognitiva e o estímulo à criação e ao trabalho em equipe.

Para Machado (2016), essas ferramentas apresentam objetivos pedagógicos específicos e, para tanto, são classificadas em seis grandes categorias: tutoriais, programação, aplicativos, exercícios e práticas, multimídia e Internet, simulação e modelagem e jogos.

Cada categoria de SE apresenta uma contribuição educacional, seja pela simples memorização, pelo surgimento de situações-problemas e seus desafios e levantamento e refutação de hipóteses na resolução dessas situações apresentadas. Podem estimular a autonomia e proatividade, necessitando da ação dialógica do professor, de seu olhar crítico e experiente para promover uma mediação pedagógica salutar à aprendizagem discente. As tecnomídias mais amplamente empregadas no processo de ensino-aprendizagem fazem uso da Internet como dispositivo que potencializa o processo educacional e podem, portanto, influenciar de modo positivo na aprendizagem, aliando o Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) com o ambiente real no cotidiano dos usuários (alunos).

Os materiais didáticos multimídias são utilizados como material de apoio pelo docente no processo de ensino-aprendizagem, esses materiais didáticos podem ser utilizados em várias situações problema de acordo com cada disciplina a ser lecionada.

3.1.2 Exemplos de Objetos de Aprendizagem

Segundo Costa, Caritá e Leal (2010), o objeto de aprendizagem animação do processo de mitose foi desenvolvido com a ferramenta Blender e contemplou o desenvolvimento de uma animação 3D do processo de mitose que foi utilizado com discentes de cursos de graduação da área da saúde. Os autores fizeram uma avaliação do OA com os usuários (alunos), e os resultados caracterizaram que o mesmo foi considerado muito bom ou bom pela

maioria dos usuários (alunos), e pôde-se concluir que o uso da TIC e de OA são de extrema importância no processo ensino-aprendizagem contemporâneo, principalmente, quando o objeto de estudo se apresenta microscópico.

De acordo com Gomes, Caritá e Costa (2010), a explicação do Teorema de Hardy-Weinberg na área da biologia e da atuação dos fatores evolutivos sobre as frequências gênicas e genotípicas de uma população é geralmente difícil de ser compreendida pelos usuários (alunos), pois além de envolver uma série de cálculos matemáticos, também é necessário considerar várias gerações sucessivas. Portanto, o uso de OA para essa situação pode representar fator de motivação, de facilitação de aprendizagem, incentiva o desenvolvimento do trabalho em equipe e ajuda na fixação do assunto. Assim, os autores desenvolveram um simulador do Teorema de Hardy-Weinberg.

O OA foi submetido à validação de docentes biólogos e foi classificado de grande interesse em alguns pontos, como por exemplo, a simulação do fator de seleção, que atua no genótipo do indivíduo, o que torna o simulador de fácil entendimento para o usuário (aluno). A interface do OA foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação C++ em ambiente de desenvolvimento Microsoft Visual Studio 2008 em um projeto *Windows Forms Application*. Ele contempla a simulação do Teorema de Hardy-Weinberg seguindo suas premissas, bem como simulações dos fatores evolutivos como fator de seleção, deriva da população, mutação e migração (GOMES; CARITÁ; COSTA, 2010).

Foi estabelecido que as práticas de ensino-aprendizagem de engenharia de *software* podem ter uma série de benefícios através dos jogos educacionais. Alguns jogos foram desenvolvidos para esta área, mas ainda há a necessidade por estratégias de avaliação para medir os reais benefícios e a qualidade desses recursos didáticos. É necessário desenvolver um modelo de avaliação da qualidade de jogos educacionais voltado para o ensino de engenharia de *software* e avaliação de sua aplicabilidade, utilidade, validade e confiabilidade. A avaliação ocorreu por meio de uma série de estudos de caso, aplicando jogos educacionais de tabuleiro em disciplinas de engenharia de *software*. Os primeiros resultados indicaram que o modelo pode ser utilizado para avaliar aspectos de motivação, experiência do usuário (aluno), e aprendizagem em jogos (SAVI; WANGENHEIM; BORGATTO, 2011).

As TIC permitem a criação de ambientes virtuais de ensino-aprendizagem bastante adequados. No entanto, é importante a disponibilidade de conteúdos hipermediáticos interativos reaproveitáveis. Os esforços têm sido na busca de uma proposta de metadados para descrição independente de sistemas para os chamados objetos educacionais. A estratégia está na adoção de uma metodologia de desenvolvimento orientada a objetos para apoiar a criação,

organização, armazenamento e disponibilização destes elementos de aprendizagem para a comunidade acadêmica, dentro de técnicas adequadas de engenharia de *software* e aderente aos esforços de padronização (SCHEER et al., 2004).

Recursos disponíveis na *Web* podem ser usados e/ou reutilizados como materiais de apoio ao educador no processo de ensino-aprendizagem e formação continuada. Alguns desses elementos são chamados de estáticos, como por exemplo, vídeos, imagens, textos e outros, possibilitam interação entre objetos, sejam elas digitais ou não, como simulações, jogos e até mesmo aplicações inteiras. Sendo este último, chamado de Objetos de Aprendizagem Funcionais (OAF). Uma experiência prática com os OAF visa analisar as possibilidades de utilização, o potencial de reuso, o desenvolvimento, e as combinações de artefatos de *softwares* em contextos educacionais, bem como a adequação de suas descrições em diferentes metadados (GOMES; GADELHA; CASTRO JÚNIOR, 2009).

Os Instrutores Interativos de Matemática Recreativa (IIRM) são um elemento de *software* educacional, desenvolvido em conceitos matemáticos, apresentado por meio de matemática recreativa, concebido como objetos de aprendizagem interativos, orientados para a recreação e integrados no meio ambiente. É apresentada a arquitetura do ambiente de aprendizagem que integra serviços de comunicação que suportam os processos de interação da comunidade de aprendizagem, através de mensagens instantâneas, salas de bate-papo e jogos de matemática. Através da interface do ambiente de seu espaço de trabalho pessoal, os usuários (alunos), têm acesso a vários mecanismos fáceis de usar que lhes permitem personalizar seu conteúdo, seu *layout* e sua aparência. Nos níveis internos, a funcionalidade do IIRM é aprimorada com os recursos suportados pela infraestrutura do ambiente. São avaliados uma série de acontecimentos diferentes e variados do ambiente de aprendizagem em três cursos de matemática curtos e orientados para a motivação dos usuários (alunos), do ensino médio. Os resultados indicam que o uso do ambiente de aprendizagem eletrônico baseado no IIRM, afeta positivamente as atitudes dos usuários (alunos), em relação à matemática. Esta abordagem tem o potencial de viabilizar o processo de aprendizagem de matemática, basicamente em seus aspectos motivacionais.

3.2 CALDEIRAS

A caldeira é um equipamento que tem como finalidade gerar vapor por meio de uma troca térmica entre o combustível e a água, este equipamento construído com chapas e tubos faz com que a água aqueça e passe do estado líquido para o gasoso, aproveitando o calor

liberado pelo combustível que faz com as partes metálicas da mesma se aqueça e transfira calor à água produzindo o vapor (LEITE; MILITÃO, 2008).

Conforme Leite e Militão (2008), a finalidade de gerar o vapor tem como origem a revolução industrial, mas no início o vapor teve como propósito o acionamento de máquinas e turbinas para geração de energia e locomotivas. Com o aumento dos processos industriais como cozimentos, higienização e fabricação de alimentos, as máquinas térmicas tiveram que evoluir também. Assim, se utiliza o vapor em laticínios, fábricas de alimentos (extrato de tomate, doces, entre outras), gelatinas, curtumes, frigoríficos, indústrias de vulcanização, usinas de açúcar e etanol, tecelagem, fábricas de papel e celulose, entre outras.

A energia necessária para operação, isto é, o fornecimento de calor necessário para que a água aqueça até alcançar a temperatura de ebulição, mais o calor latente a fim de vaporizar a água e mais o calor de superaquecimento para transformá-la em vapor superaquecido, é dada pela queima de um combustível (LEITE; MILITÃO, 2008).

Segundo Leite e Militão (2008), uma caldeira é composta pelo sistema de vapor-água ou lado de água da caldeira e o sistema combustível ar gás da combustão, lado do fogo da caldeira. A água entra na caldeira pelo sistema vapor-água e, é esta água que recebe calor de uma barreira de metal que a aquece e a converte em vapor.

As entradas do lado do fogo da caldeira são o combustível e o ar de combustão que serão queimados na câmara de combustão. Durante a combustão ocorre uma conversão de energia química do combustível em energia térmica (calor), que aquece a água para gerar vapor.

Ainda segundo Leite e Militão, (2008) há dois tipos de caldeiras, a fogotubular e a aquatubular.

Conforme Leite e Militão, (2008), a caldeira fogotubular é considerada de baixa pressão até 10 kgf/cm², onde os gases resultantes da combustão trafegam por dentro dos tubos e a água passa por fora dos tubos.

A geração do vapor ocorre com a transferência de calor das paredes metálicas dos tubos devido ao calor que passa dentro deles e a água que está circundando os tubos, conforme pode-se observar na Figura 1.

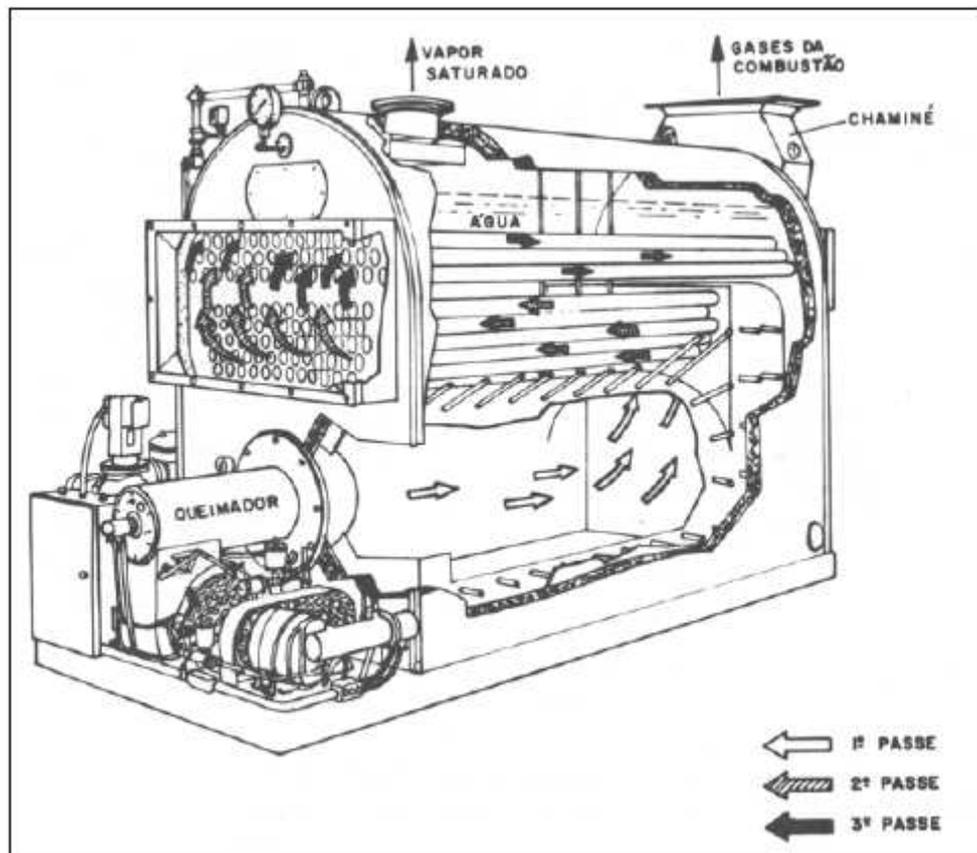
Durante o processo de transferência de calor há um resfriamento dos gases em função da condutividade dos tubos. O maior resfriamento dos gases indica uma maior transferência de calor.

Segundo Leite e Militão, (2008), a aplicação das caldeiras fogotubulares é indicada para a geração de vazão de vapor de até 10 ton/h e pressão de trabalho que não ultrapassem 10

kgf/cm², sendo somente o vapor saturado (vapor aquecido até o ponto de ebulição e então vaporizado com calor adicional).

Conforme a ANA (2009), a caldeira aquatubular é considerada de baixa pressão de 7 a 28 kgf/cm², média pressão de 28 a 56 kgf/cm², alta pressão 56 a 211 kgf/cm² e ainda acima de 211 kgf/cm² pressão supercrítica, onde a água passa por dentro dos tubos e os gases superaquecidos resultantes da combustão passam por fora dos tubos da caldeira. Esses tubos muitas vezes são chamados de feixe de tubos por serem vários e estão conectados ao tubulão superior e tubulão inferior de formato cilíndrico da caldeira. O tubulão superior trabalha com 50% de água, enquanto que o tubulão inferior deve ficar sempre com 100% de água conforme mostrado na Figura 2.

Figura 1 - Caldeira Fogotubular



Fonte: BEGA (2003, p. 37)

Para a ANA (2009), o lado do fogo, o lado da água e a câmara de combustão são isolados por uma parede com tijolos refratários para reprimir perdas de calor para o ambiente.

