



ÁGUA DA CHUVA: análise da qualidade para uso em caldeiras industriais

RAINWATER: Quality analysis for use in industrial boilers

Ivair Aparecido Lopes – ivairlope@hotmail.com

Mauro Francisco da Silva Celes – mauroceles173@gmail.com

Estudantes do Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial
Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – São Paulo – Brasil

Prof. Me. Gustavo Coser Monteiro Dias – gustavo.dias10@fatec.sp.gov.br

Profa. Pós-Dra. Maria Aparecida Bovério – mariaboverio@hotmail.com

Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – São Paulo – Brasil

RESUMO

A pesquisa apresentada neste artigo investigou como pode ser aproveitada a água da chuva para utilização na geração de vapor em caldeiras industriais, que são classificadas em: aquatubulares, flamatubulares e elétricas. O tema foi escolhido porque atualmente existem grandes preocupações da sociedade em relação à conservação dos recursos da natureza, especialmente ao uso racional e aproveitamento da água, que é um recurso indispensável à vida e, também, devido ao significativo interesse das indústrias em ampliar as margens de lucro e, portanto, de investir em projetos que sejam ambientalmente corretos e eficientes, mas, ao mesmo tempo, precisam ser confiáveis e consolidados. O objeto geral foi analisar a viabilidade de aproveitar a água da chuva, tratá-la quimicamente e utilizá-la como geração de vapor em caldeiras industriais e o objetivo específico foi analisar a qualidade das águas para verificar a possível utilização. A metodologia adotada foi à bibliográfica e laboratorial. Os resultados indicam que a água em estado bruto não atende aos parâmetros necessários para seu uso em caldeiras, mas após o tratamento químico ela se torna viável. Conclui-se, portanto, que seu uso é econômico e ambientalmente viável, desde que se façam os tratamentos necessários.

Palavras-chave: Água da chuva. Tratamento. Corrosão. Caldeira. Meio ambiente.

ABSTRACT

The research presented in this article investigated how rain water can be used for steam generation in industrial boilers, which are classified as: Aquatubular, Flamotubular and electrical. The theme was chosen because nowadays there are great concerns of society in relation to the conservation of the resources of nature, especially the rational use and utilization of water, which is an indispensable resource to life and, also, due to the significant Industries ' interest in expanding profit margins and therefore investing in projects that are environmentally correct and efficient, but at the same time need to be reliable and consolidated. The general object was to analyze the feasibility of harnessing rainwater, treat it chemically and use it as steam generation in industrial boilers and the specific objective was to analyze the quality of the water to verify the possible use. The methodology adopted was the bibliography and



laboratorial. The results indicate that the raw water does not meet the parameters necessary for its use in boilers, but after the chemical treatment it becomes feasible. Therefore, it is concluded that its use is economical and environmentally feasible, provided that the necessary treatments are made.

Keywords: rainwater. Treatment. Corrosion. Boiler. Environment.

DOI:

1 INTRODUÇÃO

Este artigo investigou como pode ser aproveitada a água da chuva para ser utilizada na geração de vapor em caldeiras industriais. Os geradores de vapor utilizados na indústria são conhecidos como caldeiras e, geralmente, são classificadas em: aquatubulares, flamotubulares e elétricas.

As caldeiras industriais são equipamentos que utilizam a água para a geração de vapor. “A utilização da água da chuva, como fonte de alimentação, pode reduzir bastante a utilização das águas fluviais, deixando-as mais disponíveis para o consumo humano.” (SANTOS; RIBEIRO; BARBOSA, 2016, p. 165).

As unidades geradoras de vapor são construídas em consonância com normas vigentes no País e pensando-se em melhor aproveitar a energia liberada pela queima de um determinado tipo de combustível. A estrutura é diversificada, as mais modernas e de porte maior são equipadas com os seguintes componentes: fornalha, caldeira, superaquecedor, economizador e aquecedor de ar (BAZZO, 1995).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da Norma Brasileira (NBR) nº 12177-1 classifica as caldeiras perante a sua faixa de pressão de trabalho:

- a) caldeiras da categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,98 kgf/cm²);
- b) caldeiras da categoria C são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5,99 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 L (cem litros);
- c) caldeiras da categoria B são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999, p. 6).

