



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

EARLYSON MOREIRA GONÇALVES

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DOS FLUXOS DE
ÁGUA DE USO E REÚSO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DA REFINARIA
ABREU E LIMA - RNEST**

Recife, 2015

EARLYSON MOREIRA GONÇALVES

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DOS FLUXOS DE
ÁGUA DE USO E REÚSO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DA REFINARIA
ABREU E LIMA - RNEST**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof. Dr. Eduardo José Alécio de Oliveira
Orientador

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Coorientador

Recife, 2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Amanda Tavares CRB4 1751

- G635c **Gonçalves, Earlyson Moreira.**
Caracterização e proposta para otimização dos fluxos de água de uso e reúso das principais unidades da Refinaria Abreu e Lima - RNEST / Earlyson Moreira Gonçalves. – Recife, PE: O autor, 2015.
113 f.: il., color. ; 30 cm.
- Orientador: Prof. Dr. Eduardo José Alcício de Oliveira.
Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2015.
- Inclui referências.
1. Gestão Ambiental 2. Recursos Hídricos. 3. Água. 4. Refinaria. I. Oliveira, Eduardo José Alcício de (Orientador). II. Título.

628.3 CDD

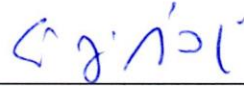
EARLYSON MOREIRA GONÇALVES

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DOS FLUXOS DE
ÁGUA DE USO E REÚSO DAS PRINCIPAIS UNIDADES DA REFINARIA
ABREU E LIMA - RNEST**

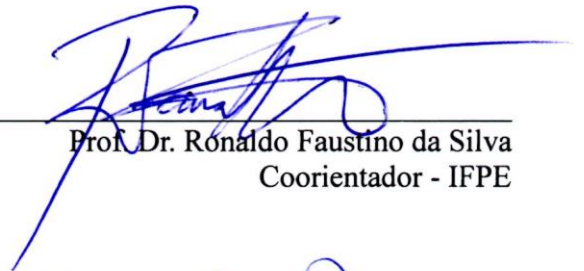
Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: 28 / 12 / 2015

BANCA EXAMINADORA



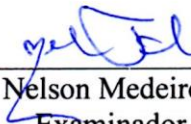
Prof. Dr. Eduardo José Alécio de Oliveira
Orientador - IFPE



Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva
Coorientador - IFPE



Profa. Dra. Sofia Suely Ferreira Brandão Rodrigues
Examinador Interno - IFPE



Prof. Dr. Nelson Medeiros de Lima Filho
Examinador Externo - UFPE

APRESENTAÇÃO

O Autor tem formação técnica nas áreas de Refrigeração e Ar Condicionado e Eletrotécnica. Tem formação superior com Licenciatura em Pedagogia, especialização em Psicologia da Educação e em Gestão Educacional. Atua há vinte e sete anos (27) na área de Refrigeração e Ar Condicionado, há vinte (20) anos como Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE e, há sete (7) anos, como Técnico de Operação na Petrobras. Em ambas as áreas de atuação incide, em maior ou menor grau, a preocupação do autor, ora com o manuseio de fluidos (potenciais poluidores e formadores do conjunto de gases que são responsáveis pelo efeito-estufa), ora pelo envolvimento na formação de novos profissionais (futuros formadores de opinião), ora devido à atuação direta na indústria do petróleo, com ênfase na preservação dos recursos naturais dispostos na natureza, matéria prima de vários processos e, conseqüentemente, das diversas ações relacionadas ao tema e à necessidade da preservação ambiental.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à memória de meu Avô, Severino Moreira da Silva. Pai sempre presente, exemplo de fé, dedicação e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE, pela oportunidade de dar prosseguimento a minha formação continuada.

Aos professores e orientadores que, com todos os seus afazeres e compromissos, cederam por empréstimo seu tão precioso tempo à construção conjunta deste feito.

À PETROBRAS S.A. pelo apoio, infraestrutura e abertura à pesquisa e ao desenvolvimento.

Aos profissionais da RNEST, que não hesitaram em dividir um pouco de suas experiências como contribuição para a construção deste trabalho.

Aos demais colegas de curso, cuja união e persistência transpuseram barreiras e fundamentaram amizades pelo espírito de companheirismo durante todo o processo de construção e aprimoramento da primeira turma de Mestrado do IFPE.

Aos meus familiares, cujo apoio incondicional, com renúncia de tempo e da ausência em muitos dos momentos em conjunto, foi a viga mestra desta trajetória.

A Deus que, com sua infinita grandeza, torna tudo possível.

RESUMO

A água, considerada um bem finito, tem seu uso em evidência nos últimos anos e a Indústria, potencial agente de degradação, tem um papel fundamental nos processos de gestão do uso desse recurso natural. A Indústria do Refino de Petróleo, enquanto agente de transformação, apresenta elevado potencial de degradação na localidade onde é implantada pois tem, como um dos mais importantes insumos, a água. Uma refinaria de petróleo, recém implantada pela Petrobras na Região Metropolitana do Recife, a Refinaria Abreu e Lima – RNEST, foi projetada para operar com critérios elevados de reúso de água em todas as suas instâncias de produção e incorpora alta tecnologia no tratamento de efluentes para assegurar boa qualidade nos processos de reutilização dessa água. Neste trabalho foi realizada uma caracterização das principais unidades consumidoras de água e um monitoramento onde foram utilizados instrumentos de vazão, de funcionamento contínuo, instalados em pontos onde a leitura da variável vazão representa informação relevante para o controle do fluxo de água, o que viabilizou a elaboração de propostas de otimização para o fluxo de água de uso industrial na refinaria. A Petrobras dispõe de ferramentas de interface automatizada que foram configuradas para o monitoramento das condições de uso e reúso de água das principais unidades consumidoras, para caracterizar e contribuir para a existência de um balanço hídrico otimizado, servindo ainda como ferramenta para prevenção de desperdícios e melhoria dos processos da refinaria ligados diretamente ao uso e reúso da água. O projeto da Refinaria contempla as premissas de reúso de água em diversos processos, mas utiliza uma metodologia de avaliação fragmentada para otimização. É apresentado, como resultado, uma ferramenta de controle do uso e reúso de água formada por um conjunto de telas de acompanhamento elaboradas na plataforma Plant Information®, em que pesa a monitoração das variáveis de processo que se referem às vazões de águas de consumo, residuárias e de reúso em toda a planta industrial. O uso da ferramenta, se mostrou eficaz no rastreamento de anormalidades no sistema de uso e reúso de água, contribuindo ainda para a implementação de estratégias de operação que visam reduzir significativamente a compra de água na refinaria.

Palavras-chave: Refinaria de Petróleo, Balanço hídrico, Otimização, Reúso de água.

ABSTRACT

The water, considered a finite good, has its use in evidence in recent years and the industry, potentially damaging agent, has a key role in the use of process management of this natural resource. The Industry Petroleum Refining, as an agent of transformation, presents high potential for degradation in the locality where it is implemented as it has, as one of the most important inputs, water. An oil refinery, recently implemented by Petrobras in the Metropolitan Region of Recife, the Abreu e Lima Refinery - RNEST, is designed to operate with high standards of water reuse in all instances of production and incorporates high technology in wastewater treatment for ensure good quality in this water reuse processes. This work was carried out a characterization of the main consumer units of water and a monitoring where flow instruments were used in continuous operation, installed at points where the flow variable reading is relevant information for the control of water flow, which enabled the preparing optimization proposals for industrial use in the refinery water flow. Petrobras has an automated interface tools that have been configured for monitoring the conditions of use and reuse of water from the main consumer units, to characterize and contribute to the existence of an optimized water balance, serving also as a tool for prevention of waste and improvement the refinery processes directly linked to the use and reuse of water. The refinery project includes the premises of reclaimed water in several cases, but uses a fragmented assessment methodology for optimization. It is presented as a result, a tool to control the use and reuse of water formed by a set of accompanying screens developed in Plant Information® platform, which weighs monitoring of process variables that refer to drinking water flows, wastewater and reuse throughout the plant. The use of the tool is effective in screening for abnormalities in the use of system and water reuse, thus contributing to the implementation of operating strategies aimed at significantly reducing water purchase from the refinery.

Keywords: Oil Refinery, Water balance, Optimization, Water reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

	Pag.
Figura 1 – Mapa de localização da RNEST	38
Figura 2 – Esquema do fluxo de águas de uso e reúso da RNEST	40
Figura 3 – Esquema simplificado do fluxo de águas da RNEST	42
Figura 4 – Esquema da Estação de Tratamento de Água – ETA	44
Figura 5 – Esquema da Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI	45
Figura 6 – Esquema funcional das Torres de Resfriamento	47
Figura 7 – Esquema funcional do Sistema de Água da Casa de Força – CAFOR	49
Figura 8 – Detalhes internos de uma placa de orifício	53
Figura 9 – Instrumento primário de vazão do tipo Placa de Orifício da RNEST	54
Figura 10 – Transmissor e Indicador de vazão do tipo Diferencial de Pressão	54
Figura 11 – Medidor de vazão magnético da RNEST	55
Figura 12 – Instrumento de vazão da RNEST em estrutura do tipo Calha Parshall	56
Figura 13 – Vista aérea da Estação de Tratamento de Água da RNEST	60
Figura 14 – Esquema funcional da ETA da RNEST com vazões de projeto	69
Figura 15 – Esquema funcional da ETA da RNEST com a média das vazões reais	70
Figura 16 – Esquema funcional da ETDI da RNEST com valores de vazão de projeto ...	78
Figura 17 – Esquema funcional da ETDI da RNEST com a média das vazões reais	79
Figura 18 – Vista aérea das Torres de Resfriamento da Área Industrial da RNEST	81
Figura 19 – Esquema das vazões de água projetadas para as torres de resfriamento	84
Figura 20 – Esquema das vazões médias reais de água nas torres de resfriamento	85
Figura 21 – Vista aérea da Casa de Força – CAFOR da RNEST	86
Figura 22 – Esquema das vazões de água desmineralizada projetadas para a CAFOR	89
Figura 23 – Esquema das vazões médias reais de água na CAFOR	91
Figura 24 – Tela de monitoração de Visão Geral da RNEST	96
Figura 25 – Balanço hídrico geral da RNEST	97
Figura 26 – Planilha de alarmes de variação de vazões de água da ETA, ETDI, TORRES, CAFOR e PROCESSO	98

GRÁFICOS

	Pag.
Gráfico 1 – Comparativo das vazões de água na ETA: Projetado X Real	71
Gráfico 2 – Comparativo das vazões de água na ETDI: Projetado X Real	80
Gráfico 3 – Comparativo das vazões de água nas TORRES: Projetado X Real	86
Gráfico 4 – Comparativo das vazões de água na CAFOR: Projetado X Real	92
Gráfico 5 – Distribuição de água desaerada para as unidades de processo	94
Gráfico 6 – Gráfico de Pareto sobre consumo de água nas unidades da RNEST	95

TABELAS

	Pag.
Tabela 1 – Variáveis de projeto definidas para a ETA	43
Tabela 2 – Variáveis de projeto definidas para a ETDI	45
Tabela 3 – Variáveis de projeto definidas para as Torres de Resfriamento	46
Tabela 4 – Variáveis de projeto definidas para a CAFOR	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIC	Centro Integrado de Controle
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CPU	Unidade Central de Processamento
EDR	Sistema de Tratamento de Água por Eletrodiálise Reversa
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETDI	Estação de Tratamento de Despejos Industriais
EP	Engenharia de Processos
HDT	Hidrotratamento
ICA	Índice de Consumo de Água
IHM	Interface Homem-Máquina
LB	Limite de Bateria
MBR	Reator Biológico de Membranas (Membrane Biological Reactor)
MDEA	Unidade de Regeneração de Soda Gasta
PI	Plant Information®
RACE	Rede de Água de Combate a Emergência
RECAP	Refinaria de Capuava
RNEST	Refinaria Abreu e Lima
RPM	Rotações por minuto
SAO	Separador Água e Óleo
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SNOX	Unidade de Abatimento de Emissões SO _x e NO _x
TDS	Total Dissolved Solids (Sólidos Totais Dissolvidos)
TAC	Tanque de Água Contaminada
TAG	Identificação alfanumérica de equipamentos e instrumentos
TAO	Tanque de Água Oleosa
TG	Turbo-Gerador
UDA	Unidade de Destilação Atmosférica
UGH	Unidade de Geração de Hidrogênio
UCR	Unidade de Coqueamento Retardado
UTAA	Unidade de Tratamento de Água Ácidas

SUMÁRIO

	Pag.
1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 REFINO DE PETRÓLEO	20
2.2 ÁGUA NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	23
2.3 USO DE ÁGUA EM REFINARIAS DE PETRÓLEO	27
2.4 REÚSO DE ÁGUA NUMA REFINARIA DE PETRÓLEO	30
2.5 INTERFACES DE MONITORAMENTO DE SISTEMAS	32
2.6 PANORAMA AMBIENTAL DO USO E REÚSO DE ÁGUA	34
3 METODOLOGIA	38
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DE ÁGUA DE USO E REÚSO DAS PRINCIPAIS UNIDADES CONSUMIDORAS DE ÁGUA DA RNEST	39
3.1.1 DEFINIÇÃO DOS LOCAIS DE MONITORAMENTO DE USO E REÚSO DE ÁGUA NA RNEST	41
3.2 ELABORAÇÃO DE TELAS DE INTERFACE, UTILIZANDO O PROGRAMA PLANT INFORMATION® - PI, PARA MONITORAMENTO DAS VAZÕES DE ÁGUAS DE USO E REÚSO	50
3.2.1 MEDIÇÃO DE VAZÃO DE ÁGUA DE USO E REÚSO INDUSTRIAL	51
3.3 DA METODOLOGIA PARA AJUSTE DOS PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DO FLUXO DE ÁGUA DE USO/REÚSO	56
3.4 DA METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO DO USO E REÚSO DE ÁGUA DE PROCESSO NA RNEST	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DE ÁGUA DA RNEST	58
4.1.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA	59
4.1.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS – ETDI	71
4.1.3 SISTEMA DE TORRES DE RESFRIAMENTO	80

4.1.4 CASA DE FORÇA – CAFOR	86
4.1.5 UNIDADES DE PROCESSO	92
4.2 INTERFACES DE MONITORAMENTO DE VAZÃO DE ÁGUA NA RNEST	94
4.3 PARÂMETROS OPERACIONAIS DE USO E REÚSO DE ÁGUA NA RNEST	96
4.4 PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO DO USO E REÚSO DE ÁGUA NA RNEST	99
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
5.1 REÚSO DA ÁGUA NAS REFINARIAS BRASILEIRAS	104
5.1.1 SISTEMAS DE REÚSO DA RNEST	104
5.2 CONTRIBUIÇÕES ECO-AMBIENTAIS DA RNEST NO USO E REÚSO DE ÁGUA	106
5.3 CONCLUSÕES	109
REFERÊNCIAS	112

1 INTRODUÇÃO

A Região Nordeste alcançou um dos maiores índices de desenvolvimento industrial do país nos últimos anos. No entanto todo desenvolvimento industrial é seguido de alterações significativas de âmbito local, no meio físico de uma determinada região, o que implica diretamente na necessidade de monitoramento e preservação das condições ambientais daquele meio, com a finalidade de preservar as condições de vida e a funcionalidade dos diversos sistemas naturais ali existentes.

A Refinaria Abreu e Lima – RNEST, Unidade de Operações da Petrobras, em operação desde dezembro de 2014, localiza-se no município de Ipojuca, cidade situada no litoral sul do estado de Pernambuco e pertencente à Região Metropolitana do Recife. É um empreendimento da Petrobras, e é a primeira refinaria de petróleo construída, por inteiro, depois de mais de trinta anos de sua última unidade, a Refinaria Henrique Lage – REVAP, em operação na cidade de São José dos Campos – São Paulo. Com capacidade de refino de 230 mil barris diários de petróleo, dividido em dois módulos, tem como principal produto, o óleo diesel, representando cerca de 70% de sua produção e deverá atender à demanda das regiões Norte e Nordeste do país, onde parte do diesel consumido hoje é importado.

A indústria química constitui um dos setores mais dinâmicos e vitais de qualquer economia industrializada, pois gera produtos finais amplamente demandados por consumidores e uma infinidade de insumos intermediários utilizados por outras indústrias em seus processos de produção. Os produtos químicos estão presentes no dia a dia das pessoas nas mais variadas formas: diretamente, como produtos farmacêuticos, fertilizantes, tintas, plásticos e borrachas, e indiretamente, como insumos nas indústrias têxtil, automobilística e eletrônica, entre outras (DEMAJOROVIC, 2003).

A RNEST é a primeira refinaria construída no Brasil para processar petróleo pesado. Com a Produção focada em diesel (70%), a refinaria foi projetada para produzir diesel com baixo teor de enxofre de acordo com os rígidos padrões internacionais, o Diesel S-10 (concentração de 10 partes por milhão de enxofre). Dentre as principais vantagens ambientais do Diesel S-10 está a redução em até 80% das emissões de material particulado e em até 98% das emissões de óxidos de nitrogênio. A Petrobras assinala que desenvolveu uma unidade moderna e que sua concepção foi projetada para atender a diretrizes de categoria internacional

e contempla tecnologias que respeitam o meio ambiente, com destaque para o alto nível de confiabilidade e desempenho, atendimento à qualidade dos produtos, baixo custo de manutenção, baixo consumo energético, uso otimizado de água e máxima segurança operacional (PETROBRAS, 2015).

Com 14.683 empresas industriais em 2013, Pernambuco responde por 2,8% do total de empresas que atuam no setor industrial brasileiro (CNI, 2014). Indústrias, montadas próximas a grandes centros populacionais, junto a mananciais hídricos e outros núcleos de vida natural, se não forem regidas por critérios rigorosos de qualidade e de destinação de seus despejos, podem alterar significativa e definitivamente toda uma cadeia de vida naturalmente ali existente. Faz-se, portanto, necessário uma avaliação rigorosa dos critérios de implementação e operação desses sistemas com vista a perceber se ocorre a aplicação das tecnologias propostas para cada realidade.

A recente implantação da RNEST chama a atenção, tanto pelas suas dimensões, quanto pelos complexos e diversificados processos, consumidores de recursos naturais (água), e igualmente por seus potenciais poluidores, mas que estão acompanhados por sistemas preventivos e corretivos. Unidades inteiras estão sendo construídas, com vultuosos investimentos voltados para a preservação ambiental, ora em atendimento às normas vigentes, ora em consonância com os critérios de reúso pré-estabelecidos pela Companhia, que contemplam o uso de avançadas tecnologias. Um exemplo disso é a implementação de uma unidade de abatimento de emissões atmosféricas de SO_x e NO_x (Unidade SNO_x).

“Não é possível um impacto ambiental zero, pois toda geração de energia cobra algum custo ambiental. De mais a mais, é irrealizável, em termos absolutos, dada a finitude da realidade e os efeitos da entropia, que significa o lento e irrefreável desgaste de energia. Mas pelo menos o esforço deve orientar-se no sentido de proteger a natureza, de agir em sinergia com seus ritmos e não apenas fazer-lhe mal; importante é restaurar sua vitalidade, dar-lhe descanso e devolver mais do que dela temos tirado para que as gerações futuras possam ver garantidas as reservas naturais e culturais para o seu bem-viver” (BOFF, 2012).

A Refinaria Abreu e Lima dispõe de ferramentas capazes de monitorar, em tempo real, diversas variáveis de processo, tais como a vazão e volume da água em diversos pontos da Unidade. O mapeamento desses pontos e a correlação entre eles, se bem estabelecidos, pode contribuir para uma constante avaliação do desempenho e do reaproveitamento de água na Unidade como um todo. Uma das ferramentas de controle é o programa Plant Information® (PI).

“O sistema PI (Plant Information®) é um conjunto de módulos de *software* servidor/cliente desenvolvidos para automatizar totalmente a coleta, armazenamento e apresentação das informações da planta de um processo, gerenciando essas operações. Assim, o sistema PI é frequentemente utilizado como uma integração e plataforma de desenvolvimento de largas aplicações, tornando-se a ligação principal entre a área industrial e o escritório” (GENENA, 2004).