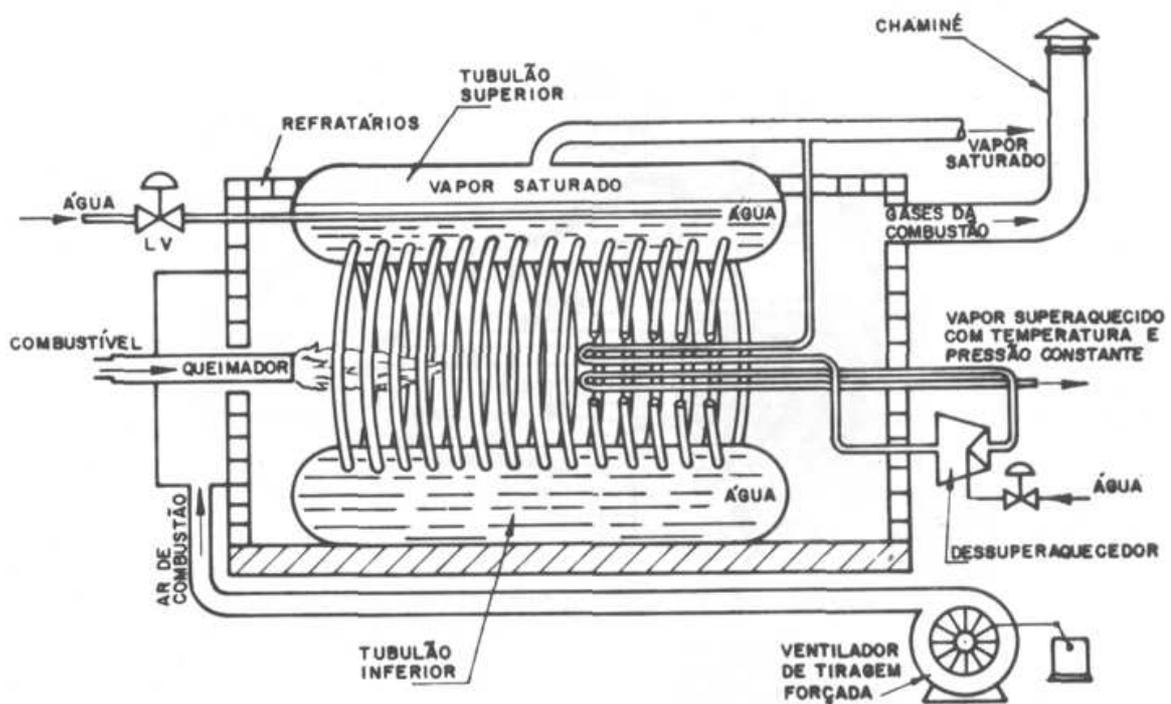
A água ao ser aquecida circula pelos tubos e realiza o seu aquecimento e o vapor gerado é encaminhado para o tubulão superior. Quando o vapor produzido é consumido,

ocorre uma diminuição da água no tubulão da caldeira e a válvula nível de entrada de água é aberta para restabelecer o nível no tubulão da caldeira, a água fria entra e desce até o tubulão inferior e a água quente sobe devido a sua densidade. O nível do tubulão é ajustado para trabalhar em 50% (ANA, 2009).

O vapor produzido no tubulão superior é chamado de vapor saturado, se o processo exigir um vapor com temperatura maior que a temperatura do vapor saturado, é necessária a instalação de superaquecedores. Os superaquecedores são compostos por feixes de tubos em formato de serpentina, que dão origem ao vapor superaquecido. O vapor superaquecido é utilizado na movimentação de máquinas a vapor onde aumentam sua eficiência (ANA, 2009).

Por outro lado, se a caldeira produzir vapor superaquecido terá que ser instalado um dessuperaquecedor, já que a correlação pressão por temperatura é verdadeira desde que o vapor seja saturado (ANA, 2009).

Figura 2 - Caldeira Aquatubular



Fonte: BEGA (2003, p. 38)

A temperatura final do vapor superaquecido é o resultado da influência da temperatura e do volume dos gases de onde o superaquecedor é dado em função da área de superfície de troca do superaquecedor, da posição dos queimadores, pressão do vapor e do excesso de ar.

Para diminuir as perdas de calor nos gases de combustão foram instalados equipamentos chamados de economizador e pré-aquecedor de ar. Assim, os gases resultantes da combustão se encontram com a temperatura maior que a temperatura da água, o gás é resfriado e a água é aquecida.

Os gases resultantes da combustão após passarem pelo economizador passam por meio do pré-aquecedor de ar com o objetivo de pré-aquecer o ar de combustão, pois neste caso os gases estão com a temperatura maior que o ar de combustão, há uma transferência de calor do pré-aquecedor aumentando a temperatura do ar e ao mesmo tempo resfriando os gases resultantes da combustão.

3.3 ÁGUA PARA ABASTECIMENTO DE CALDEIRAS

Segundo Aquino (2012), as impurezas normais das águas que são utilizadas na alimentação das caldeiras são conhecidas, por este motivo foram elaborados dois métodos de análise que atendem às necessidades de controle da água de alimentação da caldeira e permitem determinar os valores dos seguintes parâmetros: alcalinidade; cloretos; dureza; fosfatos; pH; concentração de O₂ livre; matéria orgânica; resíduo calcinado; sílica e sólidos totais.

De acordo com Payne (2010), a alcalinidade mostra a influência de íons de fosfatos, hidróxidos, carbonatos, silicatos e bicarbonatos, todos que compõem a alcalinidade da água.

Segundo Mueller (2012), os cloretos são compostos de cálcio, magnésio, sódio, ferro, entre outros. Para definição utiliza-se solução de nitrato de prata N10 padrão e como indicador o cromato de potássio. A presença de cloretos pode causar a perda da eficiência na troca de íons e contaminação da resina, podendo causar também entupimento da tubulação.

Segundo Baccan (2015), dureza mostra a concentração dos cristais de cálcio em forma de carbonato, silicato, cloreto e sulfato. Pode ser mostrado em grau alemão, inglês ou francês. Causa depósito no interior dos tubulões e também causa expansão e rompimento dos tubos da caldeira.

Ainda segundo Mueller (2012), os fosfatos auxiliam no tratamento da água, ou seja, reagem com os sais de cálcio e de magnésio, formando um produto insolúvel que não adere às partes metálicas da caldeira. O precipitado forma um lodo que se acumula no fundo da caldeira, sendo eliminado regularmente por meio de purgas.

Segundo Baccan (2015), o pH é uma maneira de medir a concentração de ácido ou base em uma água. Em outras palavras, é a maneira de se medir a acidez ou a alcalinidade de

uma amostra. Para a determinação do valor da variável pH utiliza-se uma escala que varia de 1 a 14, sendo que de 1 a 6 a água é ácida e de 8 a 14, a água é alcalina. Com pH igual a 7 a água é neutra. Isso quer dizer que quanto mais ácida é a água, mais corrosiva ela é. As águas brutas possuem o pH em torno de 6,3 a 6,5, ligeiramente ácidas.

Segundo Hage (2013), os gases dissolvidos na água bruta a concentração pode chegar até 50 ppm e sua eliminação pode ser feita por meio do aquecimento da água. A solubilidade do oxigênio chega a 5,7 mg/L à 25 °C, o oxigênio é altamente corrosivo para as partes internas da caldeira e com o aumento da temperatura a ação do O₂ na parte interna da caldeira acelera o processo de corrosão. Os produtos utilizados para eliminar o O₂ da água de alimentação da caldeira são o sulfito de sódio e a hidrazina.

Segundo Medeiros (2005), a matéria Orgânica está presente na água bruta na forma coloidal ou na forma de algas microscópicas e sua determinação se dá pelo método do permanganato.

De acordo com Baccan (2015), a sílica produz uma incrustação resistente. Os tratamentos normalmente empregados no interior da caldeira não eliminam totalmente a sílica. Os métodos mais usados para a remoção da sílica são a troca iônica e o tratamento com óxidos de magnésio calcinado.

A unidade mais usada para medir a concentração de substâncias em solução de água bruta é o mg/L, partes por milhão. Todas as análises feitas na água de alimentação da caldeira são realizadas tomando como referência o volume e não o peso da água.

Para determinar a quantidade de íons dissolvidos na água de alimentação de caldeiras utiliza-se a condutividade elétrica, a unidade segundo o Sistema Internacional (SI), é o *micro-siemens* por metro ($\mu\text{s}/\text{m}$). Como os valores de concentração de sais dissolvidos na água de alimentação das caldeiras são muito baixos, é utilizado *micro-siemens* por centímetro ($\mu\text{s}/\text{cm}$). O processo de medição contínua das impurezas dissolvidas na água de alimentação das caldeiras utiliza essa unidade de medição ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

3.4 TRATAMENTO DAS ÁGUAS DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRAS

A água na natureza tem origem nos oceanos, lagos, rios, e os ciclos são mantidos pela evaporação e a precipitação na forma de chuva. Até mesmo a água da chuva, que é uma água destilada, ou seja, consequência da evaporação possui gases dissolvidos já que na atmosfera existem os mais diversos tipos de gases em diferentes concentrações. A água dos rios traz

dissolvido ou em suspensão, gases, matéria orgânica, sais de diferentes tipos de metais e antes de ser utilizada precisa ser tratada para a eliminação seletiva de contaminantes.

Segundo a ANA (2009), a relevância da água não pode ser vista apenas sob o ponto de vista biológico, mas também com relação às atividades produtivas. Tendo o pleno acesso e o uso múltiplo das águas sendo assegurados pela gestão eficaz dos recursos hídricos. Estes múltiplos usos são divididos em dois grupos:

- Consultivos - quando a água consumida não retorna imediatamente às fontes hídricas locais como o abastecimento urbano, irrigação e abastecimento industrial.
- Não consultivos - quando não existe consumo de água no processo como produção de energia elétrica, piscicultura e navegação.

Ainda segundo a ANA (2009), calcula-se que em relação ao volume total da água disponível no planeta, 97% é formada por água salgada, uma parte muito pequena está na forma de vapor, sendo a parcela restante chamada de água doce. O problema é que a água doce está em geleiras e em grandes profundezas do solo, enfim a água doce disponível facilmente para uso é encontrada em pouca quantidade. Como se não bastasse ainda existe a ação do homem que contribui cada dia mais para diminuir os recursos hídricos existentes.

Diante deste contexto é de fundamental importância que sejam desenvolvidas tecnologias ambientais para minimizar, adiar ao máximo ou evitar o estresse hídrico no mundo. Algumas alternativas já estão sendo postas em prática como reduzir ao máximo o desperdício de água, desenvolvimento de tecnologias ambientais para minimizar o consumo de água, tratamento e reuso da água e, principalmente, a preservação das fontes e mananciais dos recursos hídricos.

O exemplo mais simples é a água de consumo doméstico e para o consumo humano. A água para uso industrial requer um tratamento para preservação dos equipamentos onde a água circulará ou será transformada em vapor. Nas torres de resfriamento o problema se agrava devido ao processo de concentração provocado pela relação de evaporação e temperatura da água na torre. Nos geradores de vapor o problema torna-se muito maior, pois a taxa de evaporação é elevada e os sólidos antes dissolvidos começam a precipitar ou incrustar nas tubulações.

Segundo Aquino (2012), a qualidade das águas de alimentação de caldeiras sempre deve ser melhorada aplicando um método para colocá-la dentro dos parâmetros ideais como desmineralização ou osmose reversa, dependendo da água bruta, a ser utilizada, evitando assim, que ocorram problemas nas partes internas da caldeira.

Ainda segundo Aquino (2012), existe um método para o tratamento da água bruta no interior do reservatório da caldeira.

O tratamento interno melhora a qualidade da água tratada anteriormente utilizando produtos químicos no interior da caldeira.

Há muito tempo a água bruta para alimentação de caldeiras sofre tratamento para remoção de dureza e sólidos totais. À medida em que o vapor produzido pelas caldeiras foi maximizando sua importância e também as pressões de trabalho foram aumentando, a exigência da qualidade da água também seguiu a mesma linha. A qualidade da água está condicionada à pressão de trabalho do gerador de vapor. Atualmente, as indústrias investem pesado em equipamentos para tratamento da água bruta para alimentação de caldeiras. Dificilmente uma indústria que possui caldeiras de alta pressão, não possui sistemas de desmineralização ou ultrafiltração para o tratamento final da água de alimentação das caldeiras. Porém, só isto não é suficiente para garantir a qualidade do vapor produzido e a vida útil dos equipamentos envolvidos nos processos (AQUINO, 2012).

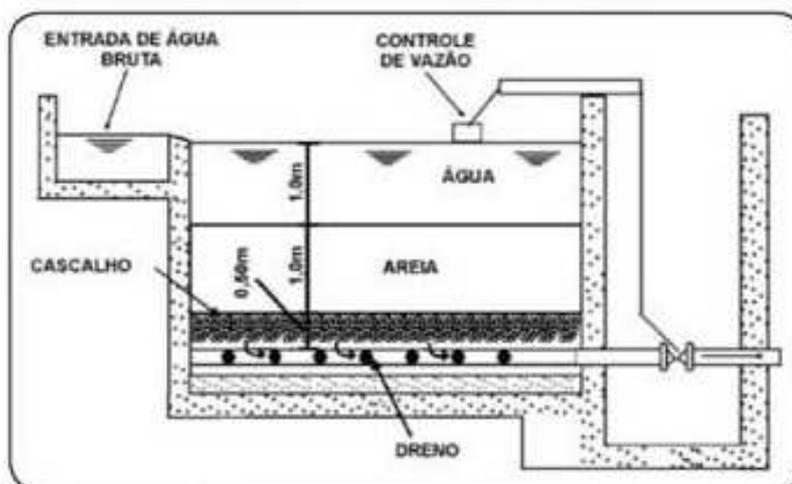
3.4.1 Tratamento Externo

Segundo Skoog (2005), o processo de clarificação é o tratamento para eliminar as partículas sólidas em suspensão que causam turbidez. Por conta do aumento acelerado da poluição que afeta diretamente o meio ambiente, as fontes de águas naturais são muito diversificadas e sofrem alteração na sua composição físico química.

Um dos métodos utilizados é o de filtração simples, com resultado satisfatório quando a água bruta se origina de poços artesianos profundos, onde o grau de contaminação muitas vezes é relativamente baixo, porém, essa água pode possuir uma quantidade de sais dissolvidos elevada (SKOOG, 2005).

Deste modo para qualquer tipo de gerador de vapor recomenda-se a aplicação de um filtro de areia aberto, em que a remoção das impurezas é feita pela ação da gravidade ou ainda utilizando um outro tipo de filtro que pode ser um filtro auto lavável que atende perfeitamente às necessidades deste processo (Figura 3).

Figura 3 - Filtro de areia por gravidade



Fonte: ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA MICROREGIÃO DO VALE DO PARANAÍBA - AMVAP (2006, p. 25) apud FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA (2007, p. 90).