Para a Associação Nacional de Águas (ANA) as caldeiras podem ser classificadas conforme a tabela 1:



Tabela 1 – Classificação geral das caldeiras quanto à pressão de trabalho

Caldeira	Pressões - Psig	Kgf/cm²
Baixa pressão	100 – 400	7 – 28
Média pressão	400 – 800	28 – 56
Alta pressão	800 – 3.000	56 – 211
Pressão supercrítica	Acima de 3.000	Acima de 211

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA) (2009, p. 150).

O tema foi escolhido porque atualmente existem grandes preocupações da sociedade em relação à conservação dos recursos da natureza, especialmente ao uso racional e aproveitamento da água, que é um recurso indispensável à vida. A escassez de água é um dos maiores problemas do planeta, pois a população está se aglomerando nos grandes centros urbanos e, por isso, cresce a necessidade da utilização de técnicas sustentáveis para suprir a falta de água ou reaproveitá-la. Dessa maneira, há alternativas que podem ser uma solução para o aproveitamento da água, desde que seja para uso não potável, tal como a captação e o aproveitamento de água da chuva (precipitação atmosférica), que é indicada como fonte renovável de energia para alimentar as caldeiras industriais. No entanto, é preciso estudar a viabilidade técnica e econômica para verificar a qualidade da água para essa finalidade. (SANTOS; RIBEIRO; BARBOSA, 2016).

Outro motivador desta pesquisa foi o fato de que há um significativo interesse das indústrias em ampliar as margens de lucro e, portanto, de investir em projetos que sejam ambientalmente corretos e eficientes, mas, ao mesmo tempo, precisam ser confiáveis e consolidados. Por isso, esta temática motivou os autores desta pesquisa a investigar a possibilidade da aplicabilidade das tecnologias disponíveis no mercado bem como saber sobre o retorno financeiro que as mesmas podem proporcionar. Neste contexto, o tema se torna importante para o desenvolvimento de metodologias que proponham soluções ecoeficientes para redução das respectivas perdas energéticas.

O objeto geral desta pesquisa foi analisar a viabilidade de aproveitar a água da chuva, tratá-la quimicamente e utilizar na geração de vapor em caldeiras industriais. Como objetivo específico foi analisado a qualidade das águas para verificar a possível utilização.

Assim, o problema a ser investigado foi:



- É possível realizar um tratamento químico nas águas da chuva para que elas sejam reaproveitadas na geração de vapor em caldeiras industriais?

A hipótese adotada foi a de que é possível e viável economicamente, além de ser ambientalmente correto e atrativo, desde que se façam tratamentos corretivos na água da chuva para torná-la adequada.

O artigo foi estruturado em 5 seções: a seção 2 trata das causas de deterioração de uma caldeira, bem como sobre a água de alimentação; a seção 3 apresenta a metodologia da pesquisa e os materiais e métodos utilizados; a seção 4 dedica-se a apresentar os resultados e discussão e a seção 5 conclui o artigo.

2 CAUSAS DE DETERIORAÇÃO DE UMA CALDEIRA

A água bruta que é utilizada na alimentação de reservatórios de caldeiras é oriunda de fontes naturais como rios, poços, lagos, córregos e água subterrânea e, por isso, pode conter substâncias dissolvidas ou partículas em suspensão que interferem no funcionamento e vida útil da caldeira. (LISAUSKAS, 2017).

Dentre as principais causas de deterioração de uma caldeira estão relacionadas aquelas que remetem aos problemas mais conhecidos pela utilização da água bruta, pois ocasiona a incrustação, que se caracteriza pelo acúmulo de material fortemente aderido sobre a superfície da caldeira, necessitando de esforços para sua remoção, tais como as limpezas mecânicas ou químicas.