Vale salientar que um trabalho dessa natureza é de interesse geral, ainda mais para a Unidade objeto de estudo, que tem responsabilidade tanto pela preservação da água quanto pela destinação dos resíduos gerados. Responsabilidade essa, que não se extingue na fronteira de seus muros, mas segue-se até a destinação final de seus produtos e resíduos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar e propor otimização para o fluxo de água de uso e reúso em uma refinaria de petróleo recém implantada.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os fluxos de água de uso e reúso das principais unidades consumidoras de água da RNEST.
- Elaborar as interfaces de monitoramento de vazão de água de uso e reúso utilizando o programa Plant Information® - PI.
- Ajustar limites para os parâmetros de monitoramento do fluxo de água de uso/reúso com base nas medidas de vazão das principais linhas de distribuição (uso) e retorno de água (reúso), utilizando as ferramentas do programa Plant Information® - PI.
- Propor uma otimização do uso e reúso de água de processo com base nas informações das vazões monitoradas com a ferramenta PI e possibilidades de projeto.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em 5 (cinco) tópicos.

O primeiro tópico tem caráter introdutório para o trabalho e contém: Introdução, Objetivo Geral, Objetivos Específicos e esta Estrutura da Dissertação.

O segundo tópico trata da revisão da literatura e aborda inicialmente o refino de petróleo, um histórico sobre a água na legislação brasileira, o uso e o reúso de água em refinarias de petróleo, interfaces de monitoramento de sistemas e o panorama ambiental do uso e reúso de água.

O terceiro tópico trata a metodologia adotada durante o trabalho, onde foi relatado o sistema de água da RNEST, os sistemas e instrumentos de vazão encontrados na unidade, a definição dos locais escolhidos para monitoração das vazões de água e, nestes casos, uma breve descrição das principais unidades de distribuição de água: Estação de Tratamento de Água - ETA, Estação de Tratamento de Despejos Industriais - ETDI, Torres de Resfriamento - Torres e Casa de Força - CAFOR. Neste tópico descreveu-se ainda como se deu o processo de elaboração das telas de monitoração.

O quarto tópico remete aos resultados e discussão. No início há uma caracterização da área objeto de estudo com pormenores sobre o uso da água em refinarias brasileiras e uma descrição das unidades, tendo como foco o uso e reúso da água na RNEST. Foram traçados ainda, comentários sobre os parâmetros operacionais e propostas de otimização para o uso e reúso da água na refinaria avaliada.

No quinto e último tópico encontram-se as considerações finais, contendo um tópico que versa sobre as contribuições eco-ambientais do uso e as conclusões sobre o reúso de água na Refinaria Abreu e Lima - RNEST.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Como nos revelam Telles & Costa (2010), durante milênios a água foi considerada um recurso infinito. A generosidade da natureza fazia crer em inesgotáveis mananciais, abundantes e renováveis, e que nos dias de hoje devido ao mau uso, aliado à crescente demanda, vem preocupando especialistas e autoridades no assunto, pelo evidente decréscimo das reservas de água limpa em todo o planeta. Segundo os autores, considera-se atualmente que a quantidade total de água na terra seja de 1.386 milhões de km³, onde 97,5% do volume total formam os oceanos e os mares e somente 2,5% constituem-se de água doce. Este volume tem permanecido aproximadamente constante durante os últimos 500 milhões de anos.

À luz de seu livro “Discursos Sustentáveis” Leff (2010) esclarece que a comunidade mundial reconheceu a “*crise da água*” derivada de sua emergente escassez. Que há no planeta 1,3 bilhão de pessoas sem acesso adequado a água potável e 2,5 bilhões não desfrutam de um sistema de saneamento apropriado e que, atualmente, 31 países sofrem grave escassez de água. Alerta também para as estimativas de que, nas próximas duas décadas, dois terços da população mundial não terão acesso adequado ao abastecimento de água doce. Ainda comenta que existem desafios maiores: o de inventar a gestão democrática da água em um mundo globalizado e o de reconstruir as práticas e processos sociais associados a todas as formas de produção e consumo, às obras de abastecimento, drenagem e reciclagem. Assegura que a água está interligada com os processos de produção e consumo, e entrelaçada com a trama da vida.

Mancuso & Santos (2003) citam que o reúso da água subentende uma tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau, dependendo dos fins a que se destina a água e de como ela tenha sido usada anteriormente. Ressaltam, porém, que o que dificulta a conceituação precisa da expressão “*reúso de água*” é a definição do exato momento a partir do qual se admite que o reúso está sendo feito. Comentam ainda que o setor privado, particularmente o industrial, vem gradualmente se conscientizando de que a prática de reúso e a reciclagem podem trazer benefícios significativos tanto no que concerne ao processo industrial como em relação às águas de utilidades.

Pires, Feijó & Luiz (2009) comentam que as discussões acerca do reúso de água obrigatoriamente se passam, anteriormente, pela necessidade de racionalização do uso, visto que a consciência da finitude dos recursos hídricos deve estar presente em todo e qualquer

projeto ligado ao tema. Alertam que o reúso e a conservação devem, também, ser estimulados nas próprias indústrias por meio da adoção de processos industriais e de sistemas de lavagem com baixo consumo de água, assim como em estações de tratamento de água para abastecimento público, por meio da recuperação e do reúso das águas de lavagem de filtros e de decantadores.

Importante se faz contribuir para implementação de uma cultura de preservação do meio em que vivemos, recorrendo e discutindo métodos que, mundo afora, mostram-se eficazes nos diversos processos de controle e de manutenção das condições ambientais. Segundo Demajorovic (2003) é interessante notar que as vantagens para a organização podem surgir não apenas de benefícios econômicos tangíveis, mas também daqueles mais difíceis de ser mensurados, como por exemplo, a imagem da organização. Também, é necessário ressaltar e explorar tecnicamente os bons exemplos para que sejam divulgados e disseminados para replicação e aprimoramento de suas funcionalidades.

2.1 REFINO DE PETRÓLEO

O petróleo não é uma substância pura e sim uma complexa mistura de compostos orgânicos e inorgânicos em que predominam os hidrocarbonetos. Bruto, tem pouquíssimas aplicações práticas, servindo quase que tão somente como óleo combustível (TAVARES, 2005). Para que o potencial energético do petróleo seja aproveitado ao máximo, ele deve ser submetido a uma série de processos, a fim de se desdobrar nos seus diversos derivados. Além de ser, o petróleo, uma mistura extremamente complexa de diversos compostos, não existem dois petróleos idênticos. Sendo assim, suas diferenças vão influenciar de forma decisiva os rendimentos e a qualidade das frações que serão obtidas de cada petróleo (MARIANO, 2001). As características do petróleo variam amplamente em função de suas condições geológicas de formação. As principais características de um “tipo” de petróleo, economicamente relevantes para o processo de refino, são a densidade do óleo, o tipo de hidrocarboneto – ou base – predominante na mistura e o teor de enxofre (TAVARES, 2005).

Para Mariano (2001), o refino do petróleo consiste numa série de beneficiamentos pelos quais passa o mineral bruto, para a obtenção de derivados, estes sim, produtos de grande interesse comercial. Esses beneficiamentos englobam etapas físicas, e químicas de separação,

que originam as grandes frações de destilação. Estas frações são então processadas através de uma outra série de etapas de separação e conversão que fornecem os derivados finais do petróleo. Refinar petróleo é, portanto, separar as frações desejadas, processá-las e lhes dar acabamento, de modo a se obterem produtos vendáveis. Tavares (2005) comenta que durante o refino, o petróleo é submetido a uma série de processos, definidos segundo o tipo de petróleo utilizado (que geralmente é uma mistura, ou 'blend', de um ou mais tipos diferentes de petróleo) e os derivados que se pretende produzir.

Refinarias de petróleo são um complexo sistema de operações múltiplas; as operações que são usadas em uma dada refinaria dependem das propriedades do petróleo que será refinado, assim como dos produtos desejados. Por essas razões, as refinarias podem ser muito diferentes (MARIANO, 2001). As refinarias de petróleo diferem de tamanho, complexidade, pelos processos existentes e pelo tipo de petróleo processado. Para produzir os derivados de petróleo, uma refinaria realiza diversos processos em suas plantas industriais, onde pode haver a geração dos produtos finais ou de cargas para alimentar outro processo dentro da planta (NOGUEIRA, 2007). A definição dos processos a serem utilizados e da forma de combiná-los em uma refinaria depende das características do óleo bruto disponível e da demanda esperada de derivados, havendo ainda uma troca ou adequação para processos que exigem menor volume inicial de capital e o uso de um tipo de petróleo de melhor qualidade (mais caro); ou processos que demandam maior volume inicial de capital, mas que utilizam óleos de qualidade inferior (mais baratos) (TAVARES, 2005).

Para a PETROBRAS (2015), a produção de derivados a partir do petróleo envolve, basicamente, três processos principais:

1. Destilação – é o processo de separação dos derivados. O petróleo é aquecido em altas temperaturas até evaporar. Esse vapor volta ao estado líquido conforme resfria em diferentes níveis dentro da torre de destilação. Em cada nível há um recipiente que coleta um determinado subproduto do petróleo.
2. Conversão – é o processo que transforma as partes mais pesadas e de menor valor do petróleo em moléculas menores, dando origem a derivados mais nobres. Isso aumenta o aproveitamento do petróleo.
3. Tratamentos – são os processos voltados para adequar os derivados à qualidade exigida pelo mercado. Em um desses processos, por exemplo, é feita a remoção do enxofre.

Mariano (2001) afirma que os processos de separação são sempre de natureza física. Modificações de temperatura e/ou pressão ou o uso de diferentes solventes efetuam a separação desejada. As principais operações dessa natureza encontradas em uma refinaria são:

- Dessalinização;
- Destilação Atmosférica;
- Destilação a Vácuo;
- Desasfaltação a Propano;
- Desaromatização a Furfural;
- Desparafinação;
- Desoleificação.

Relata ainda que os principais processos de conversão utilizados no refino de petróleo são:

- Craqueamento Térmico;
- Visco – redução;
- Coqueamento;
- Craqueamento Catalítico;
- Hidrocraqueamento Catalítico;
- Hidrotratamento/Hidroprocessamento;
- Alquilação;
- Isomerização;
- Polimerização;
- Reforma Catalítica;
- Tratamentos Químicos.

A capacidade de produção de derivados nobres por uma refinaria depende da variedade e da capacidade de suas unidades de tratamento e conversão. É o que assinala Martins (2005 apud TAVARES, 2005), dizendo ainda que, quanto maior o número destas unidades e a sua capacidade (medida em relação à capacidade de destilação primária) maior a complexidade da refinaria e, conseqüentemente, a sua capacidade de produção de derivados nobres.

Para Mariano (2001), o principal objetivo dos processos de refinação é a obtenção da maior quantidade possível de derivados de alto valor comercial, ao menor custo operacional

possível, com máxima qualidade, minimizando-se ao máximo a geração dos produtos de pequenos valores de mercado. Segundo Tavares (2005), nem todos os derivados podem ser produzidos com qualidade, direta e economicamente de qualquer tipo de petróleo, assim como não existe uma técnica única de refino adaptável a qualquer tipo de óleo bruto. A “arte” de compatibilizar as características dos vários petróleos que devam ser processados numa dada refinaria com a necessidade de suprir-se de derivados em quantidade e qualidade faz com que surjam arranjos de várias unidades de processamento para que esta compatibilização seja feita da forma mais racional e econômica possível.

O refino de petróleo permite acesso aos mercados, uma vez que possibilita a transformação de petróleo bruto em derivados padronizados, largamente usados em diversos setores da economia, principalmente no setor de transportes. O desenvolvimento de motores a combustão interna no início do século XX trouxe uma ruptura com a fonte de energia, o carvão mineral, utilizada nas máquinas a vapor até então. O uso dos motores modernos trouxe inúmeros benefícios, além de enormes transformações tanto no modo de vida das pessoas como na economia mundial. A disponibilidade cada vez maior de um meio de transporte pessoal produziu uma complexa infraestrutura industrial que modelou a sociedade moderna (TAVARES, 2005).

2.2 ÁGUA NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

No Brasil, as primeiras leis que se referiam à qualidade de um corpo hídrico são datadas de 1934, quando surgiu o Código de Águas – Decreto nº. 24.643/34. Já o Decreto nº. 50.877/61 dispunha sobre o lançamento de resíduos tóxicos ou oleosos nas águas interiores ou litorâneas do país. A primeira lei que tratou especificamente da qualidade da água foi a Lei estadual paulista nº 997 de 31/05/1976, por meio do Decreto nº 8468, de 08/09/1976, que tratou da classificação das águas, bem como dos padrões de qualidade e emissão. Nesta linha foi instituída a Resolução nº 020 do CONAMA¹, de 18/06/1986, que estabeleceu a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional (VANELLI, 2004).

A Política Nacional de Recursos Hídricos foi instituída pela Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, fixando fundamentos, objetivos, diretrizes e instrumentos capazes de indicar

¹ Resolução 020/1986: revista e atualizada pela resolução N° 357 de 17 de março de 2005.

claramente a posição e orientação pública no processo de gerenciamento dos recursos hídricos. Os fundamentos mais importantes, conforme Nogueira (2007), são:

- “A água é um bem de domínio público”, cumprindo os ditames constitucionais de que não há mais água de domínio privado no Brasil.
- “A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico”.
- “Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”.
- “A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas”.
- “A bacia hidrográfica é a unidade territorial básica” e indica a área de atuação da política e do sistema gerenciador dos recursos hídricos.
- “A gestão deve ser descentralizada e participativa do poder público, dos usuários e das comunidades”, em atendimento às recomendações da Declaração de Paris.

A Lei Nº 9.966, de 28 de abril de 2000 dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional. A Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000 discorre sobre a da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

O Decreto Nº 4.136, de 20 de fevereiro de 2002 tem como tema a especificação das sanções aplicáveis às infrações às regras de prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional, prevista na Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Em 2003, o Decreto Nº 4.871, de 6 de novembro institui os dos Planos de Áreas para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional enquanto o Decreto Nº 4.895, de 25 de novembro dispõe sobre a autorização de uso de espaços físicos de corpos d'água de domínio da União para fins de aquicultura.

Em 9 de junho de 2004 a Lei Nº 10.881 discorre sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades delegatárias das funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União. A Resolução Nº 357, de 17 de

março de 2005 do CONAMA², traz a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. O Decreto Nº 5.440, de 17 de maio de 2005 estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano.

Sob o número 12.334, de 20 de setembro de 2010 é instituída lei que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Em 2011 a Resolução Nº 430, de 13 de maio, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Segundo Nogueira (2007), em termos de diretrizes políticas, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União, como um dos instrumentos da gestão dos recursos hídricos, constitui-se em um incentivo ao reúso de água, uma vez que o usuário que reutiliza suas águas reduz as vazões de captação e lançamento e tem sua cobrança reduzida. Dependendo das vazões utilizadas, o montante de recursos economizados com a redução da cobrança em função do reúso pode cobrir os custos de instalação de um sistema de reúso da água na unidade industrial.

O direito de uso dos recursos hídricos é chamado de outorga e segundo Mancuso & Santos (2003) é o ato que concede ao interessado a possibilidade de explorar os recursos hídricos na forma e sob as condições previstas em lei. Segundo Nogueira (2007), a outorga é o ato que concede ao interessado a possibilidade de explorar os recursos hídricos na forma e sob as condições previstas em lei, tendo como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos seus usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. O impacto da outorga no reúso de água reside no fato de que, a partir da implantação do reúso no processo produtivo, fica o usuário automaticamente dispensado de qualquer autorização por parte do poder público para o próprio reúso da água, uma vez que sua reutilização não se

² Resolução 357/2005: Alterada pelas Resoluções nº 370 de 2006, nº 397 de 2008, nº 410 de 2009 e nº430 de 2011. Complementada pela Resolução nº 393 de 2009.

enquadra em nenhuma das hipóteses legais desse tipo de concessão. Os casos em que há necessidade de outorga são:

- Derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- Lançamento em corpo de água de esgoto e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final (um outro caso não previsto na legislação em que a outorga é imprescindível seria o da dissipação da energia térmica pelo lançamento em corpos d'água);
- Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água.

Aquele que recebe a outorga de recursos hídricos poderá fazer o uso para o fim que lhe foi concedido. A outorga não implica a alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso. Isso equivale a afirmar que aquele que recebe a outorga não se transforma em seu proprietário, mas mero usuário do recurso, ainda que possa transformar sua qualidade para pior, por meio de processo produtivo (MANCUSO & SANTOS, 2003).

A legislação obrigou as empresas a procurar o caminho da inovação, resultando em uma série de novos produtos e processos que poderiam ser comercializados no mercado internacional. Essas mudanças são consideradas “ganha-ganha” devido aos benefícios evidentes que geram para as empresas e para a sociedade, pois, além de melhorar a performance ambiental das organizações, reduzem seus custos (DEMAJOROVIC, 2003).

Mierzwa & Hespanhol (2005) ressaltam que um passo importante nessa direção foi a criação das políticas sobre gerenciamento de recursos hídricos, tendo como marcos a Lei Paulista nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, e a lei federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Em ambas as leis, a água passa a ser reconhecida como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico.

2.3 USO DE ÁGUA EM REFINARIAS DE PETRÓLEO

A água captada possui os mais diferentes usos em uma refinaria de petróleo, requerendo para cada uso, um tratamento específico. Para atender a essa variedade da qualidade da água, com características físico-químicas diferentes, são utilizados diversos processos de tratamento de água que, segundo Vanelli (2004), dependem de:

- Qualidade requerida para cada tipo de água consumida;
- Qualidade da água bruta captada;
- Vazão de tratamento requerida.

Assinala Nogueira (2007) que o ramo de atividade da indústria, que define as atividades desenvolvidas, determina as características de qualidade da água a ser utilizada, ressaltando-se que em uma mesma indústria podem ser utilizadas águas com diferentes níveis de qualidade. A oportunidade para o uso de água de qualidade inferior à que esteja sendo atualmente utilizada é abundante, e, conceitualmente, efluentes recuperados poderiam ser usados em muitas circunstâncias no lugar onde atualmente água de melhor qualidade esteja sendo usada.

Numa refinaria de petróleo, a porta de entrada dos recursos hídricos é a “Estação de Tratamento de Água – ETA”. Ela é a principal responsável por assegurar as quantidades e qualidade de água a ser consumida e distribuída por toda a Unidade. Cada consumidor requer características específicas para uso. Essas especificações resultam em termos que se diferenciam quanto ao estágio em que se encontram, ou seu uso, no interior da Unidade. Água Bruta, Água Filtrada, Água Industrial, Água Desmineralizada, Água Polida, Água de Reúso, etc.... são alguns dos termos empregados numa refinaria de petróleo. São conhecidas algumas informações sobre o consumo de água numa refinaria de petróleo. Como nos relata Vanelli (2004), nas refinarias norte-americanas encontramos a seguinte relação de consumo de água:

- 60 a 70% - Água de Resfriamento;
- 20 a 30% - Água para geração de vapor em caldeiras;
- 4 a 6% - Água para dissolução de sais em dessalgadoras;
- 4 a 6% - Água potável para consumo humano;
- < 1% - Água utilizada no processo produtivo.

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), dependendo do processo industrial, a água pode

ser tanto matéria prima, incorporada ao produto final, como um composto auxiliar na preparação de matérias primas, fluido de transporte, fluido de aquecimento e/ou refrigeração ou nos processos de limpeza de equipamentos, etc.

Água de Resfriamento, é toda a água utilizada em processos de resfriamento no interior de uma refinaria de petróleo. Muitos dos processos numa unidade de refino liberam calor e a adequação desses processos às condições de produção, passa pela necessidade de etapas de resfriamento. O processo mais simples se dá pelo uso de permutadores de calor que trocam calor com a água. Para recuperação do estado anterior se utilizam Torres de Resfriamento, que liberam o calor absorvido pela água, durante o processo, para o meio externo. O consumo que se observa nesses processos são os de reposição de água nas Torres de Resfriamento, cuja perda ocorre por evaporação (grande parte) e por necessidade de purga (menor quantidade). A evaporação ocorre como processo natural do sistema, enquanto a purga, da necessidade de combater a concentração de sais, resultado da evaporação (VANELLI, 2004). Um aumento excessivo de sais pode danificar equipamentos, o que obriga a introdução contínua de água de reposição (*make-up*) no processo. O número de ciclos na recirculação de água pode ser avaliado pelo quociente entre as concentrações de um determinado íon (por exemplo: cloretos) no descarte e na água de reposição (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Para Mancuso & Santos (2003), geralmente a grande demanda industrial está associada a água de reposição em torres de resfriamento, o que corresponde a demandas elevadas. Os autores comentam que os problemas associados à qualidade da água, que se observam geralmente em sistemas de refrigeração, são incrustação, corrosão, crescimento biológico, entupimentos e formação de espumas. Esses problemas podem ser causados tanto por águas de reúso como por água fornecida pelo sistema de abastecimento público. Os dois fatores principais que devem ser controlados são a qualidade da água de reposição e o número de ciclos de recirculação.