Quando não se tem espaço suficiente para a instalação de filtros de areia por gravidade pode-se utilizar um modelo de filtro de areia e antracito fechado, onde a água circula por dentro do filtro com uma pressão interna de até 10 mCA. Se por acaso a pressão interna ultrapassar a pressão máxima, então acontece uma inversão no sentido da vazão de água, fazendo com que todo o resíduo que se encontra na superfície da areia seja arrastado para o esgoto. É possível acompanhar o fluxo de água no processo através de um visor instalado no aparelho até a água começar a passar limpa (Figura 6). Esta operação dura em média de 5 a 10 minutos (SKOOG, 2005).

Segundo Baccan (2015), a turbidez das águas dos rios, córregos e lagos se deve a presença de matérias coloidais, as águas superficiais sempre trazem vários tipos de rejeitos por onde passam humanos, vegetais e minerais. É necessário então um pré-tratamento antes do processo de filtração que é denominado processo de clarificação.

No processo de clarificação a água bruta recebe agentes coagulantes formando flocos gelatinosos com grande capacidade de absorverem todas as impurezas existentes na água. Os agentes coagulantes mais utilizados são o ferro e o alumínio, sendo misturados com a cal hidratada (BACCAN, 2015).

O hidróxido de alumínio originado no clarificador possui a forma de floco e vai decantando juntamente com os sólidos dissolvidos, retirando toda turbidez da água de alimentação da caldeira. No aparelho de clarificação é possível verificar o processo de floculação e a decantação (BACCAN, 2015).

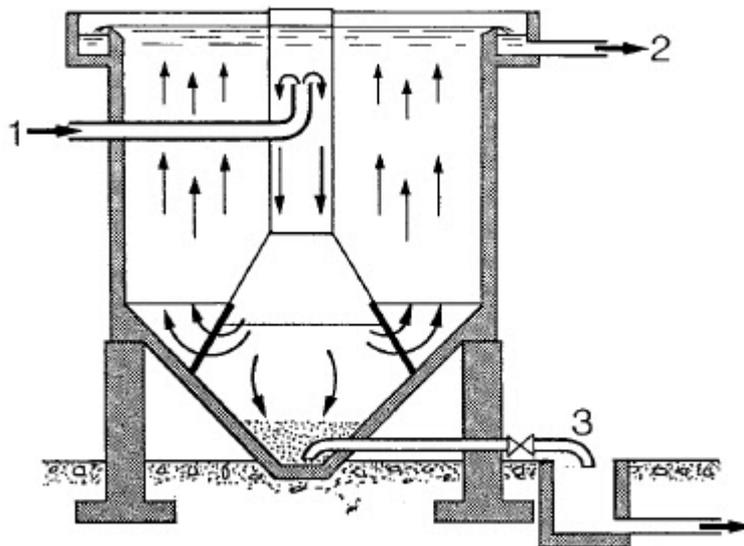
Na Figura 4 ilustra-se um decantador que consiste na entrada de água bruta e de saída água decantada do lodo. A água entra no decantador (1) e por um rodo lamas sedimenta para o fundo (3) e a água tratada sai na parte superior (2).

Um dos tratamentos externos utilizados para eliminar somente a dureza da água de alimentação da caldeira é o abrandamento, vários tipos de tratamentos utilizando outras tecnologias são aplicados quando se deseja proporcionar água totalmente desmineralizada (ROVANI, 2012).

Segundo Rovani (2012), existem vários métodos de abrandamento da água de alimentação de caldeira, sendo:

- Abrandamento por troca de íons;
- Abrandamento cal a frio;
- Abrandamento cal, soda e carbonato a quente;
- Abrandamento cal a quente e zeolito.

Figura 4 - Decantador cilíndrico cônico



Fonte: PERA (1990, p. 22).

Ainda segundo Rovani (2012), no abrandamento por troca de íons o objetivo é a eliminação da dureza da água de abastecimento da caldeira. A mesma é formada por sais alcalinos terrosos compostos por cálcio e magnésio. A cedida pelos dois elementos forma a dureza total.

A dureza total é resultado das durezas temporária e permanente, sendo temporária, também conhecida como dureza do carbonato e a permanente, dureza descarbonatada.

O processo de abrandamento se dá quando a água dura, maior que 0,3 mg/L passa por uma coluna de resina aniônica, composta por cloreto de sódio (NaCl), a uma concentração de 8 a 15% que por meio de reação química substitui o cálcio (carbonato de cálcio CaCO_3 ou o sulfato de cálcio CaSO_4), e o fosfato de magnésio em um processo contínuo até esgotar os mesmos, sendo necessária a regeneração que consiste em parar o processo contínuo e substituir a água tratada por uma solução de cloreto de sódio para a recomposição do cátion utilizado no tratamento químico da água de alimentação da caldeira e a remoção do cálcio e do magnésio presentes no aparelho de regeneração (MEDEIROS, 2005).

Segundo Medeiros (2005), após a regeneração da coluna de resinas é feito o *startup* do processo de tratamento da água da caldeira. A etapa de regeneração da água bruta depende da quantidade de resina no aparelho e da qualidade da água. Geralmente, é adotado um tempo de 30 horas, sendo de 60 a 70 minutos, destinados à regeneração.

O processo de cal, soda e carbonato a quente é utilizado para o tratamento de água de caldeira quando a parcela de água é elevada. O aquecimento de 90 a 95° C ou até mesmo 100° C aceleram as reações químicas.

É considerado um dos métodos mais eficientes no tratamento da dureza da água de alimentação de caldeira, além disso, promove também a eliminação da formação de gases para durante as reações químicas da cal e soda a 105° C.

O Processo Combinado cal a quente e zeolito promove a obtenção de dureza zero, além de baixíssima alcalinidade, em torno de 15 a 25 ppm.

Os processos abordados no tratamento de água da caldeira até o momento, tem como objetivo evitar concentrações de sais minerais nas partes internas da caldeira, tornando-os solúveis.

Consequentemente, há um processo contínuo de concentração de sais minerais aceitável para caldeiras de baixa pressão, mas inviável conforme as pressões das caldeiras vão subindo. Para caldeiras que trabalham com pressões acima de 40 kgf/cm² não é aceitável água simplesmente abrandada.

O processo de desmineralização consiste em abastecer com água desmineralizada a caldeira que possua um aparelho de troca de ânions e cátions conforme as características de qualidade da água bruta, mais outros equipamentos que completam o processo de tratamento de água, tais como os preparadores das soluções regenerativas, bombas dosadoras e aparelhos registradores.

Conforme Gentil (2007), as vantagens do processo de cal, soda e carbonato a quente são:

- Suprime totalmente a dureza da água;
- Implica em um controle contínuo que assegura a qualidade da água;
- Elimina toda a matéria sólida em suspensão.

Segundo Gentil (2007), a osmose em si é um processo natural que ocorre quando duas soluções, de concentrações diferentes, estão sendo separadas por uma membrana semipermeável, ou seja, permeável para solventes, e impermeável para solutos com porosidade suficiente para que passe somente água e nada mais. A pressão osmótica pressiona a água do meio diluído para o meio mais concentrado, a fim de se atingir um equilíbrio na concentração de ambos.

Como o próprio nome já diz na osmose reversa, o processo é reverso ao da osmose normal, sendo assim, a osmose reversa nada mais é do que uma inversão no sentido desse fluxo, a água agora passa do meio mais concentrado para o mais diluído.

Conforme Rovani (2012), a osmose reversa é obtida por meio da aplicação de uma pressão superior à pressão osmótica do lado da solução mais concentrada. No tratamento de água para as caldeiras isso é obtido pressionando-se a solução por meio de uma bomba de alta pressão e passando essa solução por um vaso de pressão onde está contida a membrana, vaso permeador. A água pura e a solução agora mais concentrada são retiradas de forma contínua, de modo que a pressão osmótica e a concentração de sais se mantenham em nível aceitável para que o processo não seja interrompido. A água assim obtida é denominada de produto e a solução concentrada de rejeito.

O processo de tratamento de água por osmose reversa consiste, então, em fazer passar de forma forçada água limpa por uma membrana semipermeável, a qual só permitirá passar água e não as demais substâncias e elementos que estejam presentes no meio, tornando a água mais pura. As principais vantagens desse processo, além da economia de gás natural, outro ganho ambiental que pode ser observado é a redução nas emissões de dióxido de carbono para o meio ambiente. Houve melhoras na qualidade da água, principalmente, no que se refere aos teores de sílica e a dureza. Comparada ao processo de troca iônica, a osmose tem a vantagem de dispensar a etapa de regeneração, onde são utilizados produtos químicos para ativação das resinas, geralmente a cada 24 horas (GENTIL, 2007).

Na osmose somente é feita uma limpeza química das membranas em períodos superiores a três meses podendo chegar a um ano. Outra vantagem é a área reduzida em relação ao sistema de troca iônica. Contudo, há também algumas desvantagens, sendo a principal o fato de se gerar um fluxo de líquidos rejeitados, tendo estes, elevadas

concentrações de sais minerais. O processo é bastante lento, sendo necessário que se utilize bem mais que um permeador (ROVANI, 2012).

Ainda segundo Rovani (2012), o processo de degaseificação é a última operação antes de considerar a água de alimentação da caldeira aprovada seguindo as exigências de qualificação onde os gases são enviados para a atmosfera.

Para caldeiras de baixa pressão pode-se dispensar a utilização do aparelho de degaseificação, utilizando tratamento químico a fim de eliminar os efeitos corrosivos dos gases principalmente do oxigênio. Os produtos químicos utilizados neste método de tratamento de água de caldeira geralmente são o sulfito de sódio e a hidrazina (LEITE; MILITÃO, 2008).

Segundo Hage (2013), a hidrazina simples ou catalizada é utilizada para anular os efeitos corrosivos do oxigênio dissolvido na água e a hidrazina arrasta o gás dissolvido na água de acordo com a fórmula $\text{NaH}_4 + \text{O}_2 \Rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

A eficácia deste método de tratamento de água para caldeiras dependerá também de outros parâmetros como o pH, a temperatura, a influência de catalizadores e a própria dosagem do produto. O sulfito reage conforme $\text{Na}_2\text{SO}_3 + 1/2\text{O}_2 \Rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$ (PAYNE, 2010).

As caldeiras com pressões superiores a 21 kgf/cm² utilizam o método de degaseificação da água bruta por processos térmicos (LEITE; MILITÃO, 2008).

O ar atmosférico é o principal componente que influencia diretamente na quantidade de gases dissolvidos presentes na água de alimentação das caldeiras (LEITE; MILITÃO, 2008).

Segundo Leite e Militão (2008), o equipamento degaseador é construído em aço carbono, onde as partes internas que estão em contato direto com os gases são em aço inox 316L, esse aparelho possui um reservatório de água degaseada. A operação de degaseamento dura entre 15 a 30 minutos. O formato do equipamento de degaseamento é cilíndrico com tampas abauladas.

Ainda conforme Leite e Militão (2008), existem dois métodos de degaseamento, um método é aproveitar o condensado dos processos e misturar água, obtendo uma mistura de água aquecida a uma temperatura entre 60 e 70 °C, essa mistura é submetida a uma bomba de vácuo. O outro método é por meio de vapor aquecido. Uma das vantagens do método de retirada do oxigênio da água pelo método de vácuo é a economia do vapor de alta pressão e também com as interligações de tubulações, por outro lado a desvantagem é a dificuldade em se manter o vácuo.

3.4.2 Tratamento interno

Segundo Oliveira (2007), o método aplicado para o tratamento de água bruta de baixa dureza é por meio da adição de produtos químicos na água já no interior da caldeira. O produto mais utilizado neste tipo de tratamento é trifosfato de sódio, e o método mais econômico de se tratar água de caldeira consiste na aplicação de sais no tubo de injeção da caldeira ou por um dosador de modo contínuo. O lodo é o resíduo formado pelas reações químicas que se deposita nas paredes inferiores da caldeira, por descargas alternadas é descartado. Por meio da precipitação dos sais de cálcio pela reação do fosfato não permitindo a aderência do mesmo nas paredes da tubulação da caldeira, tornando solúveis os sais que deixavam a água de alimentação da caldeira dura. O controle de pH é aplicado na água da caldeira para manter o valor entre 8,3 e 10,0.

Com o objetivo de eliminar o oxigênio dissolvido por meio do controle de cloretos e do teor total de sólidos para evitar a corrosão dos feixes de tubos internos da caldeira:

- Segundo Baccan (2015), na eliminação da dureza os sais de cálcio e de magnésio precipitam, assim como, carbonatos e sulfatos, formando os depósitos duros e isolantes do calor que são as incrustações. Um dos métodos existentes para eliminar a dureza é o tratamento catiônico.
- Precipitação com fosfatos - Esses reagem com os sais de cálcio e de magnésio, formando um produto insolúvel que não adere às partes metálicas da caldeira. O precipitado forma um lodo que se acumula no fundo da caldeira, sendo eliminado regularmente por meio de purgas (BACCAN, 2015).
- Purgas - são localizadas abaixo do nível da água aproximadamente e retiram o que se acumula pela precipitação de fosfato, tendo controle químico da caldeira (BACCAN, 2015).
- Tratamento com quelatos - nesse tratamento não há precipitação do cálcio, nem do magnésio. Porém, formam-se produtos solúveis não em forma de lama. Os quelantes mais utilizados são o *Ethylenediamine Tetraacetic Acid* (EDTA) ou ácidoetileno diaminotetra-acético, que é um composto orgânico que age como agente quelante, formando complexos muito estáveis com diversos íons metálicos (BACCAN, 2015).
- Controle do pH e da alcalinidade - mantém a água alcalina, a eliminação do oxigênio dissolvido, no controle dos cloretos e do teor total de sólidos para evitar a

corrosão dos feixes de tubos internos da caldeira. Os produtos empregados no controle do pH e da alcalinidade são a soda a 50% e a soda (hidróxido de sódio) em lentilhas. Não é necessário a adição de ácidos para o controle do pH e da alcalinidade, pois as águas de alimentação são geralmente bastante ácidas (BACCAN, 2015).