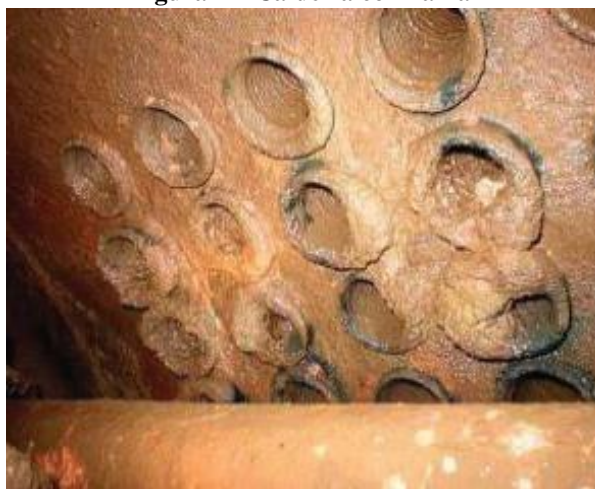
A água encontrada na natureza não é pura e apresenta várias substâncias dissolvidas. “Muitas destas substâncias são sais e óxidos apresentando solubilidades diferentes e influenciadas basicamente pela temperatura, concentração e pH”. A partir da vaporização de água na caldeira, há um aumento na concentração das substâncias dissolvidas que permaneceram na fase líquida e que se forem ultrapassados os limites de solubilidade destas substâncias, podem se precipitar de forma aderente nas superfícies de troca térmica “(são os tubos do feixe de convecção, tubos de parede d’água, tubo da fornalha, tubulões, etc.)” constituindo as incrustações. Há, ainda, outras substâncias que podem se incrustar ou depositar na caldeira, tais como: “produtos de corrosão na seção pré e pós-caldeira, sólidos em suspensão, material orgânico advindo de contaminações e produtos insolúveis originados de reações químicas na



água (incluindo excesso de produtos para condicionamento químico).” (TROVATI, 2004, p. 32).

A figura 1 identifica uma caldeira aquatubular cheia de lama, cujo acumulo foi causado pela utilização da água bruta.

Figura 1 – Caldeira com lama



Fonte: Aquino (2012)

Muitas incrustações são formadas por precipitação de sais e/ou óxidos na forma cristalina, gerando uma camada de lama altamente coesa e aderida. É possível, pela coloração resultante e o peso do material, saber qual foi a composição química causadora de sua origem, tal como o componente de coloração marrom claro, que pode indicar argila e sólidos suspensos, ou também produtos de corrosão (Fe_2O_3). (ALBERICHI, 2013; TROVATI, 2004).

A corrosão é um dos problemas mais graves em sistemas geradores de vapor, uma vez que pode ocasionar acidentes, perda de materiais e paradas do equipamento para a manutenção. A corrosão é um processo eletroquímico com capacidade de se desenvolver em meio ácido, neutro ou alcalino, podendo ou não ser na presença de aeração, bem como ser acelerado pela presença de oxigênio dissolvido, teores elevados de cloro, presença de íons cobre e níquel, sólidos em suspensão que se depositam facilmente, de forma não aderente, em regiões estagnantes e de alta transferência de calor (GENTIL, 2007).

A figura 2 demonstra o material de coloração marrom claro que, como dito anteriormente, pode indicar argila, sólidos suspensos ou produtos de corrosão (Fe_2O_3).



Figura 2 – Depósitos de argila e sólidos suspenso no interior do tubo de caldeira aquatubular



Fonte: Trovati (2004, p. 36)

Outro problema no tratamento de água para geração de vapor, é a ocorrência de arrastes de água da caldeira para a seção pós-caldeira. O arraste é um fenômeno caracterizado pelo transporte de água da caldeira e suas impurezas minerais pelo vapor destinado à seção pós-caldeira, causando os mais diversos inconvenientes, tais como: formação de depósitos em superaquecedores, turbinas, válvulas e acessórios da seção pós-caldeira, queda acentuada no rendimento de equipamentos que utilizam vapor para aquecimento, formação de golpes de aríete nas linhas, entre outros. O fenômeno ocorre em caldeiras que operam nas mais diversas pressões, influenciando diretamente na pureza do vapor, cujas causas podem ser mecânicas ou químicas. (AQUINO, 2012; DANTAS, 1988; TROVATI, 2004). A figura 3 demonstra o ataque corrosivo nos pés do tubo e a figura 4 demonstra incrustação em uma válvula pós caldeira.

Figura 3 – ataque corrosivo nos pés do tubo



Fonte: Aquino (2012)

Figura 4 - incrustação em uma válvula pós caldeira



Fonte: Acquasolo (2018)



Segundo Aquino (2012, p. 3)

O arraste é combatido através de alguns procedimentos simples, porém eficientes, destacando-se: manutenção dos limites de sólidos dissolvidos e suspensos na água da caldeira; evitando-se a contaminação por materiais orgânicos e dosagem excessiva de soda cáustica; equilibrando produção e demanda de vapor, evitando as elevações bruscas de consumo; operação com nível de água de acordo com recomendações do fabricante e observação detalhada do projeto do equipamento, incluindo os dispositivos empregados para eliminação de gotículas localizada no interior das caldeiras (chamados popularmente de chevrons ou filtros de vapor).