As refinarias de petróleo utilizam vapor d'água no processo de refino e, em alguns casos, para gerar a própria energia elétrica consumida através da operação de termoelétricas. Ou seja, utilizam caldeiras para gerar o vapor necessário ao processo e à geração de energia elétrica. Esses dois casos ocorrem simultaneamente por processo de cogeração, para garantir o máximo de aproveitamento de energia. O tipo de água utilizada no processo de geração de vapor é a desmineralizada. O processo de desmineralização de água mais comum é o da troca

iônica. A desmineralização por troca iônica é o processo de remoção de minerais dissolvidos em soluções aquosas através de resinas orgânicas sintéticas. Basicamente, o sistema consiste em passar a água sem cloro por vasos de resina catiônica, vasos de resina aniônica e vasos contendo os dois tipos de resinas (chamado de leito misto). Esta mistura faz com que o vaso se comporte como uma série infinita de leitos catiônicos e aniônicos sucessivos (VANELLI, 2004).

Segundo Vanelli (2004), o vapor de água é utilizado para os seguintes fins:

- Acionamento de turbinas de grandes máquinas, como compressores, sopradores e turbo-geradores;
- Acionamento de turbinas de bombas e sopradores;
- Aquecimento de tubulações e tanques de produtos;
- Aquecimento de produtos por troca térmica;
- Injeção em torres para retificação de produtos leves;
- Fluido motriz para a geração de vácuo em ejetores;
- Purga de equipamentos para liberação e abertura para manutenção;
- Limpeza de equipamentos;
- Descoqueamento de fornos.

No caso da água para dissolução de sais em dessalgadoras, o petróleo bruto, também conhecido como óleo cru, traz, devido à sua origem, uma grande parcela de sais, que são removidos no início do processo de destilação. Esse processo ocorre com o uso de uma parcela de energia elétrica e água. O petróleo nacional, por ser produzido na bacia sedimentar marítima, possui em sua composição significativas quantidades de sais que são removidos por lavagem e decantação nas próprias plataformas produtoras. Contudo, o petróleo que chega às refinarias ainda possui algum teor de sais que devem ser removidos por um processo de eletrólise. Inicialmente é adicionada água no petróleo para a dissolução dos sais e a seguir esta água é removida através de decantação. Para promover melhor decantação da água, o petróleo é submetido a uma alta diferença de potencial elétrico (ddp), provocado por placas paralelas instaladas dentro de vasos conhecidos como “Dessalgadoras”. Esta ddp promove a aglutinação das gotículas de água, facilitando a sua decantação segundo Stuart & Blake (1993 apud VANELLI, 2004). A água decantada forma uma salmoura emulsionada com hidrocarbonetos e outros contaminantes do petróleo, que são encaminhados para tratamento na ETDI.

A água utilizada no processo produtivo representa outro exemplo de uso de água e é conhecida em algumas unidades como Água Industrial. É uma água filtrada para uso ocasional, utilizada em controles de temperatura, na limpeza e teste de equipamentos da área industrial.

2.4 REÚSO DE ÁGUA NUMA REFINARIA DE PETRÓLEO

“Reúso de água: é o aproveitamento de água previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir a necessidade de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas” (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Quanto ao reúso para fins industriais, este pode ser visualizado sob diversos aspectos conforme as possibilidades existentes no contexto interno ou externo às indústrias. Uma classificação arbitrária e auxiliar dessas modalidades são o Reúso Macroexterno, Macrointerno ou Interno Específico (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Nogueira (2007) comenta que a reciclagem ou reúso de água não é um conceito novo na história do nosso planeta. A natureza, por meio do ciclo hidrológico, vem reciclando e reutilizando a água há milhões de anos, e com muita eficiência. Já o conceito de conservação, conforme assinala Vanelli (2004), pressupõe a manutenção quali-quantitativa da água no espaço e no tempo. Do ponto de vista da sua utilização industrial busca-se contaminar a água o mínimo possível e mantê-la na planta industrial o maior tempo possível. Desta forma, o efluente somente é descartado quando a concentração de compostos químicos e/ou biológicos atingir níveis que tendem a comprometer o processo produtivo ou, os custos de tratamento se tornarem inviáveis para fins de reúso.

O reúso de águas em indústrias inclui uma grande variedade de aplicações, tais como para resfriamento, alimentação de caldeiras, água de processo, etc. A água pode ser obtida pelo tratamento dos efluentes gerados na própria indústria, dos efluentes de ETE's do sistema público ou de efluentes de outras origens. No entanto, a qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso estabelecerão o nível do tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados, os custos de capital, de operação e de manutenção associados. As

possibilidades e formas potenciais de reúso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais e disponibilidade de água (MANCUSO & SANTOS, 2003).

Normalmente, o fluxo de vapor condensado que é recuperado do processo produtivo traz consigo uma certa quantidade de partículas e óleo em suspensão, o que ocorre devido aos desgastes físicos e químicos sofridos pelos equipamentos e tubulações dos sistemas de geração, distribuição e consumo de vapor. A purificação do condensado é efetuada através de um processo de filtração que utiliza como material filtrante a celulose. A seguir, eventuais arrastes de óleo são adsorvidas em um leito de carvão ativado e então o condensado é enviado para o leito de troca iônica mista, para um polimento final, e então, encaminhado ao tanque de água desmineralizada. Durante a filtração, um aglomerante de carvão ativado é continuamente adicionado, melhorando o processo (VANELLI, 2004). Este trabalho ocorre numa unidade chamada de Estação de Tratamento de Condensado – ETC. Em virtude de suas características de água destilada, os efluentes gerados pelo sistema de distribuição e uso de vapor não devem ocasionar problemas em seu destino final, exceto nos casos em que incorporem outros contaminantes durante o uso do vapor ou transporte do condensado (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

Segundo Pombo (2011), em refinarias de petróleo, os maiores consumos de água ocorrem em torres de resfriamento e em caldeiras (para geração de vapor), correspondendo a 60-70% e 20- 30%, respectivamente. Outros usuários de água de destaque em refinarias são: a dessalgação, a destilação, o craqueamento térmico e o craqueamento catalítico (POMBO, 2011). Segundo Amorim (2005 apud POMBO, 2011), nas refinarias da Petrobras o consumo de água é distribuído da seguinte forma: reposição de água de resfriamento, 46%; água de caldeira, 26%; água de incêndio, 9%; e água potável e serviço, 19%.

De acordo com Pombo (2011) as refinarias brasileiras, tanto as existentes como aquelas em fase de projeto, possuem boas perspectivas para a aplicação do reúso de água. A expectativa é que, na REVAP, 2,6 bilhões de litros por ano sejam reaproveitados do efluente industrial. Na RECAP ele prevê o reúso de 700 milhões de litros de efluentes por ano, enquanto no COMPERJ é esperado o reúso de 15 bilhões de litros por ano. Na RNEST é esperado o reúso de 5,3 bilhões de litros por ano, contudo, estes índices podem eventualmente ser melhorados tendo em vista as melhores práticas disponíveis de racionalização do uso da água em refinarias de petróleo.

O ICA³ das refinarias de petróleo se situa na faixa de 0,7 a 1,2 m³ de água / m³ de petróleo processado, como assinala Diepoldier (1992 apud POMBO, 2011), Portanto, os dados apresentados de ICA nas refinarias da Petrobras mostram-se compatíveis com a literatura internacional, com um ICA médio de 0,9 m³ de água /m³ de petróleo processado (POMBO, 2011).

Dentre os diversos segmentos da sociedade, o setor industrial é um dos que desperta grande preocupação em relação ao problema de escassez de água, seja pela demanda excessiva ou pela poluição resultante dos lançamentos de efluentes nos corpos d'água. Em conformidade com os princípios e diretrizes globais do desenvolvimento sustentável, torna-se necessária uma mudança substancial nos padrões de produção e consumo da sociedade. Para isso é fundamental que seu desenvolvimento se dê de forma sustentável, adotando práticas como o uso racional e eficiente da água (ALMEIDA, 2010).

2.5 INTERFACES DE MONITORAMENTO DE SISTEMAS

O Plant Information® (PI) é um sistema informatizado que engloba todas as interfaces e ferramentas necessárias para apresentar em tempo real os inúmeros dados que provêm de dispositivos normalmente encontrados numa planta. Atualmente o sistema PI conta com mais de 350 interfaces para mais de 500 sistemas de controle. Usuários licenciados podem criar suas próprias aplicações fazendo uso dela. O PI possui ainda uma biblioteca de funções que pode ser utilizada a partir de linguagens de programação como C, C++, *Visual Basic*, Delphi, etc. Estas funções permitem obter e registrar valores no servidor PI, além de alterar ou obter configuração de pontos (GENENA, 2004).

Segundo Genena (2004), o Plant Information® (PI) foi desenvolvido para executar a monitoração e análise de plantas de processo, servindo como servidor de dados para aplicações cliente. Operadores, engenheiros e gerentes podem usar as aplicações clientes para visualizar os dados armazenados no servidor PI. Com esta configuração, o servidor colhe a

³ ICA - O Índice de Consumo de Água presta-se a avaliação da eficiência produtiva das refinarias levando-se em conta o consumo de água. O ICA das refinarias no mundo situa-se na faixa de 0,7 a 1,2 m³ de água / m³ de petróleo. Nas refinarias da Petrobras, o valor médio deste Índice é de 0,9 m³ de água / m³ de petróleo, possuindo grande variação entre as plantas de refino (POMBO, 2011).

informação dos “nós” de coleta de dados, que são designados para obter informação diretamente do processo de produção, e compartilha os dados com a organização, localmente e/ou remotamente. Tudo começa com a camada de informações da planta ou do processo de produção, onde o servidor PI coleta os dados de um número qualquer de fontes. Este servidor, assim como as bases de dados que estão associadas a ele, é otimizado para realizar a coleta de informações. Para operacionalização do programa cada instrumento, ou variável de processo, possui uma localização única no sistema PI conhecida como TAG, e deve ser utilizado para armazenar fluxos individuais de dados como por exemplo, o fluxo em uma tubulação, um modo de controlador em operação, um comentário em forma de texto, os resultados de um totalizador, ou qualquer função que possa ser medida pode ser capturada utilizando um TAG do PI como uma definição.

Segundo a OsiSoft® a ferramenta PI ProcessBook® é uma interface para exibição de dados atuais e históricos que residem no PI System® e outras fontes, cria exibições gráficas interativas que podem ser salvas e compartilhadas com outros usuários, alterna rapidamente entre os modos de exibição e configuração e cria tabelas dinâmicas, exposições interativas e preenche essas tabelas com dados em tempo real. Proporciona visualização de processos em tempo real, compara com eventos passados, e analisa o comportamento do processo, em qualquer Computador Pessoal local. Monitora processos de plantas exibidas para identificar a fonte de problemas do processo. Possui interface gráfica com tendências de rolagem e possibilitam o uso de ferramentas de desenho e projeto do PI ProcessBook® para exibir dados. Possui integração com aplicativos do Microsoft Office® para processar e publicar os seus dados e resultados. Pode ainda tornar as telas disponíveis para telespectadores autorizados em qualquer lugar, com uma ligação à Internet que esteja disponível.

Para Genena (2004) o PI ProcessBook® é uma aplicação que possibilita ao usuário construir e visualizar telas de processos, gráficos e valores das variáveis envolvidas. É um pacote gráfico fácil de utilizar, que permite criar gráficos dinâmicos, gráficos interativos mostrando dados em tempo real. Também permite que sejam criadas telas de processo para acompanhamento em tempo real. Já o PI DataLink®, é uma interface para o Microsoft Excel® que possibilita a visualização de valores do sistema PI de diversas formas, bem como copiá-los para uma planilha para realizar análises adicionais. As funções do PI DataLink® são acessadas dentro do Microsoft Excel® por um menu que aparece depois que o módulo é instalado. Com PI DataLink®, um usuário pode trocar informação diretamente com o banco de dados do PI. Essa ferramenta combinada com a funcionalidade da planilha eletrônica faz

com que o PI DataLink® seja um utilitário poderoso e fácil de usar por reunir, analisar e relatar dados do PI.

O Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) é o responsável pela coleta de dados tanto analógicos quanto digitais na área de produção. Os dados enviados para o SDCD pelos dispositivos de campo são os mesmos repassados em tempo real para a interface que enviará os dados para o PI. Lançado em meados da década de 70, o SDCD tinha a função de automatizar uma planta por completo, substituindo os antigos painéis dos controladores (variáveis analógicas) assim como os de relés (variáveis digitais). Os SDCD's flexibilizaram o tamanho de seus equipamentos (hardware) de forma a atender a aplicações de pequeno e médio portes e também abriram os seus sistemas, viabilizando a comunicação com qualquer hardware/software do mercado. Eles foram concebidos de forma a permitir a escalabilidade do sistema e também a operação ininterrupta dos processos, possibilitando a inclusão de cartões de Entrada e Saída (I/O-In/Out) e a redundância dos mesmos sem a parada da Unidade Central de Processamento (CPU) do sistema (GENENA, 2004). Ainda para a autora, os Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD's) têm sido usados em aplicações que exigem um controle de processo em larga escala, onde é possível rodar várias operações complexas para uma variada gama de processos diferentes. A utilização de SDCD's reduziu o uso de computadores centralizados, e, dentro deste conceito distribuiu a Interface Homem-Máquina (IHM), o controle lógico e a base de dados em diferentes placas de circuito dentro do computador, reduzindo assim o risco de falhas do sistema como um todo.

2.6 PANORAMA AMBIENTAL DO USO E REÚSO DE ÁGUA

A água é fundamental para a manutenção da vida. A água é, junto com o ar, a terra e o fogo, um dos elementos constitutivos do mundo que habitamos. A água circulou livre e abundante, alimentando a vida do planeta. E, no entanto, a “supereconomicização” do mundo transformou a abundância em escassez (LEFF, 2010). Ela ocupa 70% da superfície da terra, sendo a maior parte (97%) salgada. Dos 30% de água doce, menos de 1% vai para os rios, ficando disponível para o uso. O restante está nas geleiras, icebergs e em solos muito profundos. Até 2009, cerca de 250 milhões de pessoas já haviam enfrentado a escassez da água. Nos próximos 25 anos prevê-se que este número deverá saltar para 3 bilhões de pessoas,

(PIRES, FEIJÓ & LUIZ, 2009).

Dadas as circunstâncias e conforme nos é imposto, o modelo atual da sociedade de consumo inaugurado na revolução industrial, baseado na satisfação de necessidades, revela que a forma e quantidade de consumo levará a um colapso planetário. Não há recursos naturais capazes de satisfazer a população consumidora, em sua demanda por produtos e serviços (MANCUSO & SANTOS, 2003).

“Um dos primeiros passos para que os conflitos pelo uso da água sejam solucionados é a quebra do paradigma de abundância que se estabeleceu no Brasil. Isso requer que os usuários compreendam que a água é um recurso limitado, dependente dos processos naturais para sua autodepuração, os quais são lentos se comparados à capacidade dos seres humanos de gerar poluição” (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

Mierzwa & Hespanhol (2005) relataram também que a água é fundamental para o desenvolvimento de várias atividades, mas para que isso ocorra de forma harmoniosa, a disponibilidade dos recursos deve exceder significativamente as demandas. À medida que a disponibilidade hídrica vai diminuindo em relação à demanda, a probabilidade de estresse ambiental e de conflitos entre os diversos usuários se acentua. É importante ressaltar que os fluxos naturais das águas foram reconduzidos para potencializar suas energias, abalando os ecossistemas, inundando territórios, afetando populações (LEFF, 2010).

A despeito do que comentam Mierzwa & Hespanhol (2005), como a quantidade de água que existe no planeta é praticamente constante, a disponibilidade específica, ou seja, de água propícia para o consumo humano, tende a diminuir com o passar do tempo, devido ao aumento da população, provocando conflitos pelo uso da água. A poluição dos recursos hídricos pelo lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais também ajuda a acentuar os problemas de escassez de água.

Telles & Costa (2010) relataram que o consumo de água por atividade distingue três áreas, a agricultura, considerada a mais dispendiosa, seguida pela indústria e finalizando com as atividades urbano-domésticas, na seguinte proporção: 61 a 66% para a agricultura, 25 a 27% para a indústria e 9 a 12% para as atividades urbano-domésticas. No caso das indústrias relataram que, em razão de suas diferentes atividades e tecnologias, possuem uma diversificada gama de usos, tais como: matéria-prima, reagente, solventes, lavagens de gases e sólidos, veículo, transmissão de calor, agente de resfriamento, fonte de energia, entre outros.

Segundo os autores, espera-se que cada vez mais indústrias percebam a importância das medidas de reúso e uso racional de água, contribuindo assim para que os problemas ambientais, não apenas de escassez, mas também de contaminação de água e solo, sejam minimizados, tornando a indústria progressivamente mais sustentável.

Como assinala Leff (2010), a poluição e a falta de água aparecem, juntamente com o aquecimento da atmosfera, a perda da biodiversidade e a desertificação das terras, como fator crítico da sustentabilidade do planeta. Portanto, a racionalização do uso e reúso da água pode ser considerado uma alternativa apropriada para enfrentar o problema de escassez de água e poluição dos recursos hídricos (MIERZWA & HESPANHOL, 2005). Dadas as possibilidades e avanço de estudos, ganha importância a prática de tratamento de efluentes e seu reúso, objetivando redução de consumo de água, eliminando custos e propiciando benefícios ambientais, reduzindo-se o lançamento de efluentes in natura em corpos hídricos (PIRES, FEIJÓ & LIUZ, 2009).

Nogueira (2007) chama a atenção para o fato de que as necessidades futuras de água para atendimento ao crescimento da população e das atividades econômicas de forma ambientalmente sustentável, dentro das bases atuais, já estão comprometidas. Mierzwa & Hespanhol (2005) são incisivos ao afirmar que a escassez da água é uma realidade não apenas nas áreas de climatologia desfavorável, mas também nas regiões altamente urbanizadas, como é o caso das principais áreas metropolitanas, o que remete aos acontecimentos atuais.

Segundo Leff (2012), a crise ambiental é sobretudo um problema do conhecimento, que leva a repensar o ser do mundo complexo, a entender suas vias de complexificação, para, a partir dali, abrir novas vias do saber no sentido da reconstrução e da reapropriação do mundo. Essa crise ambiental é uma crise de civilização produzida pelo desconhecimento do conhecimento. O conhecimento já não representa a realidade; pelo contrário, constrói uma hiper-realidade na qual se vê refletido. O saber ambiental não é a retotalização do conhecimento a partir da conjunção interdisciplinar dos paradigmas atuais. Pelo contrário, é um saber que, a partir da falta de conhecimento das ciências, problematiza os paradigmas científicos para “*ambientalizar*” o conhecimento, para gerar um feixe de saberes nos quais se entrelaçam diversas vias de sentido.

Estes problemas têm feito do uso racional dos recursos hídricos um tema atual e de grande importância, configurando-se em uma alternativa promissora para minimizar a

demanda dos recursos hídricos (Nogueira, 2007). Mierzwa & Hespanhol (2005) apontam para uma direção comentando que a racionalização do uso e reúso da água tornam-se elementos essenciais de garantia à continuidade das atividades humanas, diante desse cenário de escassez de recursos hídricos.

“A conservação de recursos e de energia são formas de prevenção da poluição e o principal objetivo de qualquer iniciativa é reduzir os impactos ambientais inerentes a todo o ciclo de vida do produto. As questões relacionadas ao consumo de água e gerenciamento de efluentes também devem avaliadas com base no conceito de prevenção da poluição, que é, sem sombra de dúvida, a maneira mais lógica e racional de se trabalhar em qualquer atividade, já que abrange todos os princípios de um programa saudável de gerenciamento ambiental” (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

Os órgãos de controle ambiental, a despeito de sua efetiva responsabilidade, precisam ter referenciais de técnicas e sistemas que tenham se mostrado efetivamente eficazes desde a sua concepção ou que tenham sido modificados ou aprimorados para atender as suas funcionalidades. Segundo Brito & Câmara (2002), referindo-se à importância da proteção dos recursos naturais, alertam para o fato de que “há que ser editadas medidas severas a fim de que as indústrias busquem adequar suas tecnologias e equipamentos às necessidades de conservação da natureza”.