- Eliminação do oxigênio dissolvido - Isso é de vital importância para evitar o processo de corrosão. Para garantir a eliminação do oxigênio dissolvido é feita a reação entre certos agentes redutores e o O_2 . Os dois produtos mais usados são o sulfito de sódio e a hidrazina. Utilizando sulfito de sódio para remoção de oxigênio tem-se como produto final o sulfato de sódio, que eleva o nível de sólidos da água da caldeira. Quando é utilizado o sulfito de sódio em excesso, pode-se provocar uma reação na molécula deste, formando dióxido de carbono e gás sulfídrico que são altamente corrosivos para a linha de condensado. A reação química da hidrazina com o oxigênio, o produto originado é a água e o nitrogênio. Este método evita o aumento de sólidos dissolvidos na água. Podendo aumentar a reação da hidrazina, utilizando-se catalisadores orgânicos. Normalmente trabalha-se com hidrazina mantendo um resíduo de 0,1 a 0,5 ppm em N_2H_4 e as caldeiras de alta pressão entre 0,05 e 0,1 ppm em N_2H_4 . Além de retirar o oxigênio dissolvido da água de alimentação, esta forma uma película de magnetita protetora na superfície dos tubos. O principal problema do uso de hidrazina é a restrição ambiental decorrente de sua toxicidade (OLIVEIRA, 2007).
- Controle da concentração de cloretos e sólidos totais - Quando a concentração de cloretos aumenta, surgem problemas de corrosão. Quando o teor de sólidos aumenta, surgem problemas de arraste. A forma de controlar o aumento da concentração de cloretos e sólidos totais é por meio de purgas sempre que se fizer necessário (OLIVEIRA, 2007).
- Remoção da dureza - é outro parâmetro que pode causar incrustações nas partes internas da caldeira. O tratamento recomendado é dosar fosfato na água da caldeira que reage com os sais da água bruta, formando flocos visíveis que no início aumentam a turbidez da água e, após um tempo de reação se precipitam acumulando no fundo dos tanques e tubos da caldeira. A solução é um sistema de descarga de fundo que pode ser automatizado ou manual, porém se esse sistema não for eficiente, os sais ficam depositados no fundo dos tubos e no corpo da caldeira solidificando-se e formando incrustações. O tratamento interno da água da caldeira com fosfato só é

recomendado quando a água já passou por um processo de pré-tratamento por abrandamento. É possível tratar a água da caldeira utilizando determinados polímeros que agem solubilizando os sais de dureza da água e removendo a turbidez e os resíduos sólidos que poderiam se depositar no fundo do reservatório e nos tubos da caldeira, como não há sólidos decantados o número de descargas de fundo é menor. A economia de combustível e a maior eficiência devido ao menor número de descargas de fundo são alguns dos fatores que tornam os polímeros a melhor forma de tratamento interno da água da caldeira (OLIVEIRA, 2007).

- Segundo Oliveira (2007), remoção do dióxido de carbono - O dióxido de carbono é facilmente removido com o auxílio do uso de aminas voláteis e amônia, sendo estas de dois tipos, formadoras de filme e neutralizantes. Entes as aminas mais utilizadas possuímos a dietiletanolamina, as cíclicas ciclohexilamina e morfolina. Dependendo da extensão da linha de vapor, devemos usar a morfolina para pequenas extensões e uma combinação das demais para grandes extensões. Devido à alta toxicidade das aminas, muitos preferem utilizar a amônia em sistemas com alto teor de dióxido de carbono, porém esta não pode ser utilizada quando possuímos cobre na linha de vapor. No Quadro 2 são apresentadas as substâncias contidas na água bruta, seus respectivos problemas e a metodologia de tratamento utilizada.

Quadro 2 – Substâncias contidas na água bruta, os respectivos problemas e a metodologia de tratamento utilizada

Impurezas	Problemas	Método de Tratamento
Dureza-Cálcio (0,0 a 0,3 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos no interior dos balões ou nas superfícies de troca térmica. • Pode causar expansão e rompimento dos tubos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Água abrandada. • Aplicar produtos químicos na caldeira. • Controlar qualidade da água da caldeira.
Sílica (SiO ₂) (1 a 150 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos no interior dos balões ou nas superfícies de troca térmica. • Pode causar expansão e rompimento dos tubos de evaporação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desmineralização. • Aplicar produtos químicos na caldeira. • Controle da qualidade da água de caldeira.
Alcalinidade (100 a 350 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Decomposição pela ação do calor na caldeira tornando a água excessivamente alcalina. • O CO₂ gerado pela decomposição térmica provoca a diminuição do pH na linha do condensado com corrosão progressiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar produtos químicos na caldeira. • Uso de amina volátil. • Abrandamento por um tratamento de alcalinização.
Ferro (0,01 a 0,1 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Perda da eficiência de troca dos íons pela resina. • Corrosão secundária na caldeira. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidação e filtração. • Coagulação e sedimentação. • Desmineralização. • Uso de inibidor de corrosão.
Sólidos Totais (0,048 a 4,32 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Causa problemas de arraste • Contaminação das resinas. • Causa entupimento nas tubulações e precipitação na caldeira. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controle de qualidade da água da caldeira. • Filtração. • Desmineralização Coagulação.
pH (8,3 a 10,0)	<ul style="list-style-type: none"> • O pH varia de acordo com sólidos ácidos e alcalinos na água. 	<ul style="list-style-type: none"> • O pH pode ser aumentado por bases e decrescido por ácidos.
Óleos (0,19 a 0,99 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Causa espuma na água da caldeira com problemas de arraste. • Incrustação na área de troca térmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtração com carvão ativado. • Tratamento de separação por flotação.
Gases Dissolvidos (O ₂ e CO ₂) (0,00 a 0,0069 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão do sistema de alimentação, da caldeira e do condensado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desaeração. • Uso de eliminador de oxigênio. • Uso de Amina Volátil.
Dióxido de carbono (0,19 a 0,99 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em linhas de água, particularmente vapor e linhas condensados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aeração, "desaeração", neutralização com bases.

Fonte: Adaptado de GENERAL ELECTRIC COMPANY (2012).

No Quadro 3 são apresentados os problemas originados pela água e as respectivas consequências.

Quadro 3 – Problemas originados pela água e as respectivas consequências

Causas	Problemas	Consequências
<ul style="list-style-type: none"> Mau funcionamento ou dificuldade no controle da qualidade da água de alimentação. Método de adição de produto químico incorreto. Tecnologia inadequada. 	Incrustação	<ul style="list-style-type: none"> Incrustação por dureza da água ou sílica (são os principais componentes que aderem no interior dos tubos e na área de troca térmica). Causa expansão e explosão dos tubos de evaporação.
<ul style="list-style-type: none"> Tratamento incompleto na remoção de oxigênio. Reutilização do dreno que contém muitos componentes causadores de corrosão. 	Corrosão	<ul style="list-style-type: none"> Gases dissolvidos corroem a linha de alimentação, de condensado e área de troca térmica. Corrosão por óxidos metálicos que aderem à área de troca térmica.
<ul style="list-style-type: none"> Abrupto aumento da carga. Reduzido controle da qualidade de água da caldeira. Deficiência no separador de arraste. 	Arraste	<ul style="list-style-type: none"> Deterioração da pureza do vapor. Diminuição da eficiência da caldeira.

Fonte: Adaptado de GENERAL ELECTRIC COMPANY (2012).

No Quadro 4 são mostrados os parâmetros básicos da água de abastecimento para caldeiras de baixa, média e alta pressão.

Quadro 4 – Parâmetros da água para caldeiras de baixa, média e alta pressão

Parâmetros	Valores limite							
	0 - 21,1	21,1 - 31,6	31,6 - 42,2	42,2 - 52,7	52,7 - 63,3	63,3 - 70,3	70,3 - 105,5	105,5 - 140,6
Pressões (kgf/cm ²)	0 - 21,1	21,1 - 31,6	31,6 - 42,2	42,2 - 52,7	52,7 - 63,3	63,3 - 70,3	70,3 - 105,5	105,5 - 140,6
Qualidade na água de alimentação								
OD (mg/L)	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007
Ferro total (mg/L)	≤ 0,1	≤ 0,05	≤ 0,03	≤ 0,025	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,01	≤ 0,01
Cobre total (mg/L)	≤ 0,05	≤ 0,025	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,015	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01
Dureza total (mg/L)	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,1	≤ 0,05	0	0
pH (a 25 °C)	8,3 – 10	8,3 – 10	8,3 – 10	8,3 – 10	8,3 – 10	8,8 - 9,6	8,8 - 9,6	8,8 - 9,6
COT (mg/L)	< 1	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2
OG (mg/L)	< 1	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Qualidade na água da caldeira								
Sílica (mg/L)	≤ 150	≤ 90	≤ 40	≤ 30	≤ 20	≤ 8	≤ 2	≤ 1
Alcalinidade total (mg/L)	≤ 350	≤ 300	≤ 250	≤ 200	≤ 150	≤ 100	NE	NE
Condutividade	5,4 - 1,1	4,6 - 0,9	3,8 - 0,8	1,5 - 0,3	1,2 - 0,2	1 - 0,2	≤ 0,150	≤ 0,080
STD	4,32 - 0,88	3,68 - 0,63	3,04 - 0,56	1,2 - 0,21	0,96 - 0,14	0,7 - 0,14	≤ 0,105	≤ 0,048

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2009).

Segundo a ANA (2009), para avaliar a qualidade da água de alimentação, tem-se os seguintes parâmetros e seus respectivos valores limites:

- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 31,6 kgf/cm² a dureza da água deverá estar abaixo ou igual a 0,3 mg/L, de 31,6 a 52,7 kgf/cm² a dureza da água deverá estar abaixo ou igual a 0,2 mg/L, de 52,7 a 63,3 kgf/cm² a dureza da água deverá estar abaixo ou igual a 0,1 mg/L, de 63,3 a 70,3 kgf/cm² a dureza da água deverá estar abaixo ou igual a 0,05 mg/L, de 70,3 a 140,6 kgf/cm² a água de alimentação da caldeira deverá conter 0,0 mg/L. O tratamento de água adequado é o Abrandamento, desmineralização, tratamento interno para caldeiras, agentes ativados de superfície. Os valores da dureza da água de alimentação das caldeiras fora da especificação podem causar rompimentos dos tubos e depósitos no interior dos tubulões ou nas superfícies de trocas térmicas.
- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 21,1 kgf/cm² o ferro total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,1 mg/L, de 21,1 a 36,1 kgf/cm² o ferro total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,05 mg/L, de 36,1 a 42,2 kgf/cm² o ferro total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,03 mg/L, de 42,2 a 52,7 kgf/cm² o ferro total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,025 mg/L, de 52,7 a 70,3 kgf/cm² o ferro total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,02 mg/L e de 70,3 a 140,6 kgf/cm² o ferro total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,01 mg/L. O tratamento de água adequado é a aeração, coagulação e filtração, amolecimento a cal, troca catiônica, filtração por contato, agentes superficiais ativos para retenção de ferro ou manganês, desmineralização. Os valores de ferro total acima dos valores citados causam perda da eficiência de troca dos íons pela resina.
- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 21,1 kgf/cm² o cobre total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,05 mg/L, de 21,1 a 36,1 kgf/cm² o cobre total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,025 mg/L, de 36,1 a 52,7 kgf/cm² o cobre total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,02 mg/L, de 52,7 a 63,3 kgf/cm² o cobre total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,015 mg/L, de 63,3 a 140,6 kgf/cm² o cobre total da água deverá estar abaixo ou igual a 0,01 mg/L. O tratamento de água adequado é a aeração, coagulação e filtração, amolecimento a cal, troca catiônica, filtração por contato, agentes superficiais ativos para retenção de ferro ou manganês, desmineralização. Os valores de ferro total acima dos valores citados causam perda da eficiência de troca dos íons pela resina.

- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 63,3 kgf/cm² o pH da água deverá estar entre 8,3 e 10,0, de 70,3 a 140,6 kgf/cm² o pH da água deverá estar entre 8,8 e 9,6. O tratamento de água adequado pode ser aumentado por bases e decrescido por ácidos. Os valores de pH variam de acordo com sólidos ácidos e alcalinos na água, a maioria das águas naturais possui um pH de 6.0-8.0.
- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 31,6 kgf/cm² o carbono orgânico total (COT), da água deverá estar em um valor menor que 1 mg/L, de 31,6 a 63,3 kgf/cm² o COT da água deverá estar em um valor menor que 0,5 mg/L, 63,3 a 140,6 kgf/cm² o COT deverá estar em um valor menor que 0,2 mg/L. O tratamento de água adequado pode ser aeração, desaeração, neutralização com bases. Os valores de COT acima dos limites citados causam Corrosão em linhas de água, particularmente vapor e linhas condensados.
- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 31,6 kgf/cm² óleos e graxas (OG), da água deverá estar em um valor menor que 1 mg/L, de 31,6 a 63,3 kgf/cm² o OG da água deverá estar em um valor menor que 0,5 mg/L, 63,3 a 140,6 kgf/cm² o OG deverá estar em um valor menor que 0,2 mg/L. O tratamento de água adequado pode ser aeração, desaeração, neutralização com bases. Os valores de OG acima dos limites citados causam corrosão em linhas de água, particularmente vapor e linhas condensadas.