Trovati (2004, p. 69) aborda que a "medição dos sólidos no vapor é um método eficiente para a detecção de arrastes e quantificação de sua intensidade".

2.1 Água de alimentação para caldeiras

Como abordado anteriormente, para uma operação segura e eficiente de uma caldeira é de suma importância a qualidade da água disponível para sua alimentação. A água tende a dissolver várias substâncias, como sais, óxidos/hidróxidos, diversos materiais e, também, gases e, por isso, nunca é encontrada pura na natureza. Além disso, a água pode apresentar material em suspensão, como argila, material orgânico, óleos, etc. e a presença de todas estas impurezas podem causar problemas no uso da água para geração de vapor, ocasionando incrustações e/ou acelerar os processos corrosivos. (TROVATI, 2004).

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. (LISAUSKAS, 2017).

Assim, a alimentação de caldeiras pressupõe a escolha de uma água cujas características sejam compatíveis com as especificações do equipamento, e quanto maior for a pressão de trabalho da caldeira, a água deverá ser de maior pureza. A água considerada ideal para alimentação de caldeiras é aquela que não deposita nenhuma substância incrustante, não corrói os metais da caldeira, nem seus acessórios e não ocasiona arraste ou espuma. (AQUINO, 2012; LISAUSKAS, 2017; TROVATI, 2004).



Fica evidentemente que águas com as características desejadas são de difícil obtenção, sem que antes haja um pré-tratamento que permita reduzir as impurezas a um nível compatível, de modo a não prejudicar o funcionamento da caldeira. Ou seja, nenhuma água é totalmente pura, pois todas podem apresentar uma certa quantidade de impurezas granulares ou moleculares. A quantidade de materiais dissolvidos depende do lugar de captação da água e a da geologia local. (BEUX, 2014; TROVATI, 2004).

Portanto, se fazem necessários tratamentos para a água que será usada nas caldeiras. Trovati (2004, p. 20) considera ideal para geração de vapor uma água com as seguintes características:

- Menor quantidade possível de sais e óxidos dissolvidos
- Ausência de oxigênio e outros gases dissolvidos
- Isenta de materiais em suspensão
- Ausência de materiais orgânicos
- Temperatura elevada
- pH adequado (faixa alcalina)

“A alimentação de água com boa qualidade elimina, antecipadamente, grande parte dos problemas que normalmente ocorrem em geradores de vapor. Posteriormente, fica a cargo do tratamento químico interno a manutenção da qualidade da água no interior da caldeira”. (TROVATI, 2004, p. 20-21). Nesse sentido, optou-se pela apresentação dos quadros apresentados na pesquisa de Lisauskas (2017), pois sintetizam de maneira bastante esclarecedora todas as substâncias, problemas e metodologia de tratamento a ser utilizada. O quadro 1 apresenta as substâncias contidas na água bruta, os respectivos problemas e a metodologia de tratamento utilizada, bem como as causas, os problemas e as consequências.

Quadro 1 - substâncias contidas na água bruta, os respectivos problemas e a metodologia de tratamento utilizada

Impurezas	Problemas	Método de Tratamento
Dureza- Cálcio (0,0 a 0,3mg/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.



Silica (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 350mg/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)	<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 decrescidos 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: (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2012 apud LISAUSKAS, 2017, p. 39 - adaptado)



O quadro 2 apresenta as causas, os problemas originados pela água e as respectivas consequências.

Quadro 2 – causas, 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: (GENERAL ELECTRIC COMPANY, 2012 apud LISAUSKAS, 2017, p. 40 - adaptado)

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa bibliográfica caracteriza-se como aquela que explora e obtém conhecimentos, procurando encontrar informações publicadas em livros, artigos, dissertações, teses e demais materiais publicados. O objetivo da pesquisa bibliográfica é inserir o pesquisador em contato com todo material escrito sobre o assunto da pesquisa, para que este possa analisar a veracidade dos dados obtidos, observando-se as possíveis incoerências ou contradições que as obras possam apresentar. (BARROS; LEHFELD, 1986; PRODANOV; FREITAS, 2013). A pesquisa na literatura foi utilizada para realizar a revisão bibliográfica concernente às causas de deterioração de caldeiras e sobre a água de alimentação para as mesmas.