“É nesse sentido que se levantam as represas do pensamento e da ação social, para que as águas corram para fertilizar a terra e as culturas, para que a água continue sendo o plasma da vida, um bem comum da humanidade e um direito inalienável dos povos que habitam a terra.” (LEFF, 2010)

Segundo Leff (2010), a construção de um futuro sustentável, implica pensar a abertura da história, a libertação da ordem “coisificadora” e “supereconomicisadora” do mundo. Aponta para a criatividade humana, a mudança social e a construção de alternativas. Pires, Feijó & Luiz, (2009) acrescentam que a água é a essência da vida, e ela é encontrada desde o útero materno até os grandes mares do planeta, e que ela sacia nossa sede, forma paisagem, limpa o ar, umedece o solo, purifica nosso espírito e possibilita a vida no planeta.

3 METODOLOGIA

A água é muito importante para uma Refinaria de Petróleo. Ela está presente em todas as etapas de um processo de refino, desde os sistemas mais simples, como trocadores de calor resfriados a água e arrefecimento de produtos acabados, até os sistemas mais complexos, como o uso do vapor em caldeiras para geração de energia elétrica e força motriz para turbinas.

A unidade objeto de pesquisa foi a Refinaria Abreu e Lima - RNEST, Unidade de Operações da Petrobras, em operação desde dezembro de 2014, localizada no município de Ipojuca, cidade situada no litoral sul do estado de Pernambuco (fig. 1) e pertencente à Região Metropolitana do Recife.

Figura 1 – Mapa de localização da RNEST



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/@-12.080941,-76.3429632,4z>, 2015

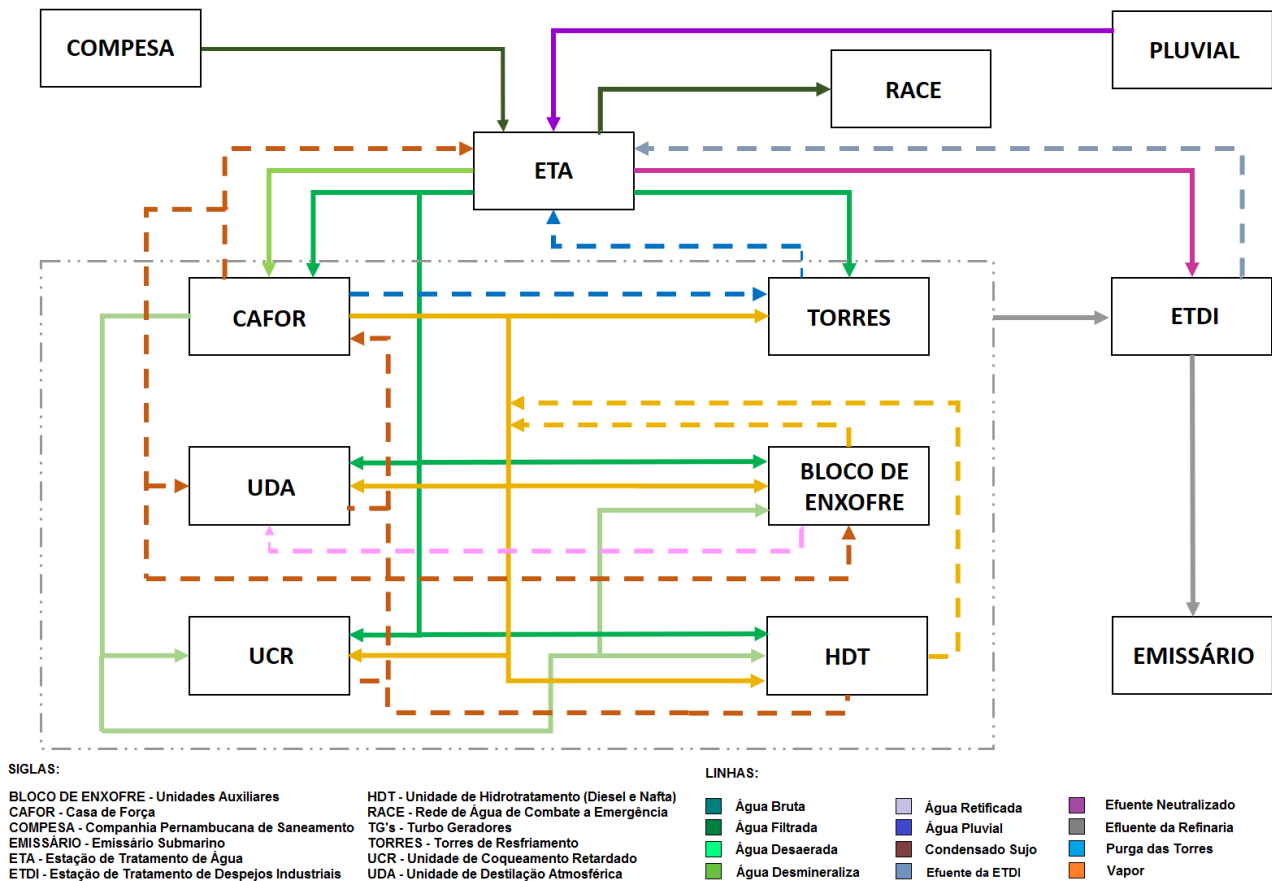
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DE ÁGUA DE USO E REÚSO DAS PRINCIPAIS UNIDADES CONSUMIDORAS DE ÁGUA DA RNEST

Por meio de solicitação interna à empresa Petrobras, foi realizado o acesso as suas instalações e à sua documentação de projeto, salvaguardando-se todos os critérios internos de sigilo industrial e o respeito às Políticas Internas da Companhia, tendo ainda o compromisso de disponibilizar os resultados desta pesquisa à Empresa, de forma a contribuir para a melhoria contínua e otimização de seus processos.

Foi realizado um estudo de reconhecimento do fluxo de água de uso e reúso da RNEST com o uso dos fluxogramas de processo, memoriais descritivos do projeto e manuais de operação. Foram realizadas ainda, visitas às instalações para verificação no local, das condições operacionais e de funcionamento de instrumentos de medição de fluxo de água.

O processo esquematizado, na figura 2, foi o passo inicial para interpretação do fluxo que se inicia com o fornecimento de água bruta por adutora operada pela Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, captada dos rios Bita, Utinga e Ipojuca. A água, nesse ponto denominada “Água Bruta”, é recebida e armazenada em três tanques atmosféricos abertos, conhecidos como Tanques de Água Bruta, responsáveis pela alimentação da ETA, e o suprimento de toda a rede de água de combate a incêndio da refinaria. Na ETA, foi verificado que a água passa por várias instâncias de tratamento, e o primeiro deles tem como produto a água filtrada, já com qualidade para atender a um seguimento da refinaria. Parte da água filtrada é submetida a um processo de desmineralização, para atender aos critérios de utilização dessa água em caldeiras. Outros processos também acontecem em subsistemas presentes na ETA, porém voltados para questões de reúso, tais como: Estação de Tratamento de Condensado - ETC, Tratamento de Purga das Torres e Tratamento de Efluente da Estação de Tratamento de Despejos industriais - ETDI. Essas características de tratamento fazem, da ETA, a principal unidade de tratamento e distribuição de água da refinaria.

Figura 2 – Esquema do fluxo de água de uso e reúso na RNEST



Fonte: Autor, 2015

As primeiras unidades a receber água da ETA são as Torres de Resfriamento (Torres). Elas recebem água filtrada, sendo o maior consumidor desse produto. A água filtrada que chega nas torres de resfriamento é recebida para reposição das perdas que ocorrem por evaporação, arraste e purga.

Outras unidades fazem parte do circuito da água dentro da refinaria, dentre elas, a Casa de Força – CAFOR. A CAFOR possui tanques de armazenagem de água desmineralizada, que servem de reserva para a garantia e controle de suas atividades. Ainda na CAFOR, a água desmineralizada passa por um processo de desaeração para então seguir para uso nas caldeiras e distribuição para outras unidades de processo da refinaria. Tanto a CAFOR, quanto as unidades de processo são dotadas de sistemas que permitem a recuperação do condensado proveniente do vapor de água.

As unidades de processo, dependendo da sua natureza, podem ter como efluente, águas residuárias. Para tanto essas unidades estão interligadas, ora por tubulações, ora por

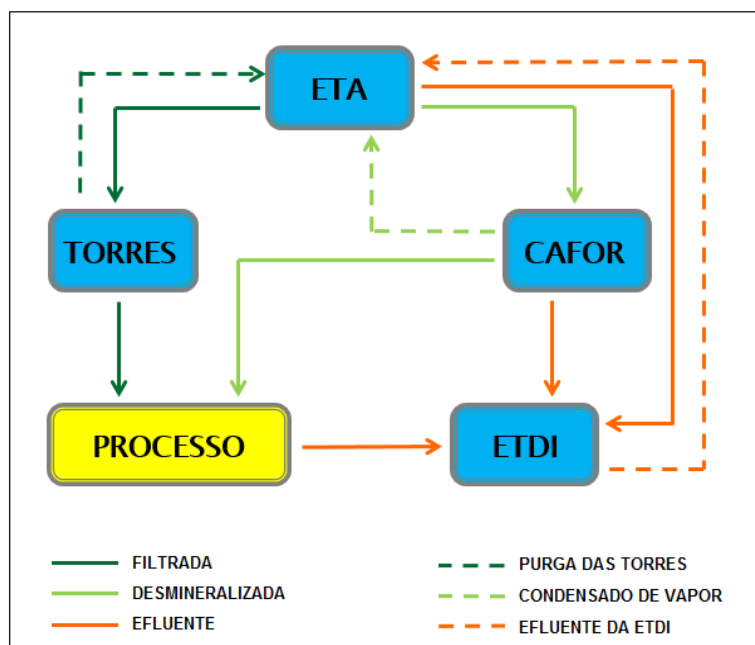
canaletas à Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI, que tem como foco a recuperação para o reúso de águas residuárias de toda a refinaria. Essa unidade se interliga, no fim de todo o seu processo, à ETA, fechando o que pode ser chamado de ciclo de reúso.

3.1.1 DEFINIÇÃO DOS LOCAIS DE MONITORAMENTO DE USO E REÚSO DE ÁGUA NA RNEST

As unidades monitoradas foram aquelas de tratamento e distribuição de água na refinaria: Estação de Tratamento de Água - ETA, Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI, Torres de Resfriamento - Torres e Casa de Força – CAFOR, utilizando os instrumentos de medição de vazão localizados nos limites entre estas unidades e as unidades de processo. A escolha das unidades se deu a partir da representação da vazão de água (m³/h) em gráfico de Pareto, utilizando o software Excel®.

As unidades operacionais selecionadas para monitoramento de vazão de água de uso e reúso estão esquematizadas na figura 3. Uma vez configurados todos os instrumentos de medição de vazão, ocorria a disponibilidade de dados no sistema de interface PI para análise e acompanhamento da variável escolhida. Foi então realizada uma busca por títulos e a localização dos instrumentos de vazão relacionados à água em toda a refinaria e que estivessem já catalogados no PI. De um total de 90.000 (noventa mil) instrumentos, foram encontrados 1.820 (um mil e oitocentos e vinte) instrumentos de vazão, sendo 285 (duzentos e oitenta e cinco) de água, dos quais foram selecionados para a avaliação do sistema de uso e reúso de água da RNEST 51 (cinquenta e um) instrumentos, localizados desde a entrada da água bruta até os limites de interligação dos consumidores nas unidades de processo foram monitorados.

Figura 3 – Esquema simplificado do fluxo de águas da RNEST



Fonte: Autor, 2015

3.1.1.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA

A Estação de Tratamento de Água - ETA da RNEST é composta por nove (09) subsistemas:

- Sistema de Água Filtrada;
- Sistema de Tratamento de Lodo;
- Sistema de Tratamento de Água Pluvial;
- Sistema de Tratamento e Reúso de Purgas de Torres de Resfriamento;
- Sistema de Tratamento e Reúso de Efluente da ETDI;
- Sistema de Desmineralização por Eletrodíálise Reversa;
- Sistema de Desmineralização por resinas trocadoras de íons;
- Sistema de Tratamento de Condensado de Vapor;
- Sistema de Produtos Químicos e Cloração.

A tabela 1 mostra detalhes de identificação (TAG) com a localização dos instrumentos selecionados para o monitoramento da ETA. Na figura 4, é representada a ETA da RNEST, com apresentação, em ordem numérica, dos pontos de vazão escolhidos para o processo de monitoramento.

Tabela 1 – Variáveis de projeto definidas para a ETA

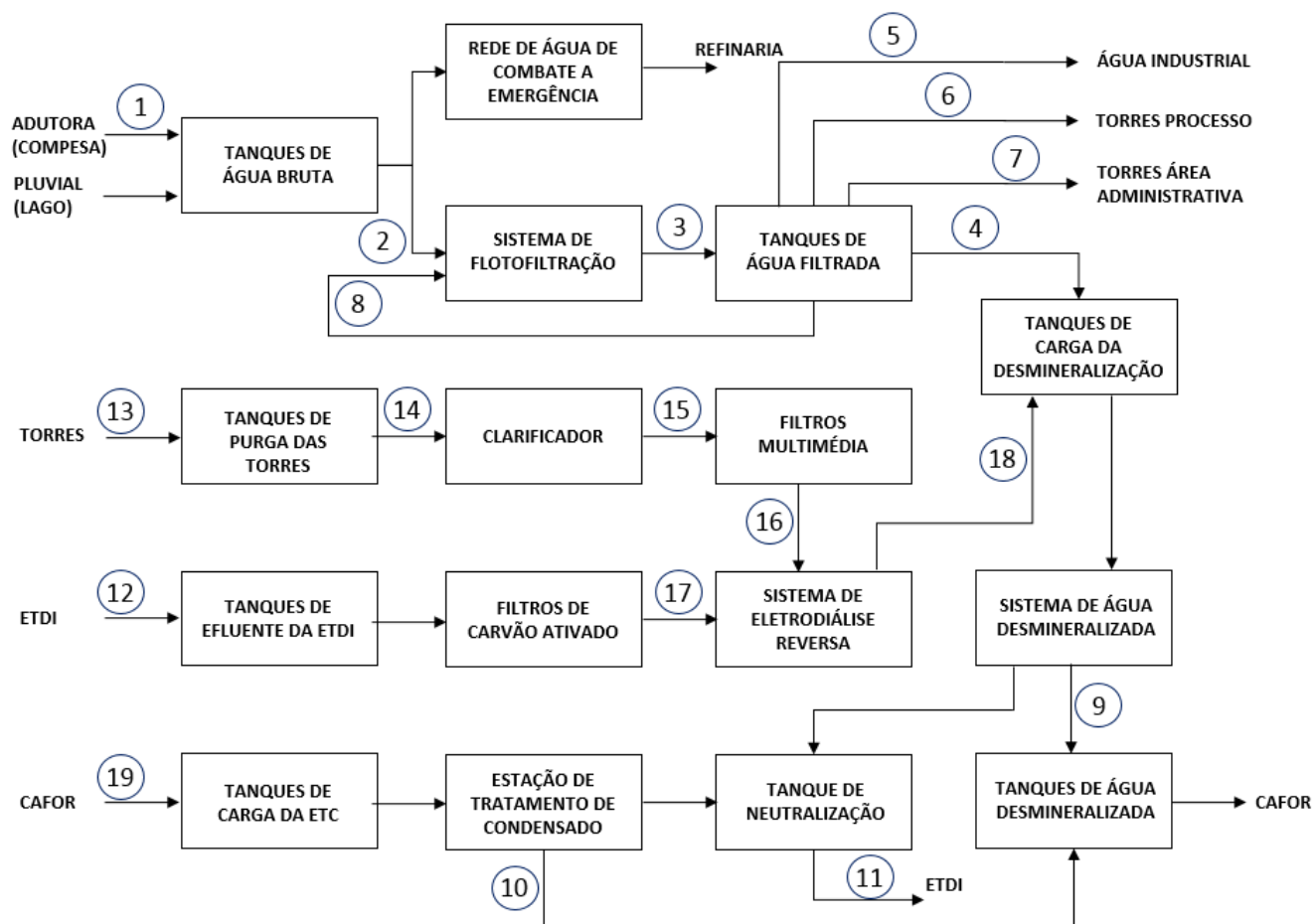
PRODUTO	Nº	IDENTIFICAÇÃO (TAG)	DEFINIÇÃO	LOCALIZAÇÃO
Água Bruta	1	FI-519001	Entrada de Água Bruta (COMPESA)	Adutoras
	2	FI-510001	Entrada de Água Bruta na ETA	Limite de Bateria da ETA
Água Filtrada	3	FI-510008	Produção de Água Filtrada	Descarga das Bombas B-
	4	FI-510009	Entrada de água filtrada para desmineralização	Entrada dos Tanques TQ-51701/02
	5	FI-600023	Uso de Água Industrial	Descarga das Bombas B-
	6	FI-600005	"Make-up" das Torres da Área Industrial	Descarga das Bombas B-
	7	FI-600022	"Make-up" das Torres da Área Administrativa	Descarga das Bombas B-60015A/B
Água de Contralavagem	8	FI-510006	Água de Contralavagem dos Flotofiltros	Descarga das Bombas B-51106A/B
Água Desmineralizada	9	FI-510199	Produção de Água Desmineralizada (Desmi)	Saída dos Vasos V-
	10	FI-580029	Produção de Água Desmineralizada (ETC)	Saída dos Vasos V-58004A/B/C/D
Efluente da ETA	11	FI-510200	Tanque de Neutralização para Caixa Final	LB da ETA
Efluente da ETDI	12	FI-510031	Efluente da ETDI para ETA	LB da ETA
Purga das Torres	13	FI-510020	Transferência para a ETA	Chegada nos Tanques TQ-51501/2
	14	FI-510021	Dos tanques de carga para os clarificadores	Entrada dos clarificadores
	15	FI-510207	Clarificado do sistema de purga das torres	Saída dos clarificadores
	16	FI-510300	Produto do tratamento de purga das torres	Saída dos filtros de carvão ativado
Carga da EDR	17	FI-510048	Entrada da EDR	Entrada dos Stacks
Produto da EDR	18	FI-510104	Produção da EDR	Descarga das Bombas B-
Condensado Sujo	19	FI-580001	Chegada de Condensado Sujo para a ETA	Chegada nos Tanques TQ-58001/2

EDR: Eletrodíálise Reversa; ETA: Estação de Tratamento de Água; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais;

FI: Indicador de Fluxo; LB: Limite de Bateria.

Fonte: Autor, 2015

Figura 4 – Esquema da Estação de Tratamento de água – ETA



CAFOR: Casa de Força; ETC: Estação de Tratamento de Condensado; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; Torres: Torres de Resfriamento.

Fonte: Autor, 2015

3.1.1.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS – ETDI

A Estação de Tratamento de Despejos Industriais - ETDI da RNEST é alimentada, basicamente, por dois sistemas: Sistema Contaminado e Sistema Oleoso. O sistema de drenagem de água contaminada, que eflui para a ETDI, é formado por canaletas de concreto que passam pelas Tubovias⁴ alimentando uma canaleta principal de encaminhamentos dessas drenagens para a ETDI. O sistema de drenagem oleosa, oriundo das áreas de processo, é formado por tubulações de ferro fundido que desaguam numa tubulação principal e também tem como ponto final a ETDI. Na tabela 2 são apresentados detalhes de identificação e

⁴ Tubovias – Vias de tubulação, canaletas e outras interligações entre unidades de processo de uma planta industrial. É bastante comum nas indústrias petroquímicas.

localização dos instrumentos selecionados para o monitoramento das vazões de água de uso e reúso da ETDI. A figura 5 representa as etapas dos processos realizados na ETDI da RNEST. Nela, estão alocados, em ordem numérica, os pontos de monitoração de vazão.