De acordo com a ANA (2009), para analisar a qualidade da Água da Caldeira, temos os seguintes parâmetros e seus respectivos valores limites:

- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 21,1 kgf/cm² a sílica da água deverá estar abaixo ou igual a 150 mg/L, de 21,1 a 36,1 kgf/cm² a sílica da água deverá estar abaixo ou igual a 90,0 mg/L, de 36,1 a 42,2 kgf/cm² a sílica da água deverá estar abaixo ou igual a 40,0 mg/L, de 42,2 a 52,7 kgf/cm² a sílica da água deverá estar abaixo ou igual a 30,0 mg/L, de 52,7 a 63,3 kgf/cm² a sílica da água deverá estar abaixo ou igual a 20,0 mg/L e de 63,3 a 70,3 kgf/cm² a sílica da água deverá estar abaixo ou igual a 8,0 mg/L, de 70,3 a 105,5 kgf/cm² a sílica da água deverá estar abaixo ou igual a 2,0 mg/L, de 105,5 a 140,6 kgf/cm² a sílica da água deverá estar abaixo ou igual a 1,0 mg/L. O tratamento de água adequado é o processo de remoção por sais de magnésio a quente e morno, absorção por troca iônica com resinas de bases fortes, em conjunto com desmineralização, osmose reversa,

evaporação. Os valores de sílica acima dos limites citados causam depósitos no interior dos balões ou nas superfícies de troca térmica e sistemas de resfriamento de água, causam expansão e rompimento dos tubos de evaporação.

- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 21,1 kgf/cm² a alcalinidade total da água deverá estar abaixo ou igual a 350 mg/L, de 21,1 a 36,1 kgf/cm² a alcalinidade total da água deverá estar abaixo ou igual a 300,0 mg/L, de 36,1 a 42,2 kgf/cm² a alcalinidade total da água deverá estar abaixo ou igual a 250,0 mg/L, de 42,2 a 52,7 kgf/cm² a alcalinidade total da água deverá estar abaixo ou igual a 200,0 mg/L, de 52,7 a 63,3 kgf/cm² a alcalinidade total da água deverá estar abaixo ou igual a 150,0 mg/L e de 63,3 a 70,3 kgf/cm² a alcalinidade total da água deverá estar abaixo ou igual a 100,0 mg/L. O tratamento de água adequado é abrandamento com cal e soda cáustica, tratamento com ácido, abrandamento com hidrogênio zeólito, desmineralização por troca iônica. Os valores de sílica acima dos limites citados causam presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Espuma e arraste com vapor, fragilização do aço da caldeira, o bicarbonato e carbonato produz CO₂ no vapor, uma fonte de corrosão em linhas de condensado.
- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 21,1 kgf/cm² a condutividade da água deverá estar entre 5,4 e 1,1, de 21,1 a 36,1 kgf/cm² a condutividade da água deverá estar entre 4,6 e 0,9, de 36,1 a 42,2 kgf/cm² a condutividade da água deverá estar entre 3,8 e 0,8, de 42,2 a 52,7 kgf/cm² a condutividade da água deverá estar entre 1,5 e 0,3, de 52,7 a 63,3 kgf/cm² a condutividade da água deverá estar entre 1,2 e 0,2, de 63,3 a 70,3 kgf/cm² a condutividade da água deverá estar entre 1,0 e 0,2, de 70,3 a 105,5 kgf/cm² a condutividade da água deverá estar abaixo ou igual a 0,150, de 105,5 a 140,6 kgf/cm² a condutividade da água deverá estar abaixo ou igual a 0,080. O tratamento de água adequado é o abrandamento com cal e troca catiônica, desmineralização, osmose reversa, eletro diálise, evaporação. Os valores de condutividade acima dos limites citados causam problemas de arraste, contaminação das resinas, entupimento nas tubulações e precipitação na caldeira.
- Caldeiras com faixa de pressão de trabalho até 21,1 kgf/cm² os Sólidos Totais Dissolvidos (STD), da água deverão estar entre 4,32 e 0,88 de 21,1 a 31,6 kgf/cm² os STD, da água deverão estar entre 3,68 e 0,63, de 31,6 a 42,2 kgf/cm² os STD, da água deverão estar entre 3,04 e 0,56, de 42,2 a 52,7 kgf/cm² os STD, da água deverão estar entre 1,2 e 0,21, de 52,7 a 63,3 kgf/cm² os STD, da água deverão estar entre 0,96 e 0,14, de 63,3 a 70,3 kgf/cm² os STD, da água deverão estar entre

0,7 e 0,14, de 70,3 a 105,5 kgf/cm² os STD, da água deverão estar abaixo ou igual a 0,105, de 105,5 a 140,6 kgf/cm² os STD, da água deverão estar abaixo ou igual a 0,048. O tratamento de água adequado é o abrandamento com cal e troca catiônica, desmineralização, osmose reversa, eletro diálise, evaporação. Os valores de STD acima dos limites citados referem-se ao total de matéria dissolvida causado pela evaporação, grande concentração é condenável por interferir no processo e ser causa de espuma em caldeiras.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi elaborado considerando o levantamento de dados das impurezas que podem compor as águas para abastecimento das caldeiras, os tipos de tratamentos existentes e os possíveis problemas que as impurezas contidas pelas águas de abastecimento das caldeiras causarão em seus internos, se a seleção de tecnologia para o tratamento de água em caldeiras não for correta.

4.1 LEVANTAMENTO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EM CALDEIRAS

O levantamento das tecnologias existentes para o tratamento de águas em caldeiras foi elaborado através de pesquisa em artigos científicos, consulta em livros que tratam o assunto, visitas em indústrias que possuem caldeiras de médio e grande porte, basicamente na região norte do estado de São Paulo, pesquisa em dissertações relacionadas direta ou indiretamente com o tema abordado, revistas técnicas que explicam como se projeta um sistema para tratar a água da caldeira utilizando desde tecnologias simples e pouco investimento inicial até as tecnologias mais eficientes e que exige um investimento maior.

4.2 ESTUDO DO USO DE OBJETOS DE APREDIZAGEM COMO APOIO AO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM NAS DIFERENTES ÁREAS DO SABER

O levantamento citado foi essencial para o desenvolvimento do OA que poderá auxiliar o processo de ensino-aprendizagem do contexto de seleção de tecnologia para o tratamento de água em caldeiras, apoiando os estudos de usuários (alunos), principalmente, de cursos de engenharia ou em processos de educação continuada.

Durante a pesquisa sobre os modelos de OA que estão sendo utilizados como apoio ao ensino-aprendizagem foi constatado que não só a área de exatas utiliza essa ferramenta, na área de saúde também são utilizados o OA para auxiliar no desenvolvimento do conhecimento do usuário (aluno), e vários OA são desenvolvidos com apoio da tecnologia da informação e comunicação.

Os dados necessários para as análises foram armazenados no gerenciador de dados Access versão 2010 da empresa *Microsoft Corporation*.

A definição de programação no Access é o processo de adicionar funcionalidade ao banco de dados, usando macros do Access ou códigos *Visual Basic for Applications* (VBA).

O OA auxiliará na seleção das tecnologias existentes para o tratamento de água em caldeiras de acordo com a faixa de pressão de trabalho da caldeira, os tipos de impurezas encontradas na água e a quantidade de impurezas encontradas. O mesmo também fornece uma relação de problemas que eventualmente surgirão com a caldeira se a água não for tratada com a tecnologia mais eficiente para aquele tipo de caldeira, levando em consideração o custo da captação de água bruta e também serão contabilizados os custos de consumo de energia elétrica e dos operadores, não esquecendo a viabilidade da tecnologia selecionada considerando a segurança do processo e os cuidados com o meio ambiente.

4.3 IMPLANTAÇÃO DE UM OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA SIMULAR A SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EM CALDEIRAS

Para o desenvolvimento do OA foi utilizado um *notebook* com um processador de 2,17 GHz, 4 GB de memória *Random Access Memory* (RAM), sistema operacional Microsoft Windows 7 de 32 bits e 150 GB de *Hard Disc* (HD).

Para a elaboração do OA foi necessário detalhar os parâmetros básicos de tratamento para caldeiras de baixa, média e alta pressão. Na Figura 5 é apresentado o Diagrama *Use Case* para ilustrar a definição dos processos do OA elaborado com a ferramenta *Astha Community 7.1.0/f2c212 - Model Version 37*. A linguagem *Unified Modeling Language* (UML) foi usada para detalhar os processos do OA.

De acordo com Booch, Rumbaugh e Jacobson (2006), a UML é uma linguagem para gerar uma documentação, sendo apropriado que uma empresa de engenharia de *software* inclua requisitos, arquitetura, projeto, código fonte, planos de projeto, testes, protótipos e versões. A UML disponibiliza uma linguagem para a modelagem das atividades de planejamento e gerenciamento de versões do projeto.

A UML não é uma linguagem de programação, porém, uma linguagem para modelagem para facilitar o trabalho dos engenheiros de *software* a definirem as características do sistema, as quais podem ser definidas por meio da UML antes do *software* começar a ser desenvolvido. Igualmente, destaca-se que a UML é independente e não é um processo de desenvolvimento de *software*, sendo utilizada como uma ferramenta em processo orientada a casos de usos, centrado na sua arquitetura, interativo e incremental (GUEDES, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 LEVANTAMENTO DAS TECNOLOGIAS EXISTENTES PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EM CALDEIRAS

Durante o processo de levantamento das tecnologias existentes para o tratamento de água em caldeiras foram obtidos três tipos de tratamento da água que irá alimentar o tubulão das caldeiras.

O primeiro tipo de tratamento obtido como resultado desse levantamento é um dos tratamentos externos utilizados para eliminar somente a dureza da água de alimentação da caldeira é o abrandamento, vários tipos de tratamentos utilizando outras tecnologias são aplicados quando se deseja proporcionar água totalmente desmineralizada (ROVANI, 2012).

O processo de abrandamento se dá quando a água dura, maior que 0,3 mg/L passa por uma coluna de resina aniônica, composta por cloreto de sódio (NaCl), a uma concentração de 8 a 15% que por meio de reação química substitui o cálcio (carbonato de cálcio CaCO_3 ou o sulfato de cálcio CaSO_4), e o fosfato de magnésio em um processo contínuo até esgotar os mesmos, sendo necessária a regeneração que consiste em parar o processo contínuo e substituir a água tratada por uma solução de cloreto de sódio para a recomposição do cátion utilizado no tratamento químico da água de alimentação da caldeira e a remoção do cálcio e do magnésio presentes no aparelho de regeneração (MEDEIROS, 2005).

Segundo Gentil (2007), o processo de desmineralização é o segundo tipo de tratamento da água que alimenta a caldeira que consiste em abastecer com água desmineralizada a caldeira que possua um aparelho de troca de ânions e cátions conforme as características de qualidade da água bruta, mais outros equipamentos que completam o processo de tratamento de água, tais como os preparadores das soluções regenerativas, bombas dosadoras e aparelhos registradores.

O processo de tratamento de água por osmose reversa consiste, então, em fazer passar de forma forçada água limpa por uma membrana semipermeável, a qual só permitirá passar água e não as demais substâncias e elementos que estejam presentes no meio, tornando a água mais pura. As principais vantagens desse processo, além da economia de gás natural, outro ganho ambiental que pode ser observado é a redução nas emissões de dióxido de carbono para o meio ambiente. Houve melhoras na qualidade da água, principalmente, no que se refere aos teores de sílica e a dureza. Comparada ao processo de troca iônica, a osmose tem a vantagem

de dispensar a etapa de regeneração, onde são utilizados produtos químicos para ativação das resinas, geralmente a cada 24 horas (GENTIL, 2007).

5.2 ESTUDO DO USO DE OBJETOS DE APRENDIZAGEM COMO APOIO AO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM NAS DIFERENTES ÁREAS DO SABER

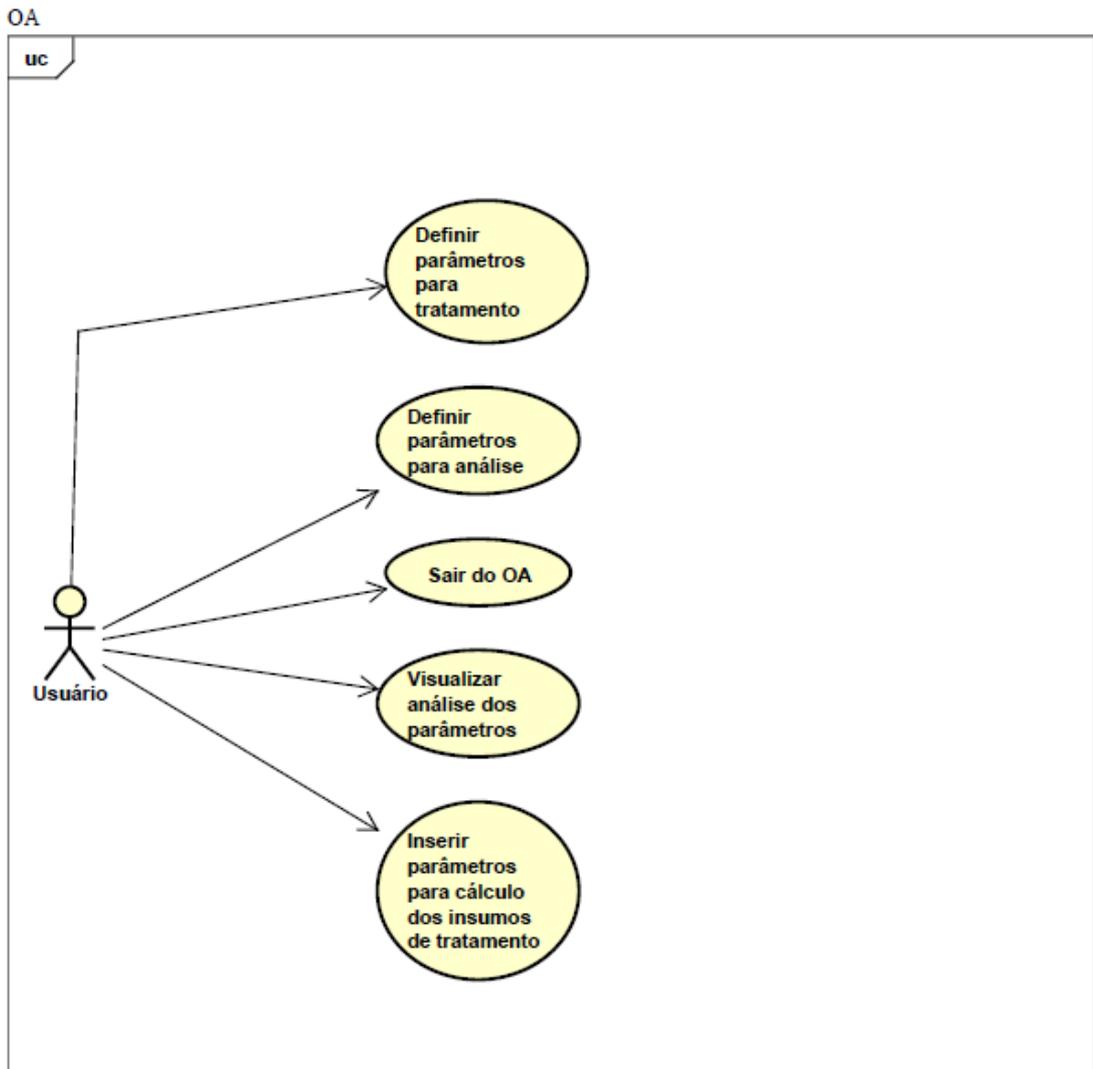
Os OA, segundo a Rede Internacional Virtual de Educação (RIVED, 2007), seriam quaisquer recursos capazes de facilitar a aprendizagem, desde que permitam, por meio de seu uso, o advento de processos críticos-reflexivos e de raciocínio abstrato por parte do usuário (aluno), que o manipula. São capazes de agregar diferentes e inovadoras abordagens pedagógicas ao uso do computador como ferramenta de apoio ao ensino-aprendizagem.