A pesquisa laboratorial é realizada em situações controladas, em laboratórios, pois precisa de um ambiente próprio para o estudo a ser desenvolvido, onde as variáveis podem ser



monitoradas e corrigidas se necessário. “Observação em laboratório: é aquela que tenta descobrir a ação e a conduta, a que teve lugar em condições cuidadosamente dispostas e controladas”. (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 105). A pesquisa laboratorial foi utilizada para realização da análise das águas, por método analítico, realizado pela empresa Metágua de Sertãozinho/SP.

3.1 Materiais e métodos

Os materiais utilizados na coleta das águas foram um funil e um coletor de amostras de polietileno.

O método escolhido foi à coleta ao nível do solo para simular uma situação real da captação da água na indústria, uma vez que não será efetuada uma filtração durante a captação e sim posterior a sua coleta.

As águas foram coletadas pelo método direto, aquele que vem direto da chuva para o recipiente sem interferências, e indireto, aquele coletado através de calhas, telhados que passa por um condutor e então é armazenada, para que possam ser comparadas as suas qualidades.

As amostras de água da chuva coletadas para este trabalho são da cidade de Sertãozinho, no bairro COHAB III, sendo coletadas amostras do método direto e amostras do método indireto totalizando três amostras de cada método, conforme fotografias 1a, 1b e 1c e 2a, 2b e 2c.

Fotografias 1a, 1b e 1c - Método indireto coletado através de calhas e telhados

Fotografia 1a – pote de coleta



Fotografia 1b – pote de coleta, garrafa e funil



Fotografia 1c – água coletada que foi transferida para a garrafa



Fonte: fotografadas pelos autores



Fotografias 2a, 2b e 2c - Método direto da chuva para o recipiente sem interferências

Fotografia 2a – balde de coleta

Fotografia 2b – balde de coleta,
garrafa e funil

Fotografia 2c – água coletada
que foi transferida para a
garrafa



Fonte: fotografadas pelos autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para comparar os dados das águas coletadas pelos métodos direto e indireto adotou-se como base as especificações da *American Boiler and Affiliated Industries Manufactures Association's (ASME)*, conforme apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Especificações da *American Boiler and Affiliated Industries Manufactures Association's (ASME)*

Parâmetros	Unidade	Limites
Condutibilidade	μohms	< 3500
Acidez	ph	10,5 – 11,5
Dureza Total	ppm (CaCO_3)	< 15
Alcalinidade Total	ppm (CaCO_3)	< 450
Alcalinidade OH	ppm (CaCO_3)	150 – 250
Cloretos	ppm (Cl)	< 300
Fosfatos	ppm (PO_4)	10 – 40
Sulfitos	ppm (SO_3)	10 – 30
Sílica	ppm (SiO_2)	< 150
Sólidos Totais Dissolvidos	ppm	< 300
Oxigênio Livre	ppm	Zero

Fonte: (SANTOS et al., 2015 apud SANTOS; RIBEIRO; BARBOSA, 2016, p.168).



A qualidade das amostras coletadas pelos métodos direto e indireto está apresentada na tabela 3, onde são representados os valores médios das 06 análises feitas, sendo 3 do método direto no ambiente residencial e industrial e 3 do método indireto no ambiente residencial e industrial, todas armazenadas em frascos de polietileno de 2 litros, totalizando 6 litros de água coletada cada método, durante os períodos de março a maio do ano de 2018.

A data de análise foi dia 26 de setembro de 2018, e os pontos de coleta foram:

- Método indireto Industrial
- Método indireto residência
- Método direto residência

Os métodos avaliados seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª edição, ano 2017 ou NBRs Correspondentes. A responsável pela análise foi a Carla Souza, que ocupa o cargo de Analista de Laboratório, e o fone para contato é (16) 3511 2200.