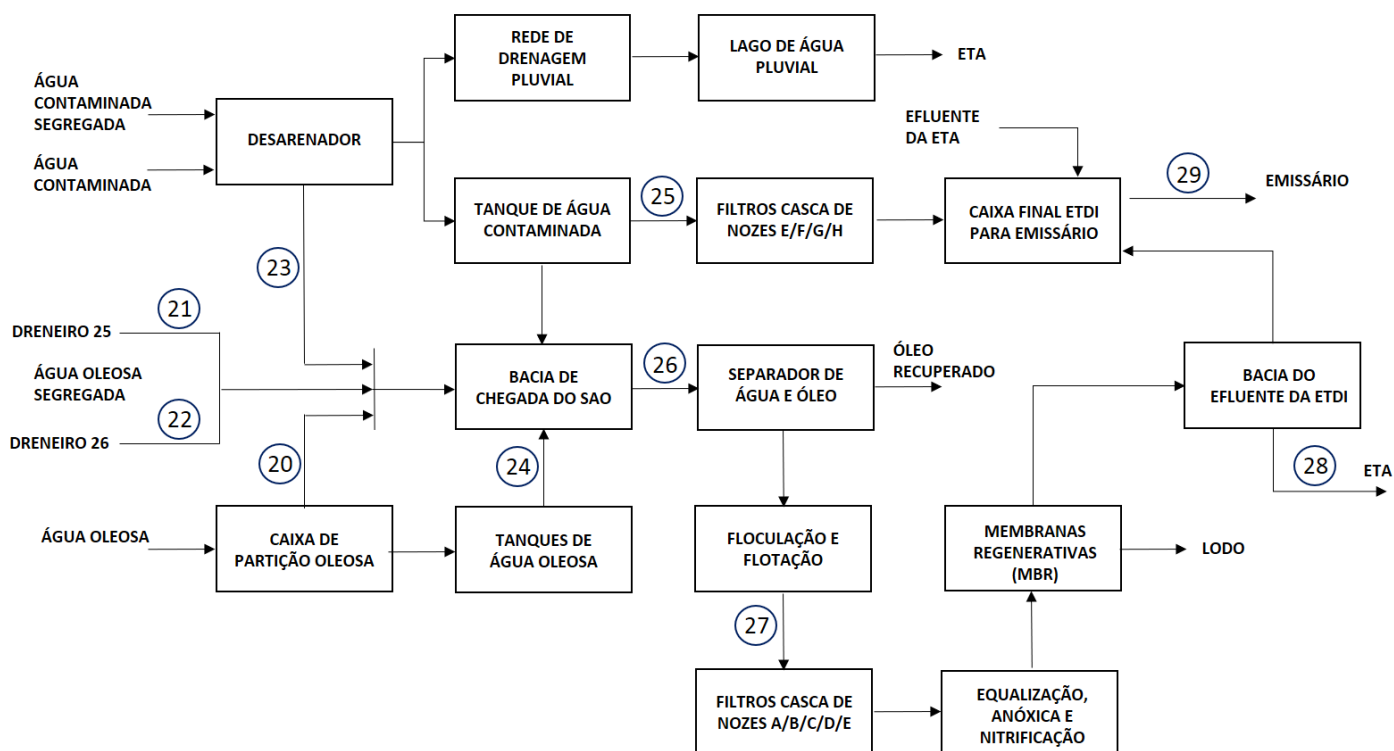
Tabela 2 – Variáveis de projeto definidas para a ETDI

PRODUTO	Nº IDENTIFICAÇÃO (TAG)	DEFINIÇÃO	LOCALIZAÇÃO
Correntes de Chegada	20	FI-900002	Água Oleosa
	21	FI-620701	Água Oleosa Segregada
	22	FI-620702	Água Oleosa Segregada
	23	FI-900001	Água Contaminada
	24	FI-900003A	Esvaziamento do TAO e TAC
	25	FI-900003B	Esvaziamento
Entrada do SAO	26	FI-900100A	Separação de Água e Óleo
Entrada Casca de Nozes	27	FI-900304	Polimento do sistema oleoso
Efluente para a ETA	28	FI-900419	Efluente para Reuso na ETA
Efluente Final Tratado	29	FI-660074	Saída de Efluente para Emissário

ETA: Estação de Tratamento de Água; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; FI: Indicador de Fluxo; LB: Limite de Bateria; SAO: Separador de Água e Óleo; TAC: Tanque de Água Contaminada; TAO: Tanque de Água Oleosa

Fonte: Autor, 2015

Figura 5 – Esquema da Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI



DRENEIRO: Tanque Drenario; ETA: Estação de Tratamento de Água; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; SAO: Separador de Água e Óleo

Fonte: Autor, 2015.

3.1.1.3 SISTEMA DE TORRES DE RESFRIAMENTO - TORRES

A RNEST possui um sistema de água de resfriamento composto por 3 (três) conjuntos sendo uma torre para cada conjunto. A primeira torre é destinada a CAFOR, contém nove (9) células de resfriamento. A segunda torre destina-se às unidades de processo, contém seis (6) células, e uma terceira torre, com obras iniciadas, para atender às novas unidades que estão em processo de construção. As torres de resfriamento possuem dois sistemas importantes para o objeto de estudo, que são: Sistema de Purgas das Torres e Sistema de Água de Reposição (make-up). Na tabela 3 constam os detalhes de identificação e localização dos instrumentos selecionados para o monitoramento, enquanto na figura 6, que representa o esquema funcional das torres de resfriamento, estão também indicados, numericamente, os pontos de medição de vazão escolhidos para a monitoração.

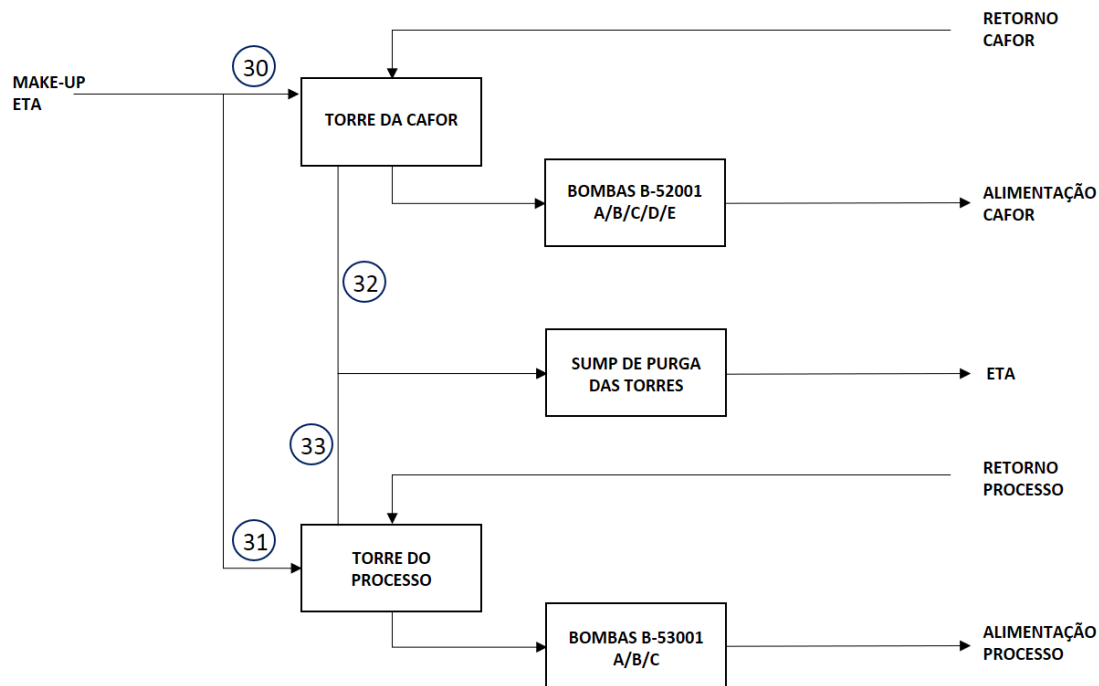
Tabela 3 – Variáveis de projeto definidas para as Torres de Resfriamento

PRODUTO	Nº	IDENTIFICAÇÃO (TAG)	DEFINIÇÃO	LOCALIZAÇÃO
Make-up de Torres	30	FI-520013	Make-up Torre TR-52001	Alimentação da Torre TR-52001
	31	FI-530004	Make-up Torre TR-53001	Alimentação da Torre TR-53001
Purga das Torres	32	FI-520012	Purga da Torre TR-52001	Saída da Torre TR-52001
	33	FI-530003	Purga da Torre TR-53001	Saída da Torre TR-53001

FI: Indicador de Fluxo

Fonte: Autor, 2015

Figura 6 – Esquema funcional das Torres de Resfriamento



CAFOR: Casa de Força; ETA: Estação de Tratamento de Água; Torre: Torre de Resfriamento.

Fonte: Autor, 2015.

3.1.1.4 CASA DE FORÇA - CAFOR

A Casa de Força - CAFOR é a unidade da refinaria responsável pelo sistema de produção e distribuição de vapor para geração de energia elétrica, uso em turbo-bombas, turbo-compressores e para uso geral nas unidades de processo. Com relação à água, encontram-se na CAFOR as seguintes funcionalidades:

- Carregamento e Estocagem de Água Desmineralizada;
- Sistema de Distribuição de Água Desmineralizada;
- Sistema de Desaeração;
- Sistema de Distribuição de Água Desaerada;
- Retorno do condensado bombeado dos Turbo-geradores.

A tabela 4 mostra detalhes de identificação e localização dos instrumentos

selecionados para o monitoramento da CAFOR.

Tabela 4 – Variáveis de projeto definidas para a CAFOR

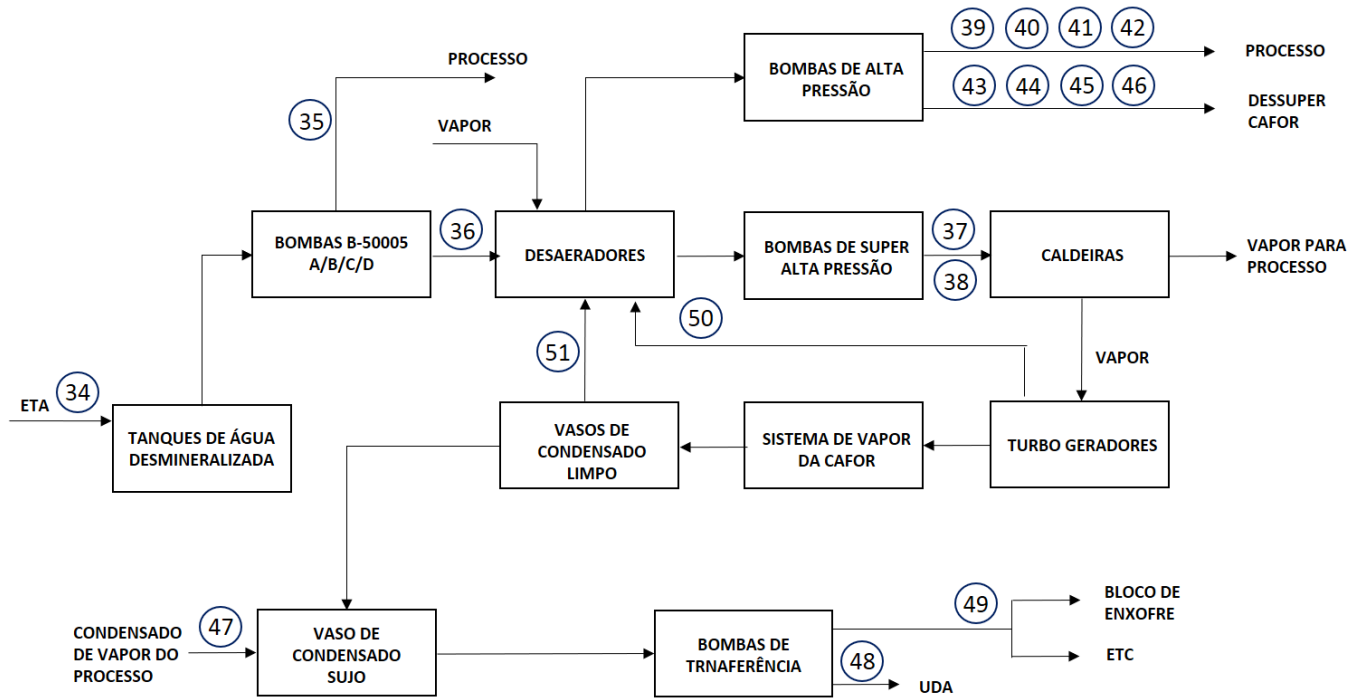
PRODUTO	Nº	IDENTIFICAÇÃO (TAG)	DEFINIÇÃO	LOCALIZAÇÃO
Água Desmineralizada	34	FI-500055	Chegada da Água Demineralizada	LB da CAFOR
	35	FI-210683	Transferida para fluido de barreira	Chegada do Coque
	36	FI-500020	Transferida para Desaeradores	Descarga das bombas B-
Água Desaerada	37	FI-501101	Alimentação de Caldeiras	Entrada GV-50001A
	38	FI-502101		Entrada GV-50001B
	39	FI-210115		Chegada no Coque
	40	FI-350008	Transferência para Processo	Chegada na UGH
	41	FI-330184		Chegada no HDT de Nafta
	42	FI-310912		Chegada no HDT de Diesel
	43	FI-500033	Usada em Dessuperaquecimento	Descarga Intermediária da B-50002A
	44	FI-500034		Descarga Intermediária da B-50002B
	45	FI-500035		Descarga Intermediária da B-50002C
	46	FI-500036		Descarga Intermediária da B-50002D
Condensado Sujo	47	FI-500056	Chegada de Condensado Sujo na CAFOR	LB da CAFOR
	48	FI-110423	Transferência para a UDA	LB da UDA
	49	FI-500038	Transferência para a ETA e Bloco de Enxofre	LB da CAFOR
Condensado Limpo	50	FI-500021	Condensado Limpo para Desaerador	Saída do TG-50001A (Turbo Gerador)
	51	FI-500037		Saída dos Vasos V-50002A/B

CAFOR: Casa de Força; ETA: Estação de Tratamento de Água; FI: Indicador de Fluxo; HDT: Hidro-tratamento; LB: Limite de Bateria; UDA: Unidade de Destilação Atmosférica; UGH: Unidade de Geração de Hidrogênio.

Fonte: Autor, 2015

A figura 7 representa o esquema funcional do sistema de água presente na CAFOR, representando o principal insumo para a geração de vapor.

Figura 7 – Esquema funcional do Sistema de Água da Casa de Força – CAFOR



CAFOR: Casa de Força; ETA: Estação de Tratamento de Água; ETC: Estação de Tratamento de Condensado; UDA: Unidade de Destilação Atmosférica

Fonte: Autor, 2015.

3.1.1.5 UNIDADES DE PROCESSO

As unidades de processo representam a clientela usuária de água da refinaria. O monitoramento das águas de uso e reúso, neste caso, se deu através de instrumentos localizados nos limites de bateria (interligação) das próprias unidades de distribuição já citadas nos itens 3.1.1.1 a 3.1.1.4. A identificação em separado, por unidade consumidora, não acrescentaria informações relevantes para a medição, objeto de estudo, e não foram monitoradas separadamente.

3.2 ELABORAÇÃO DE TELAS DE INTERFACE, UTILIZANDO O PROGRAMA PLANT INFORMATION® - PI, PARA MONITORAMENTO DAS VAZÕES DE ÁGUAS DE USO E REÚSO

O software utilizado para o monitoramento das medidas de vazão das águas de uso e reúso foi o Plant Information® - PI (de propriedade da OSIsoft® - USA), que é um sistema que engloba todas as interfaces e ferramentas necessárias para apresentar em tempo real os inúmeros dados que provêm dos dispositivos encontrados numa planta industrial. Atualmente o sistema PI conta com mais de 350 interfaces para mais de 500 sistemas de controle. Usuários licenciados podem criar suas próprias aplicações fazendo uso dessa plataforma (GENENA, 2004).

Para possibilitar constante avaliação dos pontos monitorados e verificação do desempenho dos sistemas de uso e reúso de água nos locais de monitoramento previamente definidos no item 3.1.1, o processo de criação das telas baseou-se na setorização da refinaria. Foram criadas 5 (cinco) telas, utilizando a interface PI ProcessBook®, sendo uma tela para cada setor avaliado, e mais uma tela de visão geral do processo. As unidades de processo tiveram sua representação nos limites de bateria das próprias unidades de distribuição de água como explicado anteriormente. As telas configuradas implicaram na caracterização de posição de sistemas e/ou equipamentos, associados aos seus instrumentos de medição de vazão, de forma a possibilitar uma visão macro e sistêmica das unidades, no tocante aos sistemas de uso e reúso da água.

Foi realizado um estudo de identificação das principais demandas de água e geração de efluentes na RNEST. Conforme assinalam Mierzwa & Hespanhol (2005), este estudo é conhecido como balanço hídrico, e contém informações relevantes para o início das atividades de racionalização do uso da água, sem considerar os aspectos relacionados à sua qualidade e a composição dos efluentes. Uma empresa, de posse de dados detalhados dos fluxos de água, tem uma ferramenta poderosa para iniciar programas de redução de consumo de água através da otimização dos processos (NOGUEIRA, 2007). A caracterização dos locais de medição e sua alocação nas telas de monitoração, se deu com base na observação do comportamento das vazões de água de uso e reúso na refinaria, num período de 6 (seis) meses, especificamente de 01/04 a 30/09/2015. Neste período foi verificado o comportamento dos sistemas durante os

momentos de parada de processos da refinaria. Foi escolhido então, para os cálculos de balanço hídrico da refinaria, o momento compreendido entre os dias 1/11 a 15/11/2015, por ser considerado, à luz dos dados, um período de considerável estabilidade da planta, o que melhor caracteriza as relações de dados numéricos, quando então tomou-se como referência o valor médio das vazões de água registradas nesse período.

Para a configuração das vazões de água, durante o processo de elaboração das telas, foram criados campos numéricos para indicação direta, indicadores gráficos auxiliares do tipo “barras animadas” (bargraph), e gráficos de tendência (trend) para acompanhamento de variações e alterações das condições de processo, com base no balanço hídrico. Foram configurados alarmes, capazes de sinalizar possíveis desvios instantâneos permitindo-se uma visão rápida de forma a facilitar a atuação nos casos divergentes das condições normais de operação ainda na fase de implantação desse sistema. Foram ainda definidos valores mínimo e máximo de representação das vazões, para melhor visualização e após comparação com as condições previstas em projeto. Os alarmes, em alguns casos, foram associados a baixas vazões de reúso e, em outros, à altas vazões de consumo e, nas demais situações, foram relacionados a cálculos de balanço hídrico para verificação de autonomia de processo.

3.2.1 MEDIÇÃO DE VAZÃO DE ÁGUA DE USO E REÚSO INDUSTRIAL

Para melhor entendimento do sistema de controle foi verificada a documentação de projeto, em especial os fluxogramas de processo, para entender como a água, inicialmente tratada na ETA, é distribuída por toda a refinaria. Os fluxogramas revelaram que, para efeito de controle de processo, toda a rede é monitorada/acionada de acordo com a necessidade de cada etapa, contendo instrumentos, no caso da água, para medidas de vazão, pressão e temperatura. A nomenclatura existente no projeto indicou que alguns componentes dessa instrumentação estão interligados ao SDCD⁵, que é uma rede de processamento de dados capaz de centralizar toda essa informação em tempo real. Estes mesmos dados, uma vez configurados, também ficam disponibilizados em um sistema de interface chamado Plant Information® - PI, descrito anteriormente no item 2.5.

Uma vez verificados os fluxogramas de processo, para entendimento do sistema de

⁵ SDCD – Sistema Distribuído de Controle Digital, fornecido pela Invensys e instalado na Refinaria Abreu e Lima. É utilizado para o controle de processo, acionamento de motores e máquinas.

controle, foram elencados como mais representativos para o objeto de estudo os instrumentos de vazão. Partiu-se então para a realização de um mapeamento desses instrumentos e a verificação de sua interligação à rede SDCD e, conseqüentemente, ao Plant Information® - PI. A vazão é definida como a quantidade de fluido que passa pela seção reta de um duto, por unidade de tempo. O fluido pode ser líquido ou gasoso e também pode ser medido em volume (vazão volumétrica – m³/h) ou em massa (vazão mássica – kg/h) (NOGUEIRA, 2007). Durante a análise dos projetos foram identificados quais os instrumentos de vazão precisariam, necessariamente, ter indicação de vazão mássica ou volumétrica no processo, considerando-se para isso aspectos inerentes aos próprios processos, tais como: Pressão de operação, volume a ser medido, velocidade do fluido e temperatura de produto.

A identificação e seleção dos instrumentos de medição de vazão de água de uso e reúso industrial nas unidades a serem monitoradas foi realizada utilizando-se, além da pesquisa documental nos fluxogramas de processo, uma inspeção visual para verificação da real existência dos mesmos, e sua disponibilidade na rede de comunicação interligada ao PI. Para a escolha dos instrumentos também foi tomada como referência a ferramenta digital Plant Information® (PI) enquanto a escolha dos instrumentos de vazão se deu diretamente através de busca no catálogo de registro da ferramenta disponível na RNEST.

Dentre os instrumentos de medição de vazão pesquisados, foram escolhidos aqueles instalados que melhor representassem os pontos de monitoramento a serem utilizados no mapeamento, objeto de estudo. O objeto de estudo teve teor quantitativo e foi definida a leitura dos instrumentos de vazão em “metro cúbico por hora” (m³/h), ou seja, a vazão volumétrica. A água de uso na Refinaria foi reconhecida por sua designação industrial em: água bruta, água filtrada, água desmineralizada, água desaerada, etc. Quanto à água de reúso, sua designação dependeu da fase do processo em que ela foi disposta para tratamento, por exemplo: água contaminada, água oleosa, purga das torres, condensado de vapor, etc.