Recursos disponíveis na *Web* podem ser usados e/ou reutilizados como materiais de apoio ao educador no processo de ensino-aprendizagem e formação continuada. Alguns desses elementos são chamados de estáticos, como por exemplo, vídeos, imagens, textos e outros, possibilitam interação entre objetos, sejam elas digitais ou não, como simulações, jogos e até mesmo aplicações inteiras. Sendo este último, chamado de Objetos de Aprendizagem Funcionais (OAF). Uma experiência prática com os OAF visa analisar as possibilidades de utilização, o potencial de reuso, o desenvolvimento, e as combinações de artefatos de *softwares* em contextos educacionais, bem como a adequação de suas descrições em diferentes metadados (GOMES; GADELHA; CASTRO JÚNIOR, 2009).

5.3 DESENVOLVIMENTO DE UM OBJETO DE APRENDIZAGEM PARA SIMULAR A SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS EM CALDEIRAS

Na Figura 5 são apresentados os processos sistêmicos do OA que foi desenvolvido para simular a seleção de tecnologias para tratamento de água em caldeiras.

Figura 5 – Definição de parâmetros da qualidade da água para caldeiras



Fonte: Autoria Própria (2017).

Com o desenvolvimento do diagrama de *Use Case* foi descrito cada processo, contendo todos os itens importantes para o seu entendimento, dessa forma, foi possível identificar todos os principais parâmetros para o uso do OA. Foram identificados cinco processos que orientam corretamente a utilização do OA.

O processo apresentado no Quadro 5 o usuário (aluno), já possui um laudo contendo a análise da água da caldeira que pode estar em funcionamento ou pode ser a água de caldeira que será posta em funcionamento. A função do usuário (aluno), é selecionar a opção que melhor atenda ao seu objetivo.

Quadro 5 - Processo definir parâmetros para tratamento

PROCESSO	Definir parâmetros para tratamento
ATOR	Usuário
DESCRIÇÃO	Na tela menu o usuário (aluno), inicia o processo selecionando uma das opções que pode ser: definição de parâmetros ou definição de tratamento. Para que o usuário (aluno), possa selecionar a opção correta, ele já deve ter um embasamento teórico sobre a função de cada opção da tela principal. Uma vez selecionada definição de parâmetros, o usuário (aluno), deverá inserir as informações sobre o tipo de caldeira a ser utilizada e os valores dos parâmetros analisados em laboratório que serão inseridos no OA. Se a opção foi definição de tratamento, o usuário (aluno), deverá além de saber qual o tipo da caldeira a ser utilizada, o tipo de tratamento de água para caldeira escolhida.

Fonte: Aatoria Própria (2017).

O processo apresentado no Quadro 6 ilustra o momento após a definição dos parâmetros, portanto, o usuário (aluno), já sabe que após selecionar o tipo de caldeira os dados do laudo contendo os valores dos parâmetros da água da caldeira deverão ser digitados no OA e depois de informar os parâmetros o botão com a opção visualizar deverá ser pressionado para que seja mostrado pelo OA quais os parâmetros não foram especificados corretamente. Os resultados obtidos poderão ser armazenados em arquivos para futuras consultas.

Quadro 6 - Processo definir parâmetros para análise

PROCESSO	Definir parâmetros para análise
ATOR	Usuário
DESCRIÇÃO	Nesta tela, o usuário (aluno), selecionará o tipo de caldeira que utilizará, na sequência aparecerá uma tela com os parâmetros da água considerada ideal segundo norma regulamentadora e, assim, poderá inserir os dados da água que passou por análise em laboratório no programa. No final o usuário (aluno), pressionará o botão visualizar para que programa compare os parâmetros e mostre o resultado. O processo tem como parâmetro principal o tipo da caldeira em função da sua pressão de trabalho em kgf/cm^2 , que uma vez selecionado faz com que a tela Parâmetros - ANA de referência seja fechada e o usuário (aluno), possa inserir os parâmetros da água obtidos por meio de análise em laboratório.

Fonte: Aatoria Própria (2017).

No processo apresentado no Quadro 7 o usuário (aluno), tem a opção de finalizar o OA, uma janela aparecerá e perguntará se realmente o usuário (aluno), deseja finalizar ou não o OA.

Quadro 7 - Processo sair do OA

PROCESSO	Sair do OA
ATOR	Usuário
DESCRIÇÃO	Esta opção permite ao usuário (aluno), confirmar ou não a finalização do sistema. Ao finalizar o sistema o programa não salva os últimos dados automaticamente, para salvar os dados há um botão Salvar Dados na tela de Definição de Parâmetros que deve ser pressionado.

Fonte: Autoria Própria (2017).

No processo descrito no Quadro 8 o usuário (aluno), após ter inserido os parâmetros da água da caldeira que deseja analisar e ter pressionado o botão visualizar o resultado contendo os parâmetros que estão fora de especificação conforme a norma ANA serão mostrados na tela do OA com a cor de fundo vermelha, juntamente com o número de ocorrências que houveram, os problemas que ocorrerão com a utilização daquela água, as consequências, as causas e as opções de tratamento para os parâmetros da água da caldeira que estão não conforme de acordo com norma.

Quadro 8 - Processo visualizar análise dos parâmetros

PROCESSO	Visualizar análise dos parâmetros
ATOR	Usuário
DESCRIÇÃO	Após a escolha do tipo da caldeira pela sua capacidade de produção de vapor, os dados da água da caldeira obtidos por meio de análise de laboratório são inseridos pelo usuário (aluno), no OA. Ao final o usuário (aluno), deverá pressionar o botão visualizar e será apresentada uma comparação dos valores de referência com os valores da água da caldeira (ocorrências e tratamento). No campo ocorrências ainda são mostrados o número de ocorrências e para cada ocorrência as consequências e suas possíveis causas. No campo tratamento são mostradas as impurezas detectadas que estão fora da especificação da norma ANA, para o tipo de caldeira selecionada, o problema que poderá causar na caldeira se for mantida aquela água com aquelas impurezas e ainda os tipos de tratamento da água da caldeira que poderão ser utilizados dos mais simples até os mais avançados para retirar as impurezas detectadas. Os resultados dos parâmetros contidos na água que está sendo utilizada na caldeira podem ser salvos em arquivos com extensão <i>Portable Document Format</i> (PDF) para futuras consultas pressionando a tecla Salvar Dados ou podem ser descartados pressionando a tecla refazer. Pressionando o botão Simulações Realizadas é possível visualizar as simulações que foram salvas pelo usuário (aluno).

Fonte: Autoria Própria (2017).

No processo contextualizado no Quadro 9 detalha-se quando o usuário (aluno), deseja calcular quanto gastará com insumos se a caldeira for do tipo aquatubular ou fogotubular com

o tratamento de água por osmose reversa ou por demineralização cátion/ânion. Basta selecionar na tela principal do OA a opção definição de tratamento e então digitar os valores de cada um dos insumos que são utilizados para cada tipo de caldeira e tratamento e ao final pressionar o botão calcular. Se o usuário (aluno), quiser poderá salvar o resultado obtido ou imprimir.

Quadro 9 - Processo inserir parâmetros para cálculo dos insumos de tratamento

PROCESSO	Inserir parâmetros para cálculo dos insumos de tratamento
ATOR	Usuário
DESCRIÇÃO	Se opção de tratamento da água que está no interior da caldeira for por desmineralização cátion/ânion ou por osmose reversa o usuário (aluno), poderá utilizar como opção o botão de definição de tratamento que ajudará o usuário (aluno), a determinar quanto de insumo está sendo utilizado em meses ou anos, incluindo gastos com operação, energia elétrica e água para manter o sistema funcionando. Não é obrigatório o uso das duas opções do OA, ou seja, as duas funções são autônomas. A opção Definição de Tratamento torna possível calcular o custo de todos os produtos químicos, mão de obra e energia que são utilizados no tratamento de água externo e interno de uma caldeira de pequeno, médio ou de grande porte. Da mesma forma que a opção Definição de Parâmetros, nesta tela é possível calcular os insumos necessários para o tratamento externo e interno da água de alimentação da caldeira, é possível também salvar os dados calculados, imprimir os dados ou salvar os dados calculados em formato PDF, assim como, limpar os dados calculados e realizar novos cálculos.

Fonte: Autoria Própria (2017).

O OA desenvolvido para seleção de tecnologias para o tratamento de água em caldeiras determina o tipo de tratamento adequado da água de alimentação da caldeira por meio da faixa de pressão de trabalho da caldeira, parâmetros físicos e químicos que foram analisados (impurezas), que estão contidas na água bruta.

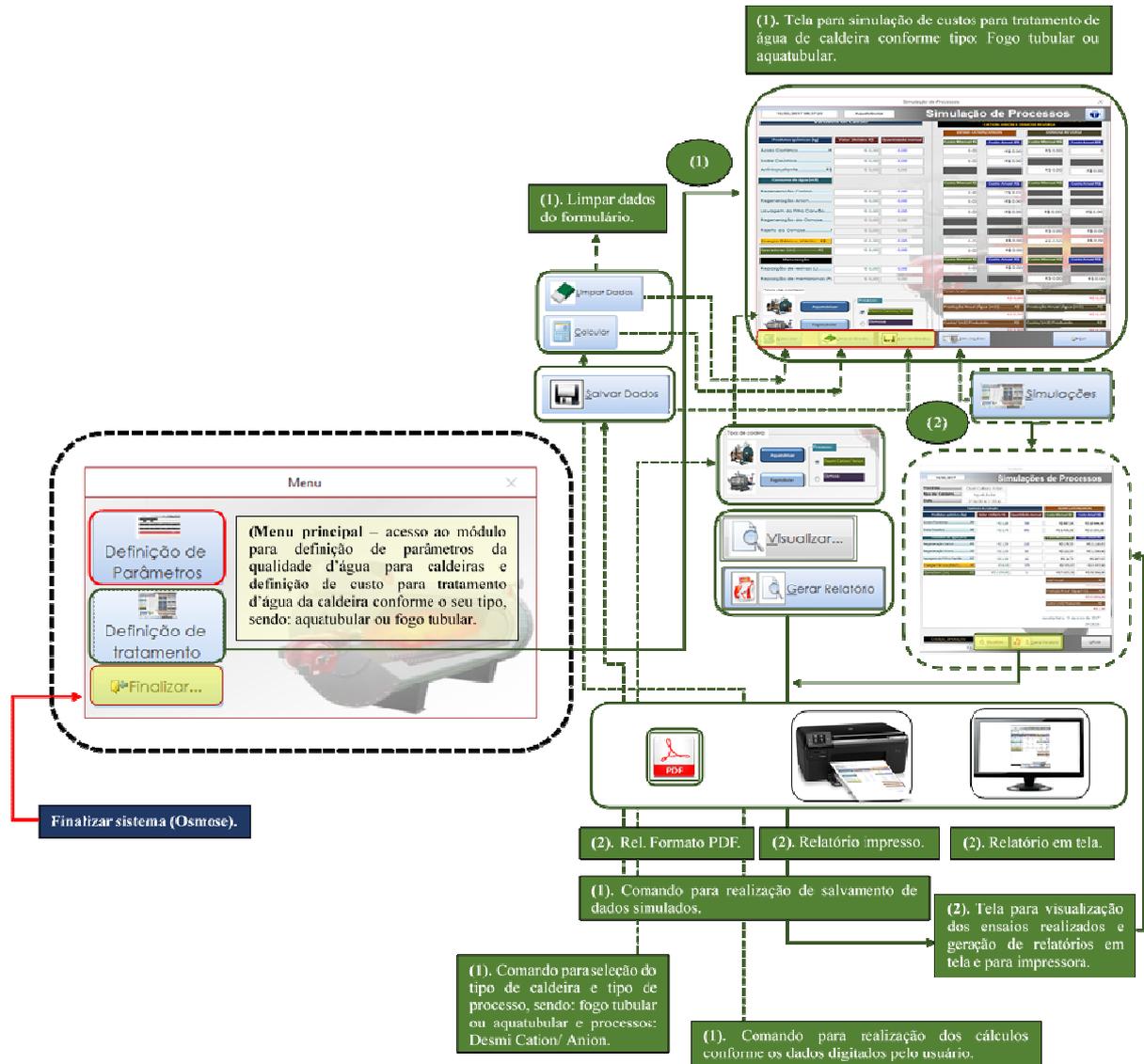
Na Figura 6 é apresentado um diagrama para ilustrar a definição de tratamento e na Figura 7 mostra-se a opção de definição de parâmetros.

Os diagramas das Figuras 6 e 7 foram elaborados com o uso de um método de comunicação por desenho chamado de Lição de Um Ponto (LUP).