Tabela 3 - Parâmetros de água da chuva coletada pelo método direto e indireto

LAUDO ANALÍTICO DE ÁGUA				
Determinações	Unidade	Método indireto	Método indireto	Método direto
		Industrial	residência	residência
pH	-	5,34	5,22	5,43
Condutividade	uS/cm	22,40	19,59	24,24
Dureza TOTAL	ppm CaCO ₃	20,00	40,00	5,00
Dureza CÁLCIO	ppm CaCO ₃	5,50	5,00	5,00
Alcalinidade Total	ppm CaCO ₃	50,00	60,00	40,00
STD	-	15,23	13,32	16,48
Cloreto	mg/l Cl ⁻	28,36	21,27	35,45

Fonte: elaborada pelos autores a partir da amostra da água enviada para a empresa Metágua (2018) que fez a análise e forneceu os resultados

Para análise dos dados e comparação com a tabela 2 da ASME, faz-se necessário inferir que a alcalinidade de todas as amostras foi influenciada apenas por Bicarbonatos. Ao comparar



a análise da água com os valores limites determinada pela ASME para água de alimentação de caldeiras, há os seguintes resultados:

- A faixa ideal do Ph é entre 10,5 e 11,5.
- Todos os demais valores devem estar abaixo do valor limite.
- Não há valores de referência para dureza de cálcio, há somente o valor limite da dureza total.
- A água de captação direta deve passar por um tratamento de correção de pH e todos os outros valores estão abaixo dos limites.
- A água de captação indireta deve passar por tratamento para correção de pH e redução de dureza.
- A água captada pelo método indireto é uma maneira eficaz para uso em caldeiras industriais, mas deve passar pela correção do pH e redução da sua dureza, por meio de tratamentos precipitantes a base de fosfatos, considerando-se que podem ser usados para dureza abaixo de 50ppm de CaCO_3 , ou, ainda, pode-se utilizar os abrandadores.

5 CONCLUSÃO

Após a análise das águas coletadas pelos métodos direto e indireto pode-se afirmar que a água chuva - em sua forma bruta - não pode ser utilizada para alimentação de caldeiras, uma vez que não atende a todos os critérios exigidos. No entanto é uma alternativa extremamente relevante, considerando-se que os resultados analíticos indicam baixos sólidos dissolvidos, baixa dureza, baixa condutividade e pH na faixa de neutralidade.

Por isso, desde que a água da chuva seja tratada quimicamente, se torna viável. Portanto, no que concerne ao problema proposto para investigação desta pesquisa, a hipótese foi confirmada, pois é possível concluir, a partir dos resultados das análises da qualidade da água da chuva, realizado pela Metágua (2018), que há viabilidade de sua utilização, além de ser ambientalmente correto.



REFERÊNCIAS

ACQUASOLO. **Figura da incrustação em uma válvula pós caldeira**. 2018. Disponível em: <http://www.acquasolo.com.br/index.asp?op=2&area=Produtos&codigo=15&idioma=1&subarea=Linha%20Industrial%20-%20Vulcan&cod_info=54>. Acesso em: 19 out. 2018

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. União da Indústria da Cana-de-açúcar. Centro de Tecnologia Canavieira. **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria sucroenergética**. Brasília, DF, 2009.

ALBERICHI, Mariano. **Estudo das instalações e operações de caldeiras de uma indústria de produtos químicos do Estado do Paraná, sob a ótica da nr-13 e nr28**. 2013. 103 fls. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2013.

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: 04 out. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12177-1 – Caldeiras estacionárias a vapor – Inspeção de segurança – Caldeiras flamotubulares**. Brasília, DF, 1999.

BARROS, Aidil Jesus Paes de; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Fundamentos de metodologia: um guia para iniciação científica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

BAZZO, Edson. **Geração de vapor**. 2. ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 1995.

BEUX, Giovana. **Avaliação das condições de segurança na operação de caldeiras a vapor**. 2014. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Programa de Pós-graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.

DANTAS, E. **Geração de Vapor e Água de Refrigeração: Falhas, Tratamento, Limpeza Química**. Rio de Janeiro: ABRACO, 1988.

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

LISAUSKAS, José Luis Soriano. **Objeto de aprendizagem para apoio ao processo ensino aprendizagem de seleção de tecnologias para tratamento de água em Caldeiras**. Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2017.

METÁGUA- **Laboratório de Análises de Sertãozinho/SP - Brasil**. 2018



PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SANTOS, L. de O.; RIBEIRO, W. F.; BARBOSA, S. A. Análise da qualidade da água da chuva para uso em caldeiras industriais. **Interfaces Científicas**: Saúde e Ambiente. Aracaju, v.5 - n.1 - edição especial - p. 163-172 - out. 2016.

TROVATI, Joubert. **Tratamento de água de resfriamento**. 2004. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/910641-Tratamento-de-agua-de-resfriamento.html>>. Acesso em: 04 out. 2018.