Foi identificado, em toda a unidade industrial da RNEST, que foram instalados instrumentos de vazão com princípios de funcionamento que diferem quanto à sua aplicação. Dentre os medidores de vazão escolhidos para o monitoramento, predominou a existência de três tipos de medidores quanto ao princípio de funcionamento. Foram eles: Placas de orifício, Medidor Magnético e Calha Parshall.

A Placa de orifício baseia-se no diferencial de pressão produzido em um fluido quando

se estabelece o fluxo. A placa causa uma redução na área da seção e, de acordo com a Lei de Bernouli, colocada na tubulação uma placa metálica perfurada e instalada de forma perpendicular à direção, um aumento da velocidade média do fluido é provocada. Como consequência disso, ocorre uma queda de pressão após o elemento. A diferença entre as pressões de entrada e de saída medidas é proporcional ao quadrado da vazão instantânea (NOGUEIRA, 2007). O conjunto é formado por dois elementos, onde o primeiro é o elemento primário, alocado na tubulação em que se deseja medir a vazão. Esse elemento fornece dois pontos de medição de pressão, um a montante e outro a jusante do elemento de restrição. A figura 8 mostra detalhes de uma placa de orifício e a figura 9 refere-se a uma instalação típica de uma placa de orifício.

Figura 8 – Detalhes internos de uma placa de orifício



Fonte: <http://www.bpress.cn/im/aplitex-sl-orifice-plate-aplitex-sl-15408/>, 2015

Figura 9 – Instrumento primário de vazão do tipo Placa de Orifício da RNEST



Fonte: Autor, 2015

O segundo elemento, ou elemento secundário, é o componente que faz a leitura da diferença de pressão e converte essa informação numa indicação de vazão, que é transmitida ao sistema de controle. A figura 10 representa um instrumento de medição de vazão do tipo transmissor e indicador. Esse instrumento lê a diferença de pressão na placa de orifício e transforma o valor medido numa indicação de vazão para a rede de comunicação do SDCD e PI.

Figura 10 – Transmissor e Indicador de vazão do tipo Diferencial de Pressão



Fonte: Autor, 2015

O Medidor Magnético de Vazão (figura 11) tem como princípio a variação de um campo magnético que determina o perfil de velocidades do escoamento. Um aparelho gera um campo magnético na água enquanto os íons presentes na água (concentração conhecida)

movem-se com a velocidade da mesma e alteram o campo que foi produzido. Tal perturbação é medida, fornecendo indiretamente a velocidade com que as partículas carregadas passaram pelo campo (PORTO, 2001). Esse tipo de instrumento é utilizado em linhas pressurizadas que apresentam baixa velocidade de água, e também estão interligados à rede pelo mesmo protocolo de comunicação dos demais.

Figura 11 – Medidor de vazão magnético da RNEST



Fonte: Autor, 2015

A Calha Parshall (figura 12), assim como os vertedores, é uma estrutura construída no curso d'água e possui sua própria Curva-chave⁶. Assim, a determinação de vazão a partir do nível é direta para a seção onde a mesma está instalada. Pode-se então determinar a curva-chave para outras seções de interesse medindo o nível da água em tais seções e relacionando-os com a vazão medida pela calha ou vertedor. O método (calha ou vertedor) se aplica a escoamentos sob regime fluvial. O princípio consiste em forçar a mudança deste comportamento para o regime torrencial, medindo-se a profundidade crítica (PORTO, 2001). Nas instalações onde a água flui por simples diferença de nível, encontramos a Calha Parshall, associada a um medidor de nível do tipo Radar, que converte os dados da altura para a informação de vazão e insere essas informações na rede de comunicação.

⁶ CURVA-CHAVE - é uma relação nível-vazão numa determinada seção do rio. Dado o nível do rio na seção para a qual a expressão foi desenvolvida, obtém-se a vazão. Não é apenas o nível da água que influencia a vazão: a declividade do rio, a forma da seção (mais estreita ou mais larga) também alteram a vazão, ainda que o nível seja o mesmo (PORTO, 2001).

Figura 12 – Instrumento de vazão da RNEST em estrutura do tipo Calha Parshall



Fonte: Autor, 2015

3.3 DA METODOLOGIA PARA AJUSTE DOS PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DO FLUXO DE ÁGUA DE USO/REÚSO

Os dados das vazões, obtidos durante a fase de caracterização dos fluxos, serviram de base para a verificação das variações de vazão nos pontos que seriam posteriormente escolhidos para monitoramento. As variações obtidas deram origem a um desvio padrão, e esse desvio foi tomado como ferramenta ao se considerar, durante os processos de monitoração, valores mínimos e máximos dessas vazões.

Para a monitoração, julgou-se apropriado configurar, de forma automática, avisos em forma de alarme para os momentos em que os valores de vazão monitorados ultrapassassem números menores ou maiores que aqueles que poderiam ser considerados normais dentro de uma faixa de operação. Para isso, consideramos então como faixa de operação os valores compreendidos dentro da faixa do desvio padrão. Os valores de vazão média assim como o desvio padrão foram determinados já no período de 1/4 a 30/09/2015 quando foram feitas as primeiras observações das variações e das condições de processo da refinaria.

Para a configuração dos alarmes, utilizou-se a ferramenta PI DataLink®, que é uma interface para o Microsoft Excel®, o que possibilitou a visualização dos valores de vazão direto do sistema PI, numa planilha. Como já mencionado no tópico 2.5, as funções do PI DataLink® são acessadas dentro do Microsoft Excel® por um menu que aparece depois que o

módulo é instalado. Essa ferramenta foi combinada com uma funcionalidade da planilha eletrônica capaz de fazer comparações com limites inferiores e superiores pré-definidos, o que nos proporcionou uma interface de alarmes visual e sonoro.

A planilha eletrônica que foi associada ao PI DataLink® foi configurada com uma macro de comparação e reordenação de valores, com distinção de criticidade a ser estabelecida diretamente pelo usuário, podendo ainda receber nova configuração de valores diretamente pela interface e conforme a necessidade.

3.4 DA METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO DO USO E REÚSO DE ÁGUA DE PROCESSO NA RNEST

Para o processo de construção de propostas para otimização dos sistemas de uso e reúso de água na Refinaria Abreu e Lima, tomou-se como base as premissas de projeto onde se configuram as questões de uso de tecnologias para redução de consumo e reúso de água na unidade. Fez-se uma breve comparação entre o que fora projetado e o que já foi executado na planta, até o momento, relacionado a estes temas. Ordenamos de forma decrescente de ganhos as possibilidades que vislumbramos para melhoria das condições de uso e reúso de água na refinaria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sustentabilidade, como palavra de ordem para os atuais projetos desenvolvidos, comporta ideias simples como o reúso da água numa unidade industrial. Este trabalho teve como tema central o reúso de água, e como campo de pesquisa a Unidade de Operações da Petrobras em funcionamento na região, a Refinaria Abreu e Lima - RNEST, situada no município de Ipojuca - Pernambuco.

Embora amplamente discutido na atualidade, o conceito de reúso é tão antigo quanto a própria existência da água no Planeta, a qual é mantida em circulação pelos reservatórios oceânico, atmosférico e terrestre, desde o instante que ocorreu no estado líquido, por meio da energia do sol. A água tem um mecanismo natural de circulação que promove o processo de autodepuração, e a torna reutilizável para os mais diversos fins que conhecemos, indefinidas vezes (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

Reúso é definido como um “processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim. Essa reutilização pode ser direta ou indiretamente, decorrente de ações planejadas ou não” conforme assinala Vanelli (2004). A água, comumente associada à vida, tem fundamental importância para a existência humana, e quando interferimos nos processos naturais, quer seja com o uso inadequado desse recurso natural, quer seja com a ampliação do uso devido ao crescimento industrial, temos que procurar minimizar os efeitos desse impacto ambiental.

O título: Caracterização e proposta para otimização dos fluxos de água de uso e reúso das principais unidades da Refinaria Abreu e Lima - RNEST, advém da necessidade de se verificar como ocorrem os processos de uso e reúso de água na refinaria e de se formatar um modelo de acompanhamento operacional que sirva de referência para a modalidade de preservação de água, tanto nesta, como em outras unidades industriais espalhadas pelo país.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DE ÁGUA DA RNEST

A Refinaria Abreu e Lima – RNEST é um empreendimento da Petrobras Petróleo Brasileiro S/A e a primeira refinaria de petróleo construída, por inteiro, depois de

trinta e cinco anos de sua última unidade, a Refinaria Henrique Lage – REVAP, em operação na cidade de São José dos Campos – São Paulo. Com capacidade de refino de cerca de 230 mil barris diários de petróleo, dividida em dois conjuntos, tem como principal produto o óleo diesel, que representa cerca de 70% de seus derivados e deverá, no futuro, atender à demanda das regiões Norte e Nordeste do país, onde grande parte do diesel consumido, até bem pouco tempo, era importado.

Diversos e variados foram os atores envolvidos e, neste caso, diversos consórcios de empresas fizeram parte deste empreendimento, desde as fases de projeto conceitual (projeto básico), passando pelo detalhamento dos projetos e chegando ao que se pode chamar de etapa de construção e montagem. Em se tratando de um grande e complexo projeto, tecem-se demasiadas considerações e se estabelecem critérios operacionais que tem que ser materializados, de alguma forma, para garantir o seu pleno funcionamento, conforme cálculos de projeto, memoriais descritivos e documentos complementares.

O primeiro fluxo de água para uma refinaria de petróleo, que é a água bruta, em muitas das outras unidades do sistema Petrobras, acontece por captação direta de rios localizados próximos às próprias refinarias. Na Refinaria Abreu e Lima –RNEST, a outorga de água bruta, de 2.100m³/h, tem como origem as barragens dos rios Bitá, Utinga e Ipojuca e como intermediária a concessionária local, a Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Essa corrente é recebida por adutora localizada ao norte da Refinaria e encaminhada diretamente para os tanques de água bruta. Na sequência se segue a caracterização das principais unidades de tratamento e consumo de água da RNEST.

4.1.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA – ETA

A estação de tratamento de água tem vital importância para a operação de uma refinaria de petróleo. A ETA da Refinaria Abreu e Lima – RNEST contém nove (09) subsistemas: Sistema de Água Filtrada; Sistema de Tratamento de Lodo; Sistema de Tratamento de Água Pluvial; Sistema de Tratamento e Reúso de Purgas de Torres de Resfriamento; Sistema de Tratamento e Reúso de Efluente da ETDI; Sistema de Desmineralização por Eletrodialise Reversa; Sistema de Desmineralização por resinas trocadoras de íons; Sistema de Tratamento de Condensado de Vapor; Sistema de Produtos

Químicos e Cloração. Na figura 13 temos uma imagem aérea da ETA da RNEST e, na sequência segue breve explanação sobre os sistemas citados anteriormente e as respectivas caracterizações de vazão de água.

Figura 13 – Vista aérea da Estação de Tratamento de Água da RNEST



Fonte: Petrobras, 2014

SISTEMA DE ÁGUA FILTRADA

Este sistema produz água filtrada, atendendo às demandas de água para reposição (make-up) das torres de resfriamento e demais usos industriais, tais como: sistema de desmineralização, arrefecimento de purga de caldeiras, estações de serviço, etc.

O sistema de produção de água filtrada recebe água proveniente dos Tanques de Água Bruta, através de bombas de carga, recebendo dosagem de químicos em linha, a montante de um misturador estático, seguindo para a unidade de flotação, composta por 4 (quatro) flotações. A água produzida é bombeada para os Tanques de Água Filtrada, de onde é distribuída para as áreas de consumo.

O Sistema de Água Filtrada que abastece todo o sistema produtivo foi projetado para uma vazão de produção de até $2.100\text{m}^3/\text{h}$, sendo que $1.279\text{m}^3/\text{h}$ são destinados à reposição de água (make-up) das torres de resfriamento, utilizadas no arrefecimento de unidades do processo e sistemas de ar condicionado central enquanto $460\text{m}^3/\text{h}$ destinam-se à produção de água desmineralizada e, o restante ($361\text{ m}^3/\text{h}$), para demais usos no processo, incluindo-se os

processos de contralavagem dos Flotofiltros e o respectivo tratamento de lodo.

Ainda na ETA, a água filtrada é usada em ejetores de cloro, na contralavagem de filtros do Sistema de Purga das Torres (filtros multimédia) e nos tanques de carga da Eletrodiálise Reversa (EDR) para diluição de concentrado, quando necessário. Existe um tanque de armazenagem de resíduos de contralavagem, que recebe a água de contralavagem dos filtros de carvão ativado do Sistema de Desmineralização – DESMI, da Estação de Tratamento de Condensado – ETC, dos filtros auto-limpantes de água pluvial e da contralavagem dos Flotofiltros. Essa água retorna para o início do sistema de flotofiltração para reutilização.

SISTEMA DE TRATAMENTO DE LODO

O principal objetivo deste sistema é o de realizar o desague do lodo proveniente do sistema de flotofiltração (água filtrada) e do clarificador (purga das torres). Desta forma há a redução de resíduos. A água proveniente do desague do lodo dos Flotofiltros retorna à entrada dos flotofiltros para reúso e a água proveniente do desague do lodo dos clarificadores segue para a corrente de água contaminada, com destino à Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI).

O lodo a ser desaguado é proveniente dos sistemas dos Flotofiltros e dos Clarificadores (Purga das Torres). Em relação aos Flotofiltros, ocorre a remoção dos flocos de lodo gerados resultantes do processo físico-químico com sistema de flotação por ar dissolvido. O lodo acumulado em forma de espuma na superfície de cada flotofiltro é arrastado mecanicamente para compartimentos existentes em cada Flotofiltro. Há o bombeamento desta espuma de lodo através das bombas de lodo do flotofiltro para um tanque de homogeneização de lodo de capacidade igual a 20 m³. No caso do clarificador, o lodo produzido no tratamento físico-químico é enviado pelas bombas de descarte de lodo do clarificador para um tanque de homogeneização de Lodo de 3 m³. Para que não haja sedimentação destes lodos bombeados, nos tanques acima descritos, estão instalados misturadores nos respectivos tanques. Existem ainda bombas de transferência individuais para cada tanque. Essas bombas realizam a transferência de lodo desses tanques para centrífugas, para que haja a máxima remoção da água presente no lodo e o lodo é desaguado para caçambas correspondentes a cada sistema de desidratação.

SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Este sistema tem instalados dois filtros auto-limpantes, construídos em aço carbono, revestidos internamente em epóxi, contendo uma tela filtrante de 3,5 mm, em aço inoxidável, que remove os sólidos suspensos presentes nas águas pluviais antes de enviá-las aos Tanques de Água Bruta da refinaria. A capacidade normal dos filtros é de 400 m³/h, podendo chegar à uma vazão máxima de operação de 600 m³/h.

Um medidor de vazão informa a vazão de água que está sendo filtrada no filtro auto-limpante. A água entra pelo bocal inferior e flui para o compartimento da tela, sendo filtrada no grau definido pela tela fina. A filtração ocorre de dentro para fora da tela, por toda a superfície, atingindo o bocal de saída. Paulatinamente forma-se uma camada de sólidos (cake) na parte interna da tela, que ocasiona um aumento do diferencial de pressão entre a parte interna e externa da tela fina. Ocorre o processo de Autolimpeza do filtro quando a diferença de pressão (entrada x saída) atinge o valor de 0,5 kgf/cm² ou o tempo de campanha pré-estabelecido pelo operador, o que vier primeiro. A alimentação dos filtros auto-limpantes é feita por bombas da barragem de águas pluviais (Petrobrás). Este sistema ainda se encontra em fase de implantação.

SISTEMA DE DESMINERALIZAÇÃO POR RESINAS TROCADORAS DE IONS

O Sistema de Desmineralização e Polimento de Água, pertencente a Estação de Tratamento de Água (ETA) é constituído por um conjunto de filtros de carvão ativado, com o objetivo de realizar a remoção do cloro presente na água de alimentação, um sistema de troca iônica, constituído por trocadores catiônicos, torre descarbonatadora e trocadores aniônicos, e um sistema de polimento final da água desmineralizada realizado através de trocadores do tipo “Leito misto”. A alimentação do Sistema de Desmineralização é composta por água filtrada dos flotofiltros, água produzida na EDR e a água recuperada da segunda etapa de lavagem rápida e teste dos vasos aniônicos e de leito misto. O sistema está projetado para produção de água desmineralizada para a condição de carga máxima total em 552 m³/h, mas deve contribuir com uma vazão de até 460m³/h.

Há a possibilidade de se produzir água polida em 6 modos de operação de acordo com o número de vasos em operação. Desta forma, é definido como um trem a seguinte

composição: um filtro de carvão ativado, um trocador catiônico e seu respectivo par aniônico, considerando a água de saída do trocador catiônico passando pela torre descarbonatadora comum a todos os trocadores catiônicos. Os modos de operação somente são válidos para os vasos com status de “Produção” habilitado.

A produção de água desmineralizada na troca iônica variará em função da vazão de água filtrada produzida pela EDR e pelo flotofiltro. O consumo de água desmineralizada na refinaria deverá ser de aproximadamente 460m³/h. A salinidade da alimentação da troca iônica depende da disponibilidade das correntes da Purga das Torres de Resfriamento e do Efluente da ETDI.

SISTEMA DE TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUA ORIUNDA DOS SISTEMAS DE PURGA DAS TORRES DE RESFRIAMENTO - TORRES

Os principais contaminantes presentes na água de purgas de torres de resfriamento são os sólidos suspensos, os óleos e graxas e os resíduos de dispersantes dosados na água de resfriamento para evitar depósitos nas linhas deste circuito.

A água da purga das torres deve chegar a ETA com vazão de 181 m³/h para compor a carga tratada na EDR. Como a água proveniente desse sistema alimenta o conjunto de membranas do Sistema de Eletrodialise Reversa, há de se observar alguns aspectos técnicos: os dispersantes, geralmente polímeros aniônicos em base de Poliacrilato, são partículas coloidais que não são retiradas pelos sistemas de filtração tradicionais e podem ficar depositados nas membranas iônicas do sistema da EDR devido a sua polarização e, portanto, devem ser removidos.

A solução é a utilização de coagulantes e polímeros com a finalidade de neutralizar a carga do poliacrilato através de um sistema de coagulação/floculação com recirculação de parte dos sólidos precipitados a fim de se obter o efeito de incorporação do dispersante com os sólidos e, ao mesmo tempo, a neutralização das cargas. O sistema também remove óleos e graxas, e sólidos suspensos.

A etapa de filtração em carvão ativado recebe um efluente isento de dispersante e tem condições de adsorver a matéria orgânica residual presente.

O sistema de tratamento de purgas é composto pelos seguintes elementos:

- Tanques de carga das purgas;
- Tanques de coagulação/floculação;
- Tanques de água clarificada;
- Bombas de carga do sistema de clarificação;
- Bombas de carga dos filtros multimédia;
- Bombas de recirculação de lodo;
- Bombas de descarte de lodo;
- Filtros multimédia;
- Filtros de carvão ativado.

As purgas são tratadas num sistema de clarificação com base nos processos de coagulação, floculação e sedimentação. O líquido clarificado nessa etapa é enviado para 3 (três) filtros do tipo multimédia que operam em paralelo, onde são removidos os sólidos em suspensão. A água filtrada segue para a filtração por carvão ativado para a remoção de matéria orgânica residual. A filtração é composta por 4 (quatro) filtros de carvão em paralelo. O sistema foi projetado para garantir um tratamento ininterrupto de até 200m³/h de água mesmo em condição de contralavagem.

SISTEMA DE TRATAMENTO E REÚSO DE EFLUENTES DA ETDI

Este sistema serve para adequar o efluente tratado na ETDI para atender os limites de concentrações requeridos na entrada do Sistema de Eletrodialise Reversa (EDR) para a dessalinização das correntes de reuso internas da Refinaria.

O Sistema de Tratamento e Reuso de Efluente da ETDI é composto pelos seguintes equipamentos:

- Tanques de recebimento do efluente final da ETDI;
- Bombas de carga dos filtros e de homogeneização dos tanques;
- Filtros de carvão ativado.

O efluente proveniente do tratamento em Reator Biológico de Membranas (MBR) da ETDI da refinaria segue para o Sistema de Tratamento e Reuso de Efluente da ETDI (ETA)

para compor a carga tratada na EDR com vazão constante de 400 m³/h e salinidade em torno de 5.000 mg/L.