De acordo com Campos (2006), o uso do LUP, previsto na *Total Productive Maintenance* (TPM), pretende facilitar o entendimento sobre determinado assunto, servindo também como uma excelente forma de treinamento para usuários (alunos). O uso desse método tem como objetivo facilitar a comunicação, definir padrões na execução de tarefas,

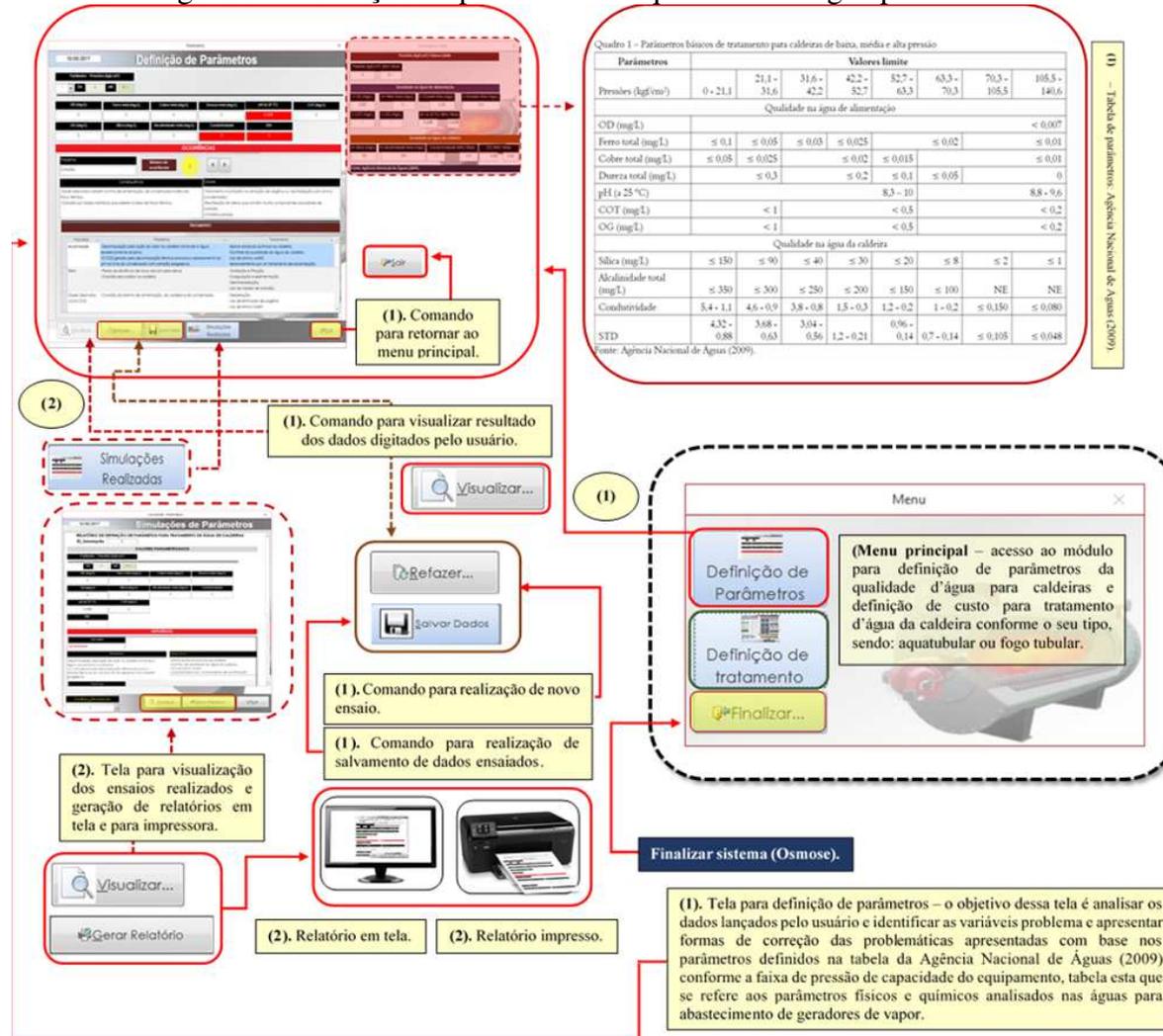
estimular a criatividade e a integração entre equipes de forma multidisciplinar, apresentar informações ainda que muito complexas de forma gradual.

Figura 6 – Definição de custo para o tratamento da água da caldeira



Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 7 – Definição de parâmetros da qualidade da água para caldeiras



Fonte: Autoria Própria (2017).

Na Figura 8 apresenta-se a tela onde o usuário (aluno), pode selecionar qual a opção deseja utilizar, sendo as opções: definição dos parâmetros, definição de tratamento ou sair.

Figura 8 – Tela Principal do OA



Fonte: Autoria Própria (2017).

Na Figura 9 é mostrada que ao selecionar a opção definição de parâmetros, o usuário (aluno), terá acesso a tela em que deverá escolher qual será a faixa de pressão de trabalho da caldeira, conforme orientação numérica crescente na opção parâmetros - pressões (kgf/cm²), os valores numéricos vão de 1 a 8, sendo que o valor 1 corresponde a faixa de pressão de 0 a 21,1 kgf/cm², o valor 2 corresponde a faixa de pressão de 21,1 a 31,6 kgf/cm², o valor 3 a faixa de pressão será de 31,6 a 42,2 kgf/cm², a opção 4 de 42,2 a 52,7 kgf/cm², a opção 5 de 52,7 a 63,3 kgf/cm², a opção 6 de 63,3 a 70,3 kgf/cm², a opção 7 de 70,3 a 105,5 kgf/cm² e a opção 8 de 105,5 a 140,6 kgf/cm², os parâmetros padrões de qualidade na água de alimentação e os parâmetros padrões de qualidade na água da caldeira serão mostrados em uma tela adicional.

Na sequência uma nova tela aparecerá contendo a faixa de pressão de trabalho da caldeira selecionada pelo usuário (aluno), e também os padrões de qualidade da água de alimentação e os padrões da qualidade na água da caldeira (Figura 10).

Na tela de parâmetros, em qualidade da água de alimentação da caldeira são mostrados os parâmetros de Oxigênio Dissolvido OD (mg/L), ferro total (mg/L), cobre total (mg/L), dureza total (mg/L), carbono orgânico total COT (mg/L), óleos e graxas OG (mg/L) e pH (a 25°C).

Em qualidade na água da caldeira são mostrados os valores de sílica (mg/L), alcalinidade total (mg/L), condutividade (mg/L) e sólidos totais dissolvidos STD (mg/L).

Figura 9 - Tela de definição da faixa de pressão de trabalho da caldeira do OA

Fonte: Autoria Própria (2017).

Figura 10 - Tela da qualidade da água de alimentação na caldeira do OA

Fonte: Autoria Própria (2017).

Na Figura 11 é mostrada a seleção da faixa de pressão de trabalho da caldeira, os parâmetros padrões de tratamento da qualidade da água de alimentação da caldeira e os parâmetros padrões da qualidade na água da caldeira, os valores dos parâmetros que se deseja inserir no OA devem ser digitados pelo usuário (aluno), em seus respectivos campos, logo após pressionar o botão visualizar, para que sejam mostrados os resultados obtidos de acordo com a análise dos parâmetros inseridos no OA em relação aos parâmetros que são os valores padrões.

A quantidade de ocorrências é mostrada na tela em forma numérica no campo número de ocorrências. Trata-se de quantos problemas poderão surgir se a caldeira utilizar a água de alimentação contendo aqueles parâmetros que estão fora de especificação em relação aos

valores da ANA. Os problemas que podem surgir com a água de alimentação da caldeira são a incrustação a corrosão e o arraste.

Figura 11 - Visualização dos parâmetros inseridos no OA

The screenshot shows a software interface for water quality simulation. The main window displays a table of parameters with values set to 0. A pop-up window titled 'Parâmetros - ANA' displays limit values for various parameters.

Parâmetro - Pressões (kgf/cm ²)					
1	De	0	até	21,1	

OD (mg/L)	Ferro total (mg/L)	Cobre total (mg/L)	Dureza total (mg/L)	pH (a 25 °C)	COT (mg/L)
0	0	0	0	0,00%	0

OG (mg/L)	Silica (mg/L)	Alcalinidade total (mg/L)	Condutividade	STD
0	0	0	0	0

OCORRÊNCIAS

Parâmetros - ANA

Pressões (kgf/cm²) Valores limite

Pressões (kgf/cm²) (Min/ Max)

21,1

Qualidade na água de alimentação

<= OD (mg/L)	<= Ferro total (mg/L)	<= Cobre total (mg/L)	<= Dureza total (mg/L)
0,007	0,1	0,05	0,3

< COT (mg/L)	< OG (mg/L)	pH (a 25 °C) (Min/ Max)
1	1	8,30% 10,00%

Qualidade na água da caldeira

<= Silica (mg/L)	<= Alcalinidade total (mg/L)	Condutividade (Min/ Max)	STD (Min/ Max)
150	350	1,1 5,4	0,88 4,32

Fonte: Agência Nacional de Águas (2009).

Visualizar... Refazer... Salvar Dados Sair

Modo formulário

Fonte: Autoria Própria (2017).

Na incrustação os parâmetros que podem estar fora da faixa adequada são:

- Os óleos e graxas causam espuma na água da caldeira e incrustação na área de troca térmica. O tratamento adequado será filtração com carvão ativado e Tratamento de separação por flotação.
- A sílica e a dureza causam depósitos no interior dos tubulões ou nas superfícies de troca térmica e pode gerar expansão e rompimento dos tubos de evaporação. O tratamento recomendado é desmineralização ou água abrandada.

Na corrosão os parâmetros que podem estar fora da faixa adequada são:

- Os gases dissolvidos, que causam a corrosão na linha de alimentação de água e na linha do condensado. Os tratamentos recomendados são desaeração e o uso de amina volátil.
- O ferro causa perda da eficiência por troca de íons pela resina e corrosão secundária na caldeira. Os tratamentos recomendados são desmineralização, coagulação e sedimentação e oxidação e filtração.

- A alcalinidade causa decomposição pela ação do calor na caldeira tornando a água excessivamente alcalina e o CO₂ gerado pela decomposição térmica provoca a redução do pH na linha do condensado com corrosão progressiva. Os tratamentos recomendados podem ser o uso de amina volátil, abrandamento por um tratamento de alcalinização.

No arraste os parâmetros que podem estar fora da faixa adequada são os sólidos totais que causam contaminação das resinas, entupimento nas tubulações e precipitação na caldeira, deterioração da pureza do vapor e diminuição da eficiência da caldeira. Os tratamentos recomendados podem ser desmineralização, filtração ou coagulação.

Os dados mostrados na tela do OA podem ser salvos em formato eletrônico com extensão PDF pressionando o botão salvar dados ou impresso na forma de relatório (Figura 12).

A cor de fundo dos parâmetros que estão fora de especificação na tela de resultados poderá ser visualizada em cor diferente para facilitar a identificação por parte dos usuários (alunos).

Para dar continuidade ao desenvolvimento do OA pode-se associar a um *software* de sistema supervisão que com terá um botão para acesso da tela de seleção de tecnologias de tratamento de água em caldeiras, sendo o objetivo a monitoração do controle de nível da água no tubulão, a vazão de vapor, ou seja, quanto a caldeira está produzindo e o controle de vazão de água de alimentação do tubulão, para garantir que o nível de água se mantenha em 50%.

Na Figura 13 é mostrada que uma vez selecionada a opção definição de tratamento aparece uma tela em que o usuário (aluno), deve selecionar o tipo de caldeira, aquatubular ou fogotubular e o tipo de processo desmineralização cátion/ânion ou osmose reversa. Na sequência o usuário (aluno), deverá preencher as variáveis de cálculo de acordo com o tipo de caldeira e a tecnologia de tratamento de água escolhida.

Após, preenchido os valores unitários das variáveis de cálculo produtos químicos (kg), consumo de água (m³), energia elétrica (kw/h), operadores (un) e manutenção, deve-se pressionar o botão calcular e os resultados dos cálculos mensais e anuais serão mostrados em custo operacional, relativo às tecnologias de tratamento de água em caldeira por desmineralização cátion ânion e por osmose reversa.

Para o parâmetro produtos químicos (kg), será mostrado os valores de custo mensal e anual de ácido clorídrico, soda cáustica e anti-incrustante.

No parâmetro consumo de água (m³), serão mostrados os valores de custo mensal e anual de regeneração cátion, regeneração ânion, lavagem do filtro carvão, regeneração da osmose e rejeito da osmose.

Figura 12 - Resultado dos parâmetros inseridos no OA

The screenshot displays the 'Simulação de Processos (CATION-ANION X OSMOSE REVERSA)' software. At the top, there's a menu bar with 'Arquivo', 'Página Inicial', 'Criar', 'Dados Externos', and 'Ferramentas de Banco de Dados'. Below the menu, a 'Parâmetro - Pressões (kg/cm²)' section shows 'De 0 até 21.1'. A table of water quality parameters is visible, with values for OD, Ferro total, Cobre total, Dureza total, pH, COI, OG, Silica, Alcalinidade total, Condutividade, and STD. The 'OCORRÊNCIAS' section shows a 'Número de ocorrências' of 2, with a list of 'Consequência' and 'Causas'. The 'TRATAMENTO' section lists 'Impureza' (Alcalinidade, Ferro, Gases Dissolvidos) with corresponding 'Problema' and 'Tratamento' options. At the bottom, there are buttons for 'Visualizar...', 'Refazer...', 'Salvar Dados', and 'Sair'.

Fonte: Autoria Própria (2017).

Para o parâmetro manutenção será mostrada a reposição de resinas (L) e reposição de membranas (pç).

O usuário (aluno), terá a opção de salvar os resultados dos cálculos em arquivo eletrônico no formato PDF, imprimir o arquivo salvo, limpar a tela e realizar novos cálculos ou finalizar o programa, voltando para a tela principal.