O efluente é submetido à filtração por carvão ativado para remoção de carga orgânica recalcitrante. Este sistema é composto por 8 (oito) filtros de carvão ativado sendo quatro linhas de filtros em paralelo com dois filtros em série por linha. O sistema foi projetado para garantir um tratamento ininterrupto de 400 m³/h de efluente mesmo na condição de contralavagem.

SISTEMA DE DESMINERALIZAÇÃO POR ELETRODIÁLISE REVERSA

O Sistema de Eletrodiálise Reversa (EDR) da RNEST é responsável pela dessalinização de correntes de água de reúso da Refinaria prevista para alimentação do Sistema de Troca Iônica (produção de água desmineralizada). O Sistema é composto por três unidades de EDR, cada uma com oito linhas (estágios hidráulicos) e quatro estágios elétricos em série (stacks). O sistema tem capacidade para tratar 598m³/h de água com salinidade de até 3.800mg/L, atingindo uma recuperação hidráulica de 85% (508m³/h) e remoção de sais da ordem de 95%. Cada unidade, quando em operação plena, tem vazão constante de até 208m³/h e modulação automática da voltagem aplicada aos stacks dentro de uma faixa definida para a água de alimentação.

Características do Sistema de Eletrodiálise Reversa da RNEST Número de unidades de EDR:

Vazão de alimentação 598m³/h

Vazão de produto 508m³/h (Recuperação hidráulica 85%)

Vazão de concentrado 90m³/h (15%)

Salinidade da alimentação (projeto) de até 3800mg/L

Salinidade do produto 180 – 200mg/L (Remoção de sais 95%)

Os valores citados acima excluem as correntes de reciclo do sistema. Contando com estas correntes a vazão de alimentação total a ser considerada é de 624m³/h (208m³/h por unidade).

As correntes de alimentação do Sistema de Eletrodiálise Reversa chegam em dois Tanques de Carga, cada um com capacidade nominal de 818 m³ e trabalhando em série. Em

operação normal, um dos tanques tem a função de homogeneizar as correntes de chegada enquanto o outro serve de pulmão para a alimentação das Unidades. O primeiro tanque foi construído com saída por baixo, com um pescoço externo ascendente até o nível líquido do tanque seguinte. Duas bombas de homogeneização e edutores equalizam as correntes recebidas no primeiro tanque e, caso algum deles esteja em manutenção, o outro recebe as correntes, promove a homogeneização e serve de pulmão para alimentação das Unidades.

Os Tanques de carga são alimentados por duas correntes de reúso interno da Refinaria: uma com o efluente final tratado da ETDI, proveniente de tratamento biológico e posterior passagem por filtros carvão ativado, e outra proveniente do sistema de purga das torres de resfriamento, após tratamento por floculação/clarificação, filtros multimedia e carvão ativado. A vazão de efluente da ETDI é de até 400m³/h com uma salinidade em torno de 5.000mg/L, enquanto a corrente da Purga das Torres é alimentada com vazão de até 200m³/h e salinidade de, aproximadamente, 1.322mg/L. Essa proporção de alimentação resulta em uma mistura com aproximadamente 3.800mg/L de Sólidos Totais Dissolvidos (Total Dissolved Solids - TDS). Devido à alta salinidade do efluente da ETDI, quando a Purga das Torres de resfriamento não estiver disponível, água filtrada do Flotofiltro será alimentada nos Tanques de Carga para que o TDS fique dentro dos valores pré-estabelecidos.

Os Tanques de Carga recebem ainda outras três correntes: produto fora de especificação (Off-spec), efluente dos eletrodos e produto da EDR. As duas primeiras serão provenientes do próprio Sistema de EDR, sendo recirculadas para o início do processo para reaproveitamento a fim de atingir a recuperação hidráulica de projeto (85%). O produto da EDR poderá ser dirigido aos próprios Tanques de Carga quando o ajuste do TDS de alimentação for necessário e a água filtrada não estiver disponível.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CONDENSADO – ETC

A Estação de Tratamento de Condensado (ETC), é constituída por sistema de filtração composto por filtros coalescedores, filtros de pré-capa e filtros de carvão ativado, finalizando o tratamento com um sistema de polimento de condensado por troca iônica. A alimentação da ETC é composta de condensado de vapor da Refinaria, condensado este passível de

contaminação nas Unidades de Processo. Este condensado é entregue no Limite de Bateria⁷ da ETA já resfriado e é armazenado em dois tanques de 140m³. O sistema está projetado para tratamento de condensado a ser alimentado numa vazão máxima de 564m³/h, porém com retorno esperado de até 300m³/h.

As características do condensado esperadas na entrada da planta de tratamento, são as seguintes:

Temperatura máxima de operação	40 °C
Sólidos Suspensos Totais	≤ 5 mg/L
Óleo e graxas	≤ 10 mg/L
Condutividade	≤ 7,5 µS/cm ²
Sílica	≤ 0,5 mg/L SiO ₂
Ferro	≤ 0,1 mg/L Fe
Cobre	≤ 0,1 mg/L Cu
pH	7,6

As características do condensado tratado esperadas na saída da ETC são as seguintes:

Óleo	0 mg/L
Sódio + Potássio	< 0,01 mg/L
Condutividade	< 0,1 µS/cm ²
Sílica	< 0,02 mg/L SiO ₂
Ferro	< 0,01 mg/L Fe
Cobre	< 0,01 mg/L Cu

O fluxo de condensado a ser tratado na ETC é bombeado para os Tanques de Carga de Condensado da ETC. Caso a indicação do condutivímetro instalado na linha de alimentação dos tanques de carga apresentar picos que indiquem grandes quantidades de óleo na linha (causadas por vazamento nas Unidades), foi previsto um desvio diretamente para a drenagem contaminada, a ser realizado remotamente a critério da Operação. O desvio é feito antes do condensado ser alimentado aos tanques de carga. Este desvio da corrente de alimentação também poderá ocorrer em caso de temperatura alta na entrada de condensado. Os tanques de

⁷ Limite de Bateria – Limite físico de interligação, bloqueio e separação entre unidades de processo, contendo pontos de recebimento e entrega de produtos.

carga são dotados de “*tubo pescador invertido*” a fim de fazer o fluxo de condensado ser lançado ao interior do tanque somente na sua parte superior, facilitando a separação de óleo, caso esteja presente.

Em caso de presença de óleo no interior do tanque de carga, o que é monitorado por analisador próprio através da medição da espessura da lâmina de óleo na superfície líquida, o nível interno deverá ser elevado até atingir a canaleta interna superior, que possui tubo de saída sempre aberto (extravasor), direcionando esse descarte contendo óleo para a canaleta oleosa. Para subir o nível interno do tanque de carga, o operador varia o set-point do transmissor de nível que atua nos inversores de frequência das bombas de carga de condensado. Quando o descarte de óleo está concluído, o operador retorna o set-point dos transmissores de nível para os valores iniciais, reestabelecendo a condição normal de processo. É possível aumentar o nível dos tanques manualmente através do fechamento manual da sua válvula de saída de condensado. Na sequência dos tanques de carga, há sistema de bombeamento do condensado para os filtros. Esse sistema é formado por três bombas em paralelo, denominadas Bombas de Carga de Condensado.

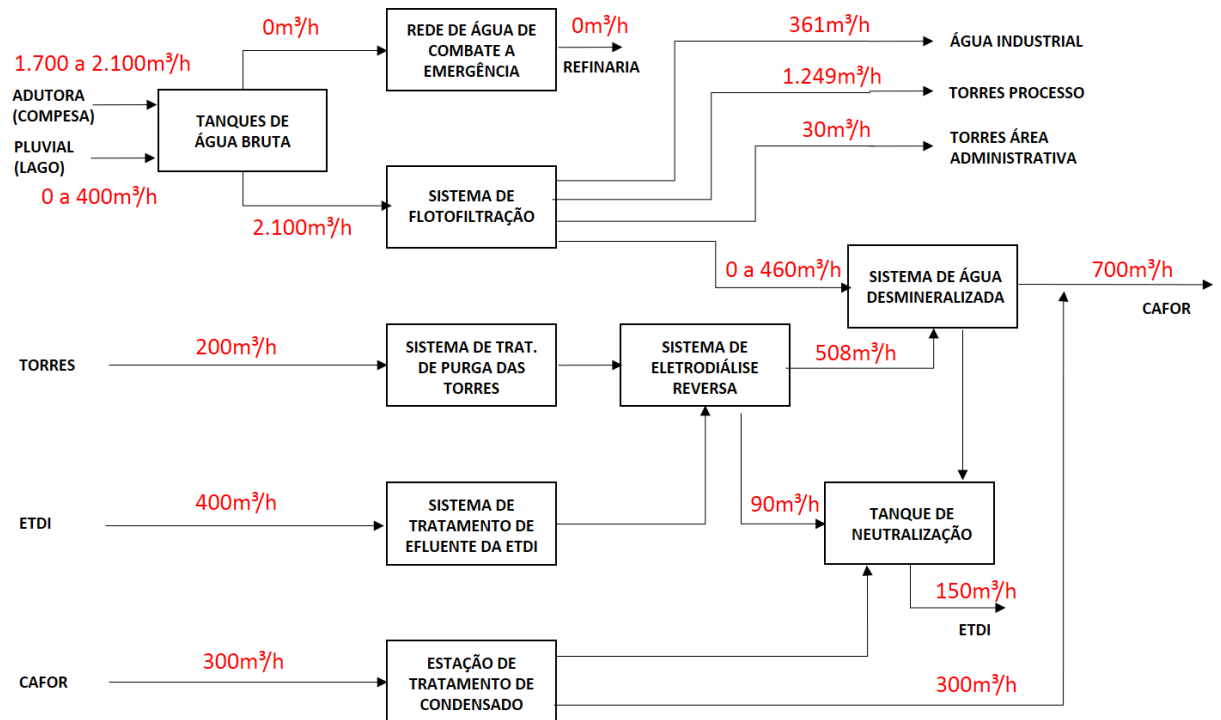
SISTEMA DE PRODUTOS QUÍMICOS E CLORAÇÃO

O sistema de carregamento e dosagem de produtos químicos é constituído de tanques de armazenamento onde estão instaladas bombas de carregamento do respectivo produto químico intertravadas pelo respectivo transmissor de nível instalado em cada tanque para desligamento em nível muito alto da bomba de carregamento em utilização. Também estão instaladas, após estes tanques, bombas dosadoras do respectivo produto químico que também estão intertravadas pelos mesmos transmissores de nível, dependendo do tanque em utilização, desligando-as em caso de nível muito baixo.

Os produtos químicos utilizados nos processos da ETA e ali armazenados para uso são os seguintes: Solução de Soda Cáustica a 50%, Solução de Ácido Sulfúrico a 98%, Cloro Líquido, Solução de Sulfato de Alumínio a 50%, Polímero, Solução de Ácido Clorídrico a 35%, Antiincrustante, etc.

A figura 14 representa o esquema funcional da Estação de Tratamento de Água – ETA e mostra, de forma sintetizada, as informações das vazões nominais de projeto.

Figura 14 – Esquema funcional da ETA da RNEST com vazões de projeto



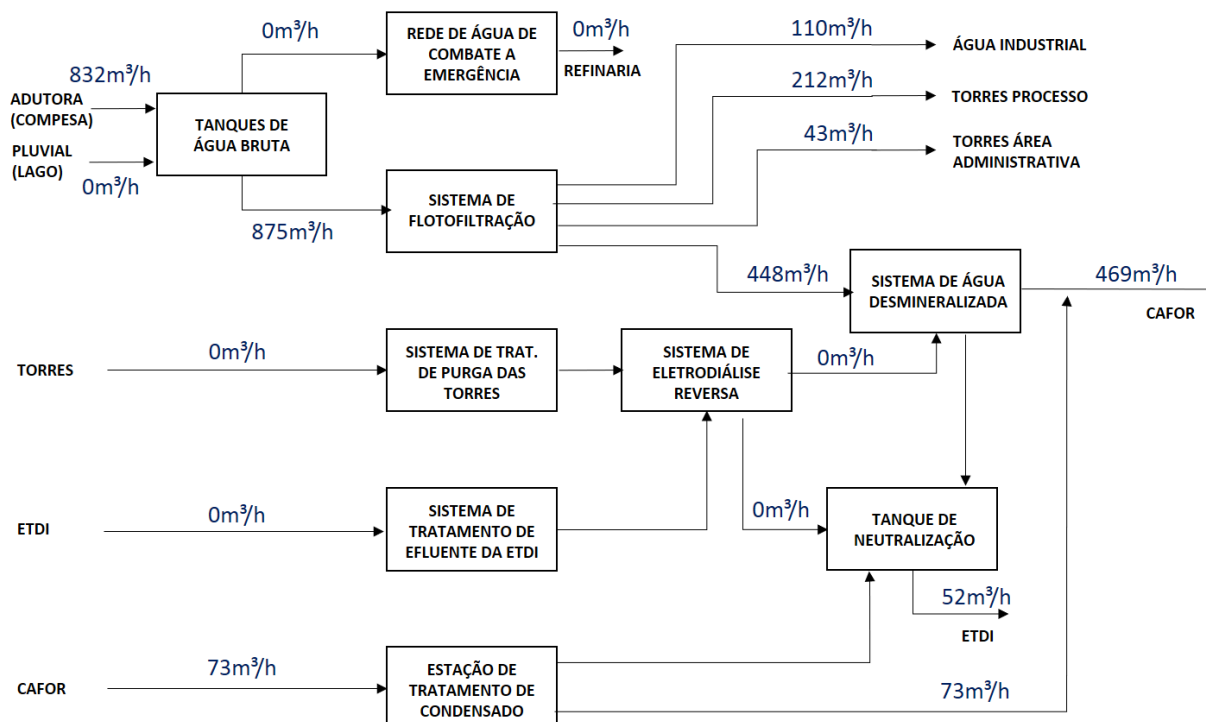
CAFOR: Casa de Força; ETC: Estação de Tratamento de Condensado; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; Torres: Torres de Resfriamento.

Fonte: Autor, 2015

O levantamento dos valores de vazão realizado nos diversos trechos da unidade possibilitou o preenchimento da mesma figura com valores reais, conforme se vê na figura 15. Já na alimentação da água bruta, foi notada uma incompatibilidade entre a média verificada no instrumento de vazão de água da adutora para os tanques de água bruta ($832\text{m}^3/\text{h}$) e a vazão de transferência desses tanques para o sistema de flotação da ETA ($875\text{m}^3/\text{h}$). Essa diferença, uma vez verificada, provocou uma pesquisa externa, junto à concessionária COMPESA, para conferência das vazões de consumo registradas por aquela empresa com relação à RNEST, para o mesmo período escolhido para monitoração das vazões de água de uso e reúso na refinaria (1 a 15/11/2015).

Os valores fornecidos pela COMPESA, indicam um volume médio de $21.398\text{m}^3/\text{dia}$ para o período de monitoração, que foi de 1 a 15/11/2015. Este valor corresponde a uma média horária de aproximadamente $892\text{m}^3/\text{h}$. Este valor foi então considerado como referência para o balanço hídrico da refinaria (figura 15) ao passo que fora recomendada a aferição do instrumento interno instalado na adutora.

Figura 15 – Esquema funcional da ETA da RNEST com a média das vazões reais



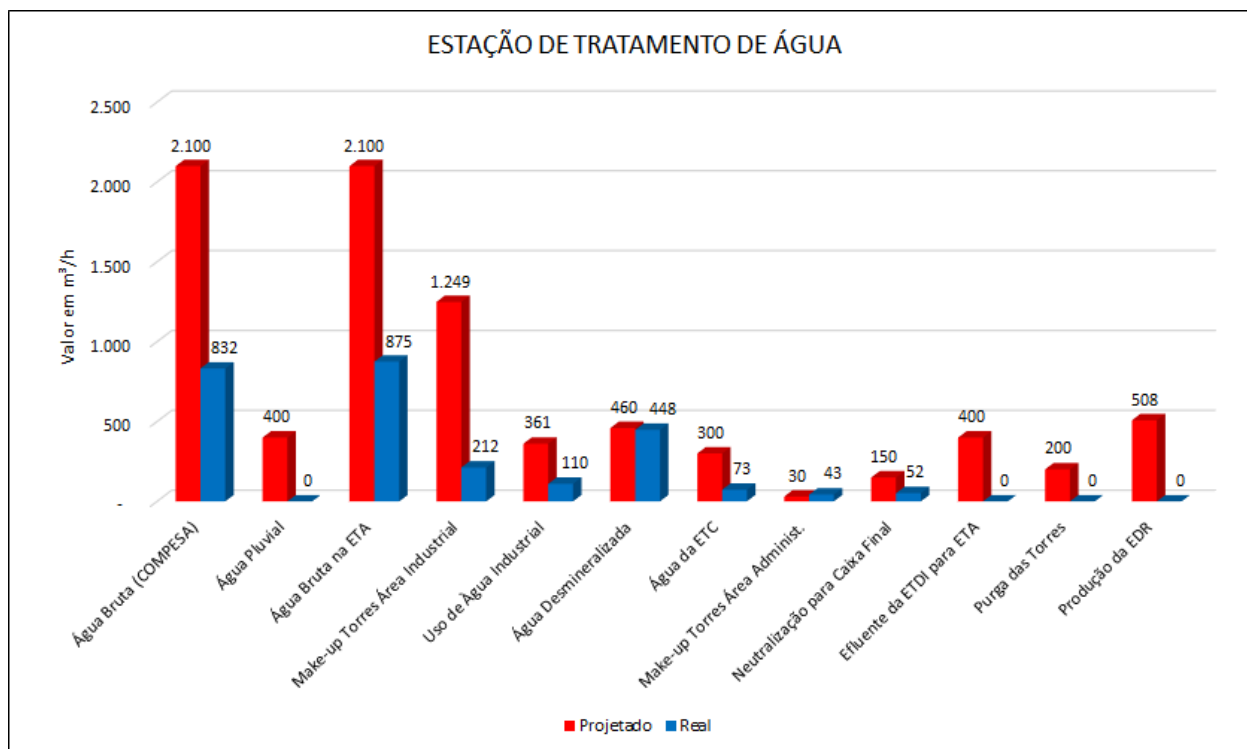
CAFOR: Casa de Força; ETC: Estação de Tratamento de Condensado; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; Torres: Torres de Resfriamento.

Fonte: Autor, 2015

Como se pode observar, os sistemas de Tratamento de Purga das Torres, Tratamento de Efluentes da ETDI e Eletrodiálise Reversa, apresentam vazão zero (0). Estes sistemas ainda estão em fase de comissionamento para partida (testes funcionais). Também o sistema de reúso da rede de água pluvial encontra-se inoperante por estar ainda em fase de complementação física. A Estação de Tratamento de Condensado – ETC opera na vazão mínima e com uma única cadeia de tratamento, estando bem abaixo da capacidade da unidade.

Outro ponto que também pôde ser observado foi o valor da vazão da água de reposição (make-up) das torres de resfriamento da área administrativa, cujo valor médio registrado ($43\text{m}^3/\text{h}$) foi muito acima do esperado ($30\text{m}^3/\text{h}$). O fato está associado ao uso contínuo das unidades de resfriamento do sistema central de ar condicionado da área administrativa. Estes sistemas operam em regime ininterrupto para alguns prédios e há a necessidade de se otimizar o sistema de controle de temperatura dessas edificações. Com relação à água industrial, o baixo valor registrado ($110\text{m}^3/\text{h}$) se dá pelo fato de que somente um módulo de refino (trem 1) da RNEST, de um total de dois, foi colocado em operação até o momento. O gráfico 1, a seguir, permite melhor visualização das diferenças dos valores das vazões.

Gráfico 1 – Comparativo das vazões de água na ETA: Projetado X Real



Fonte: Autor, 2015

4.1.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS – ETDI

A estação de Tratamento de Despejos Industriais da RNEST possui os seguintes sistemas operacionais: Sistema de drenagem de água contaminada, Sistema de drenagem de água oleosa, Tratamento primário e Tratamento secundário.