Discute-se que o mundo está em constante avanço tecnológico, as informações são transmitidas para qualquer parte do mundo em tempo real. Em todos os setores da vida das pessoas a tecnologia está presente, a telefonia é capaz de trazer as informações instantaneamente por meio dos *smartphones* e na educação não pode ser diferente, os usuários (alunos), dessas tecnologias estão acostumados a ter todas as informações que necessitam de forma rápida, porém, superficiais. Por isso, o OA foi desenvolvido para ser aplicado na área de exatas do ensino técnico e/ou de graduação para apoio ao processo de ensino-aprendizagem de seleção de tecnologias para tratamento de água em caldeiras, e tem como objetivo facilitar a compreensão dos usuários (alunos), através de simulação desse processo de

forma simulada, possibilitando ao educando refazer quantas vezes desejar, permitindo, assim, uma aprendizagem interativa.

Figura 13 - Simulação de Processos no OA



Fonte: Autoria Própria (2017).

Segundo Mandello (2008), a utilização do OA na educação, como por exemplo, na área de exatas dos cursos técnicos e de graduação poderá melhorar o interesse dos usuários (alunos), em estudar essas matérias que geralmente são consideradas como sendo de difícil compreensão e tornar as práticas pedagógicas mais dinâmicas. Proporciona um aprendizado a mais dos educandos e professores em relação a como lidar com o mundo digital e utilizar todos os recursos que estão sendo oferecidos como ferramenta de ensino-aprendizagem com o objetivo de ampliar os conhecimentos cognitivos dos educandos, sendo o professor um mediador dessa prática pedagógica.

Ainda segundo Mandello (2008), as tecnologias disponíveis junto aos objetivos educacionais possibilitam ao professor desenvolver estratégias de ensino, aplicar atividades contextualizadas e significativas, complementando sua prática pedagógica. O OA desenvolvido também versa sobre esse contexto.

Mandello (2008), destaca desde a última década, que no processo de ensino-aprendizagem, principalmente, na área de exatas, o computador, a internet das coisas, a indústria 4.0, as realidades aumentadas, entre outros recursos digitais, podem ser considerados os novos instrumentos de trabalho que alteram as estruturas sociais e através dos quais introduz novas formas de pensar modificando os paradigmas e transformando a relação entre o ser humano e o meio ao qual está inserido. Portanto, é fundamental que os educadores do século XXI desenvolvam e utilizem OA, principalmente, com as novas propostas de ensino que estão sendo idealizadas a partir das novas legislações educacionais brasileiras.

E por falar em paradigma, de acordo com Sales et al. (2008), um *software* baseado em um paradigma instrucionista tornará importante, os mecanismos de transmissão de informações e de exercitação de habilidades como memória. Já em um *software* educativo baseado em um paradigma construtivista de aprendizagem tem como prioridade principalmente a inter-relação social usuário (aluno) / professor e usuário (aluno) / usuário (aluno) e a mediação propiciada pelo computador. A interoperabilidade entre usuário (aluno) / computador/*software* assume assim, papel de fundamental importância no processo de ensino-aprendizagem. Nesse paradigma, centrado na aprendizagem do usuário (aluno), e na construção do conhecimento, evidencia o usuário (aluno), como um ser ativo que gerencia sua própria aprendizagem: pensando, articulando ideias e construindo representações mentais na solução de situações problemas, constituindo-se no gerador da competência de seu próprio conhecimento, situação essa que pode ser vivenciada com o uso do OA seleção de tecnologias para tratamento de água em caldeiras desenvolvido nesse estudo.

Ainda segundo Sales et al. (2008), a importância do uso de OA para o estudo de conceitos matemáticos e científicos dos cursos técnicos e de graduação na área de exatas reside no fato deles serem de fácil utilização, possuírem objetivos específicos bem definidos, já estarem prontos para serem utilizados, não requerendo instalação ou configuração.

De acordo com Arantes et al. (2010), as simulações por *software* podem servir como demonstrações por parte do docente em aulas expositivas. A maioria das escolas onde são oferecidos cursos técnicos e graduação da área de exatas possui laboratórios informatizados adequados para desenvolver as atividades de simulação utilizando *software*, porém, não possui equipamentos suficientes para as aulas de laboratório experimentais, os docentes ainda sim acreditam ser muito importante no complemento dos temas abordados em sala de aula e também no desenvolvimento do conhecimento e no senso investigativo do usuário (aluno), sem deixar de aplicar as aulas práticas de laboratório em atividades experimentais. O objetivo é que as aulas de simulação por *software* complementem as aulas de laboratório

experimentais, reforçando o conteúdo da disciplina abordada. Uma das características do *software* de simulação é que o docente pode repetir várias vezes a mesma simulação alternando várias combinações que em atividades experimentais às vezes não é possível por conta de gastos com insumos ou gastos com profissionais capacitados em realizar as tarefas.

Ainda conforme Arantes et al. (2010), um dos tipos de OA mais utilizados são as simulações computacionais de experimentos de física e química, que estão disponíveis para utilização em diversos contextos. Ainda que elas não devam substituir experimentos reais, tornar mais eficiente o processo de ensino-aprendizagem dos usuários (alunos), e para tornar o conceito de OA mais acessível, criaram-se metáforas.

6 CONCLUSÕES

A conclusão deste trabalho foi elaborada tendo em vista o levantamento das tecnologias existentes para o tratamento de águas em caldeiras, estudar o uso de objetos de aprendizagem como apoio ao processo de ensino-aprendizagem nas diferentes áreas do saber e implementar um objeto de aprendizagem para simular a seleção de tecnologias para o tratamento de águas em caldeiras.

Ao se levantar as tecnologias existentes para o tratamento de águas em caldeiras foi observado que esse processo está dividido em duas partes: o tratamento externo e o tratamento interno. No tratamento externo a água pode ser tratada utilizando a tecnologia por abrandamento que consiste quando a água dura for maior que 0,3 mg/L, passa por uma coluna de resina aniônica, composta por cloreto de sódio (NaCl). O processo por desmineralização que consiste em abastecer com água desmineralizada a caldeira que possua um aparelho de troca de ânions e cátions conforme as características de qualidade da água bruta e, finalmente, o processo por osmose reversa que consiste em fazer passar de forma forçada água limpa por uma membrana semipermeável, que permitirá passar apenas água e não as demais substâncias e elementos que estejam presentes no meio, tornando a água mais pura. No tratamento interno o método aplicado para o tratamento de água bruta de baixa dureza é por meio da adição de produtos químicos na água já no interior da caldeira. O produto mais utilizado neste tipo de tratamento é trifosfato de sódio.

Durante o estudo do uso de objetos de aprendizagem como apoio ao processo de ensino-aprendizagem nas diferentes áreas do saber concluiu-se que a contribuição do objeto de aprendizagem, seja pela memorização, pela resolução de situações-problemas e seus desafios, podem estimular a autonomia e proatividade, necessitando da ação dialógica do professor, de seu olhar crítico e experiente para promover uma mediação pedagógica à aprendizagem.

O OA desenvolvido é um recurso digital importante para fomentar o ensino-aprendizagem, sua concepção sempre teve como prioridade sua acessibilidade para que os profissionais da área possam aplicar essa tecnologia digital na maioria dos cursos de exatas, técnicos e graduação independente das suas tecnologias de acesso, em várias situações de ensino-aprendizagem. O OA tem como característica tornar possível aos educadores conhecerem o *software* e colocá-lo em prática inclusive dando sugestões para sua melhoria contínua.

Enfatiza-se, portanto, que o desenvolvimento do OA para apoio ao processo de ensino-aprendizagem de seleção de tecnologias para tratamento de água em caldeiras tornará os experimentos mais atrativos para o usuário (aluno), permitindo, ainda, ao docente criar e testar várias situações problema alterando os parâmetros do *software* de simulação, sendo, portanto, uma ferramenta contemporânea para o processo ensino-aprendizagem de usuários (alunos), das gerações Y e Z.

REFERÊNCIAS

- ABENSUR, S. I.; TAMOSAUSKAS, M. R. G. Tecnologia da informação e comunicação na formação docente em saúde: relato de experiência. **Revista Brasileira de Educação Médica**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 102-107, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Parâmetros da água para caldeiras de baixa, média e alta pressão**. 2009. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em 22 jan. 2017.
- AQUINO, A. **Água para caldeiras**: conheça os principais problemas e saiba como tratá-las. 2012. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=3934>>. Acesso em: 24 jan. 2017.
- ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PhET. **Revista Física na Escola**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 27-31, 2010.
- ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA MICROREGIÃO DO VALE DO PARANAÍBA - AMVAP. **Manual de Saneamento Rural**. 2006. Disponível em: <<http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/SaneamentoAmbiental0/SemestreAtual/ManualdeSaneamentoRural.pdf>>. Acesso em 24 jan. 2017.
- BACCAN, N. et al. **Química analítica quantitativa elementar**. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.
- BOOCH, G.; JACOBSON, I.; RUMBAUGH, J. **UML: guia do usuário**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 474 p.
- BRAGA, J. C.; MENEZES, L. **Objetos de aprendizagem volume 1 - introdução e fundamentos**. Santo André: UFABC, 2014.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação à Distância. **Objetos de aprendizagem. Rede internacional virtual de educação - RIVED**. Brasília: MEC, SEED, 2007. 154 p.
- CAMPOS, A. A. M. **CIPA uma Nova Abordagem**. 10ª ed. São Paulo: SENAC, 2006.
- CARDOSO, J. P. et al. Construção de uma práxis educativa em informática na saúde para ensino de graduação. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 283-288, 2008.
- CASTRO, A. V.; CARVALHO, C. V.; CARRAPATOSO, E. **Building a Medical Learning Methodology Based on Open Source Technologies**. 41st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, 12 a 15 de outubro de 2011, p. 1-7.
- COSTA, C. T. A.; CARITÁ, E. C.; LEAL, M. V. Avaliação Qualitativa Discente do Objeto de Aprendizagem Divisão Celular (Mitose). In: **16º Congresso Internacional ABED de Educação a Distância**, Foz do Iguaçu - PR, 2010.

FREIRE, F. M. P.; PRADO, M. E. B. B. **Projeto pedagógico: pano de fundo para escolha de um software educacional**. 2011. Disponível em: <<http://rxmartins.pro.br/teceduc/computador-sociedade-conhecimento.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. Manual de Saneamento. 2007. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/pos-graduacao/funasa-manual-saneamento.pdf>>. Acesso em 23 jan. 2017.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2003.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. **Handbook of industrial water treatment**. 2012. Disponível em: <<http://www.gewater.com/handbook/index.jsp>>. Acesso em: 26 jan. 2017.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GOMES, M. A.; CARITÁ, E. C.; COSTA, C. T. A. Validação da Usabilidade do Objeto de Aprendizagem Teorema de Hardy-Weinberg por Biólogos. In: **XII Congresso Brasileiro de Informática em Saúde**, Porto de Galinhas - PE, 2010.

GOMES, S. R.; GADELHA, B. F.; CASTRO JÚNIOR, A. N. Objetos de Aprendizagem Funcionais: Uma Abordagem Prática. In: **XX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**, Florianópolis - SC, 2009. Disponível em: <http://www.niee.ufrgs.br/eventos/SBIE/2009/conteudo/artigos/completos/62041_1.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2017.

GUEDES, G. T. A. **UML 2: uma abordagem prática**. São Paulo: Novatec, 2011. 484p.

HAGE, D. S. et al. **Química analítica e análise quantitativa**. 1ª ed. São Paulo: Pearson, 2013.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS STANDARDS ASSOCIATION. **Learning objects metadata working group (LOM)**. 2009. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/develop/wg/LOMWG12.html>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

LEITE, N. R.; MILITÃO, R. A. **Tipos e aplicações de caldeiras**. 2008. Disponível em: <https://lcsimej.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2017.

MACHADO, A. S. Uso de Softwares Educacionais, Objetos de Aprendizagem e Simulações. **Em pauta: revista Química Nova Escola**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 104-111, maio/2016.

MANDELLO, S. S. **O professor PDE e os desafios da escola pública paranaense**. 2008. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2008_uenp_mat_artigo_solange_stelmastchuk_mandello.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2017.

MEDEIROS, S. **Química ambiental**. 3ª ed. Recife: Revista e Ampliada, 2005.

MINIDICIONÁRIO SOARES AMORA. **Dicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Saraiva. 2010.

MUELLER, H. et al. **Química analítica clássica**. 2ª ed. Blumenau: Edifurb, 2012.

OLIVEIRA, D. R. **Pré-tratamento do processo de osmose inversa utilizando microfiltração e investigação de técnicas de limpeza e recuperação de membranas**. 119 p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

PERA, H. **Geradores de vapor**. 2ª ed. São Paulo: FAMA, 1990.

RODRIGUES, R. C. V.; PERES, H. H. C. Panorama brasileiro do ensino de enfermagem *online*. **Revista da Escola de Enfermagem/USP**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 298-304, 2008.

ROVANI, M. Z. **Estudo da osmose inversa na produção de água desmineralizada para caldeiras**. 71 p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Curitiba, Paraná, 2012.

SALES, G. L. et. al. Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Fortaleza, v. 30, n. 3, 3501-3513, 2008.

SAVI, R.; WANGENHEIM, C. G. V.; BORGATTO, A. F. Um modelo de avaliação de jogos educacionais na engenharia de software. In: **25th Brazilian Symposium on Software Engineering (SBES)**, São Paulo-SP, 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/221252125>>. Acesso em: 15 de jan. 2017.

SCHEER, S. et al. Objetos educacionais como apoio para uma rede de ensino-aprendizagem em engenharia de estruturas. **World Congress on Engineering and Technology Education**, São Paulo-SP, 14 a 17 de março de 2004. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/268250317>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

SKOOG, D. A. **Fundamentos de química analítica**. 8ª ed. São Paulo: Pioneira, 2005.

YAMAZAKI, S. C. LOM - IEEE **Learning objects metadata workgroup**. 2011. Disponível em: <<http://ltsc.ieee.org/wg12/index.html>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

WILEY, D. A. **Learning object design and sequencing theory**. Unpublished doctoral dissertation, Brigham Young University. 2000. Disponível em: <<http://davidwiley.com>>. Acesso em: 12 jan. 2017.