O sistema de drenagem de água contaminada é formado por canaletas de concreto, que passam pelas “tubovias” (vias de tubos) e todo o sistema alimenta uma canaleta principal de encaminhamento dessas drenagens para a ETDI. Esse sistema é formado ainda por um processo de gradeamento utilizado para reter partículas grandes que possam ter sido carregadas pelas canaletas, evitando que cheguem aos tanques e bombas de recalque. Na sequência possui um conjunto desarenador, sendo um menor o “Desarenador de Tempo Seco” projetado para uma vazão de até 70m³/h e um maior, que atua como extravasor do primeiro, o “Desarenador de Tempo Chuvoso”. Possui ainda dois tanques de acúmulo de água contaminada denominados TAC’s, com capacidade útil de 19.248 m³, cada, com finalidade específica para condições de acúmulo de água dos primeiros minutos de chuva nos dias de

maior precipitação pluviométrica. A água acumulada nestes tanques segue prioritariamente para tratamento, de acordo com as especificações das vazões de tratamento na ETDI.

O sistema de água contaminada tem ainda uma variante segregada, e corresponde à drenagem das próprias tubovias. Essa drenagem é normalmente dirigida à rede pluvial, porém, passa antes por uma caixa de partição dotada de um detector de filme de óleo que, uma vez atuado, gera um alarme sonoro no Centro Integrado de Controle (CIC) e provoca o desvio instantâneo dessa corrente, da rede pluvial para os Tanques de Água Contaminada (TAC), com a movimentação de comportas automáticas.

Os Tanques de Água Contaminada (TAC) são esvaziados através de dois sistemas opcionais, que são determinados a partir da análise do conteúdo dos mesmos. Quando contiverem água com contaminantes oleosos em concentração acima do permitido para descarte ($>20\text{mg/L}$), serão esvaziados com tratamento ocorrendo por uma bateria de filtros do tipo Casca de Nozes com uma vazão de até $591\text{m}^3/\text{h}$. Quando contiverem contaminantes predominantemente oleosos ($>40\text{mg/L}$), serão esvaziados para o Separador Água e Óleo (SAO) do tipo API a uma vazão de $197\text{m}^3/\text{h}$. O encaminhamento do efluente armazenado nos TAC's para os filtros casca de nozes só pode ser realizado mediante prévia análise de concentração de óleos e graxas e sólidos suspensos e autorizada pelo supervisor de operação. O limite de concentração/emulsão de óleos e graxas e de sólidos suspensos para esvaziamento dos TAC's para os filtros casca de nozes é de 40 mg/L e 75 mg/L , respectivamente.

Os limites dos demais contaminantes não podem exceder os parâmetros de descarte permitidos no corpo receptor, uma vez que esta corrente não seguirá para o tratamento biológico (tratamento secundário). Antes de iniciar a drenagem dos TAC's para os Filtros Casca de Nozes é exibida, na tela de operação, uma mensagem solicitando confirmação de qualidade da água contaminada (Água contaminada liberada para Sistema de casca de Nozes? Sim / Não). Confirmada a qualidade de água contaminada, ou seja, atendendo todos os parâmetros para envio ao Casca de Nozes o acionamento das bombas é liberado para operação. Caso não seja confirmada a qualidade da água contaminada o acionamento das bombas de esvaziamento dos TAC's fica indisponível.

O sistema de drenagem oleosa, oriundo das áreas de processo, é formado por tubulações de ferro fundido que desaguam numa tubulação principal e também têm como ponto final, a ETDI. Possui uma caixa de partição denominada "Caixa de Partição Oleosa". A

Caixa de Partição Oleosa é composta de dois canais, sendo o primeiro canal dimensionado para a vazão de projeto do sistema de tratamento primário, com vazão de até 90m³/h, e o segundo canal serve como extravasor por onde o excedente é encaminhado para dois Tanques de Água Oleosa (TAO) com volume útil de 6.487 m³ cada.

Para a caixa de partição são encaminhados todos os efluentes oriundos da rede geral de drenagem oleosa. O fluxo normal de tempo seco de saída da caixa de partição é de encaminhamento para a bacia de chegada do Separador de Água e Óleo do tipo API – SAO API, através de uma tubulação dotada de válvula de controle, atuada por elemento primário de vazão do tipo “Calha Parshall” instalado em canal de concreto e com controlador de vazão. Durante o processo de esvaziamento dos Tanques de Água Oleosa (TAO) o seu conteúdo tem como destino o sistema de tratamento primário, a uma vazão de até 197m³/h, com início no SAO API.

No tocante aos tratamentos existentes na ETDI da RNEST, estes são divididos em dois conjuntos: Tratamento Primário e Tratamento Secundário. O conjunto de tratamento primário é formado por Separador Água e Óleo (SAO) tipo API, Sistema de Flotação a Ar Dissolvido (DAF) e Sistema de Polimento para Remoção de Óleo (Filtros de Cascas de Nozes). O conjunto de tratamento secundário é formado por Bacias de Equalização e Reator biológico de membranas (MBR), além de contar com uma caixa de saída para recalque do efluente do MBR para a ETA e uma caixa coletora final para recalque do efluente final da ETDI para descarte através do Emissário Submarino.

Na bacia de chegada que alimenta o SAO API, estão instalados um conjunto de tambor rotativo coletor de óleo e um tubo coletor de óleo do tipo flauta para coleta de eventual separação de óleo que ocorra antes da entrada no SAO API. O tambor é composto de um cilindro com um revestimento oleofílico que trabalha com velocidade fixa de 11rpm com capacidade de recuperação de 0,9m³/h. Este sistema, instalado na superfície do líquido e girado constantemente por um motor, permite recuperar um líquido concentrado em óleo com aproximadamente 80% de óleo e 20% de água. O tubo coletor com diâmetro de 219mm e inclinação mínima de 1% está instalado após o tambor rotativo de óleo e funciona manualmente por meio de engrenagem sem fim e sem componentes elétricos. O óleo retirado é enviado para a bacia de coleta de óleo do separador API. O óleo armazenado é posteriormente encaminhado para os tanques de resíduo do SAO, fora do limite de bateria da ETDI.

O Separador da Água e Óleo – SAO API é um conjunto de três canais de concreto com 55 m de comprimento, 5 m de largura e altura efetiva de lâmina d'água de 2,4m, com corrente raspadora de lodo, difusores, tambores rotativos coletores de óleo, tubo coletor tipo flauta, e saídas de coletas de Vapores Orgânicos Voláteis – VOC. A parte central dos canais possui uma cobertura flutuante que impede a liberação de VOC's. São três canais, sendo um reserva, com capacidade de projeto para até 300m³/h cada, devendo o sistema operar a uma vazão total de 385m³/h, conforme vazões das correntes de chegada. A distribuição uniforme do fluxo de alimentação na entrada dos canais é feita através de “difusores”, ou seja, furos calibrados desenhados em função das vazões e das perdas de carga envolvidas, e distribuídos de maneira simétrica na parede de separação entre a câmara de entrada e o compartimento principal do separador. O defletor permite direcionar o óleo livre para a superfície do separador e os sólidos mais pesados para o poço de lodo.

O fundo de cada canal é plano e tem, na parte da entrada, um poço onde o lodo de fundo é recolhido pela corrente raspadora de lodo, e cada poço de recuperação de lodo é composto de 3 câmaras em forma de “diamante” com extração de fundo. Os compartimentos de entrada e saída do separador API, são totalmente cobertos, e possuem cobertura fixa em concreto com respiros que permitem, por ventilação induzida, a coleta de Vapores Orgânicos Voláteis (VOC) para um conjunto biofiltro. As tubulações de entrada de ar, e saída para o biofiltro estão equipadas com corta-chamas, e válvulas manuais, que permitem o isolamento individual para o tratamento dos VOC's. A cobertura possui abertura hermética para acesso, manutenção do tambor rotativo coletor de óleo e do tubo coletor tipo flauta.

Após passar pelos separadores API, o efluente é encaminhado por gravidade para a bacia de equipartição (mistura rápida), em sequência ao processo de tratamento de efluentes da ETDI. Para extração de lodo de fundo são utilizadas 3 linhas por canal separador, cada uma com uma válvula on-off que alterna o funcionamento. As 3 linhas se unem em um header para cada sucção das bombas de lodo oleoso do SAO, que enviam o lodo para a Bacia de Lodo Oleoso. A parede de concreto no final de cada canal permite a retenção do óleo livre separado na superfície no interior do SAO. Na saída do separador, vertedores ajustáveis, de comprimento igual à largura do canal, garantem que o nível de líquido seja constante em cada canal. As gotículas de óleo livre suspensas no efluente seguem para a superfície, por diferença de massa específica, formando uma camada que é continuamente transportada para o final do separador API. O óleo é removido do SAO API pelos tambores rotativos coletores de óleo, e encaminhados para a bacia de coleta de óleo do separador API. O óleo armazenado é

posteriormente encaminhado para os tanques de resíduo do SAO, fora do limite de bateria da ETDI, através de bombas.

O efluente do separador SAO API é transferido por gravidade para a bacia de equipartição (mistura rápida), que também recebe o efluente de contra lavagem dos filtros casca de nozes e o centrifugado do lodo biológico. O sistema de mistura rápida e floculação é composto por duas linhas, cada uma contendo uma bacia de mistura rápida e uma bacia de floculação. Cada uma destas linhas tem capacidade para tratar 70% da vazão de projeto, porém não simultaneamente, dada a vazão máxima de projeto de 600m³/h.

Na bacia de equipartição (mistura rápida), ocorre a divisão para as bacias de mistura rápida. Na bacia de mistura rápida ocorre a primeira etapa de tratamento, que consiste na adição de coagulante e correção de pH através da adição de soda cáustica a 50%. O efluente extravasado da bacia de mistura rápida é recebido numa bacia de floculação, onde é adicionado um polieletrólito. A floculação é favorecida por um agitador. A adição de coagulante e polieletrólito são controladas automaticamente pela vazão da entrada dos SAO e monitoradas com ensaios de “jar-test”.

O pH do efluente na Bacia de Floculação é medido continuamente, através de analisadores de linha que enviam sinal para controle de dosagem de solução de soda cáustica a 50%. O efluente, preparado com a adição de produtos aglomerantes de sólidos, segue por gravidade para o Flotador a ar dissolvido, entrando pelo fundo de um tubo distribuidor central. O efluente clarificado extravasa pelo topo do flotador e parte desse efluente é recirculado para o flotador por bombas centrifugas passando por um Vaso de Saturação, pressurizado com ar comprimido proveniente de compressores. O ar comprimido introduzido no vaso de saturação faz com que o efluente clarificado fique saturado pelo ar. O efluente saturado de ar retorna ao flotador passando por uma tubulação específica dotada de válvulas manuais para despressurização do ar e se mistura, na pressão adequada, com o efluente de entrada no tubo distribuidor central.

No flotador, as partículas floculadas arrastadas no sentido ascensional pelas bolhas de ar se separam da corrente de fluxo e sobem à superfície, sendo retiradas por um sistema recolhedor de espuma sobrenadante através do escumador do flotador e descarregadas na Bacia de Lodo e Escumas do Flotador. O efluente clarificado é recolhido na Bacia de Alimentação dos Filtros Casca de Nozes, e o lodo sedimentado no fundo do flotador é

drenado por gravidade para a Bacia de Lodo e Escumas do Flotador onde as escumas e o lodo são misturados pelo Agitador da Bacia de Lodo e Escumas do Flotador. Essa bacia é fechada com ventilação natural e tratamento dos gases através de filtro de carvão ativado. A mistura é bombeada para a Bacia de Lodo Oleoso através das Bombas de Lodo Oleoso Flotado. O Flotador a ar dissolvido é totalmente coberto e tem sobre a cobertura respiros que permitem, por tiragem natural, a eliminação de Vapores Orgânicos Voláteis – VOC's. Os vapores provenientes dos respiros passarão por filtros de carvão ativado, para adsorção destes vapores antes de serem descarregados na atmosfera.

O Sistema de Polimento de Remoção de Óleo (Filtros Cascas de Nozes) é composto por oito (8) filtros, cada um com capacidade de até 200 m³/h. Parte desses filtros trata a saída dos flotadores e parte trata a corrente de esvaziamentos dos TAC's. Este sistema possui alta eficiência de adsorção de óleo livre e reduz sólidos suspensos. Ele é necessário na corrente dos flotadores, para a garantia da proteção das membranas de ultrafiltração do sistema de tratamento biológico, sensíveis à presença de óleo livre e, na corrente dos TAC's, para enquadrar o óleo na legislação de descarte, quando os demais contaminantes estiverem enquadrados devido à baixa concentração dos volumes contaminados acumulados em picos de chuva.

Após o sistema de filtros de casca de nozes, foi construída uma Bacia de Equalização com volume útil de 5.000 m³, que corresponde a um tempo de residência hidráulico de 8,3 horas na vazão máxima. Ela está dividida em duas câmaras iguais e paralelas à direção do fluxo, com misturadores submersos para homogeneização do líquido, com a finalidade de amortecer picos de carga para o tratamento biológico.

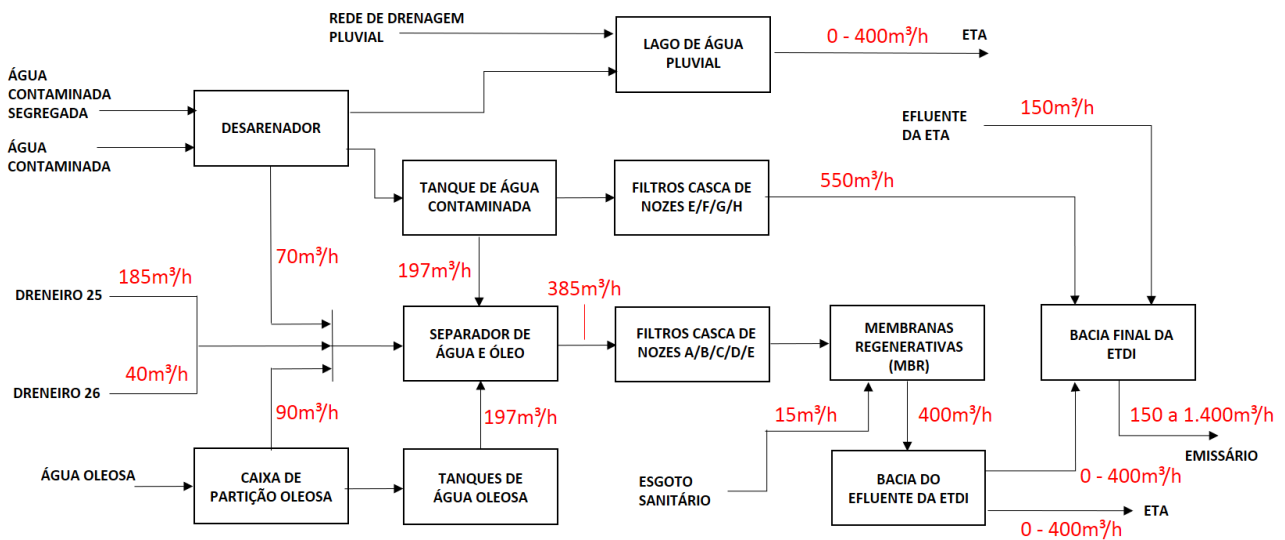
O sistema de tratamento biológico é um sistema de lodos ativados com uso de tecnologia de membranas do tipo MBR (Membrane Biological Reactor – Reator Biológico de Membranas). Este sistema foi selecionado por fornecer a qualidade exigida para reúso de efluentes, ou seja, alta eficiência de remoção de carga orgânica e amônia e grande estabilidade do processo. O sistema de membranas oferece um processo com uma alta taxa de filtração com remoção absoluta de partículas de dimensão de até 1µm, bactérias e coliformes fecais e vírus, necessitando de menor área para sua instalação que sistemas convencionais. Esse sistema opera com fluxo contínuo e ascendente de ar ao lado da membrana em contato com os sólidos, para limpeza e/ou facilitação de fluxo de líquido. Possui seis conjuntos de membranas e tem vazão de projeto da ordem de 400m³/h.

Ar disperso é introduzido na parte inferior das câmaras das membranas com objetivo de criar turbulência e cisalhamento da superfície, com a finalidade de polir e remover partículas que ficam aderidas nas membranas. O sistema de aeração da câmara aeróbica foi projetado de forma a permitir a redução do consumo de energia na condição normal de operação quando o consumo de oxigênio é reduzido. Para tal existem medidores de pH e oxigênio dissolvido em cada tanque de aeração, o que permite o acionamento de sopradores reserva. O sistema de aeração foi projetado considerando as restrições ambientais de baixa emissão de aerossóis e odores. O sistema é responsável pela remoção de carga orgânica, nitrificação e denitrificação parcial do efluente e é formado por duas câmaras anóxicas, duas câmaras aeradas e quatro câmaras de membranas.

A ETDI possui o seu próprio Tanque (Sump) de Drenagem. Trata-se da Caixa de Drenagem Contaminada da própria ETDI. Toda a água acumulada no Sump é encaminhada ao Separador Água e Óleo (SAO). Possui ainda um Sistema de Tratamento de Lodo, que diferencia Lodo Oleoso de Lodo Biológico. O Lodo Oleoso, assim designado, é o lodo recolhido por gravidade a partir das moegas de fundo do SAO API. O Lodo Biológico, como é chamado, é bombeado diretamente do fundo das câmaras das membranas do MBR. Os lodos são tratados separadamente com processo de adensamento por centrifugação e o efluente líquido retorna para o SAO API.

Alguns sistemas apresentam escoamento para a ETDI de forma contínua, outros o fazem em regime de batelada. Isso depende de vários fatores operacionais, estabilidade dos processos e qualidade da matéria prima (tipo de petróleo) utilizada no momento. Os valores das vazões de projeto da Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI estão agrupados no esquema representado na figura 16 a seguir.

Figura 16 – Esquema funcional da ETDI da RNEST com valores de vazão de projeto

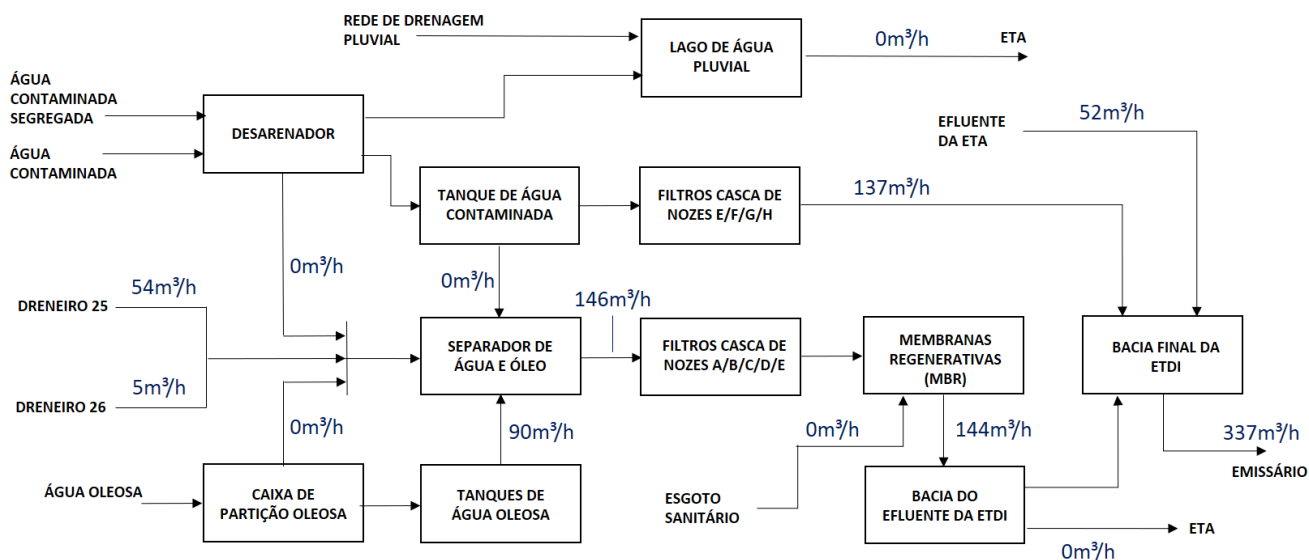


DRENEIRO: Tanque Dreneiro; ETA: Estação de Tratamento de Água; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; SAO: Separador de Água e Óleo

Fonte: Autor, 2015

Com apenas um conjunto de refino, e estando em fase de ajustes para o aumento da produção, a RNEST opera hoje com cerca de 35% de sua capacidade. Ajustes nas unidades de processo e tratamento de derivados, permitirão o incremento de carga compatível com sua capacidade atual. A baixa carga de petróleo processado tem reflexo direto nas vazões de água das correntes que seguem para a ETDI, de origem nos Tanques Dreneiros. O tanque que opera ligado diretamente a dessalgadoras denota vazão compatível com o volume da carga processada, como se pode comprovar na figura 17, correspondente ao esquema funcional da ETDI.

Figura 17 – Esquema funcional da ETDI da RNEST com a média das vazões reais

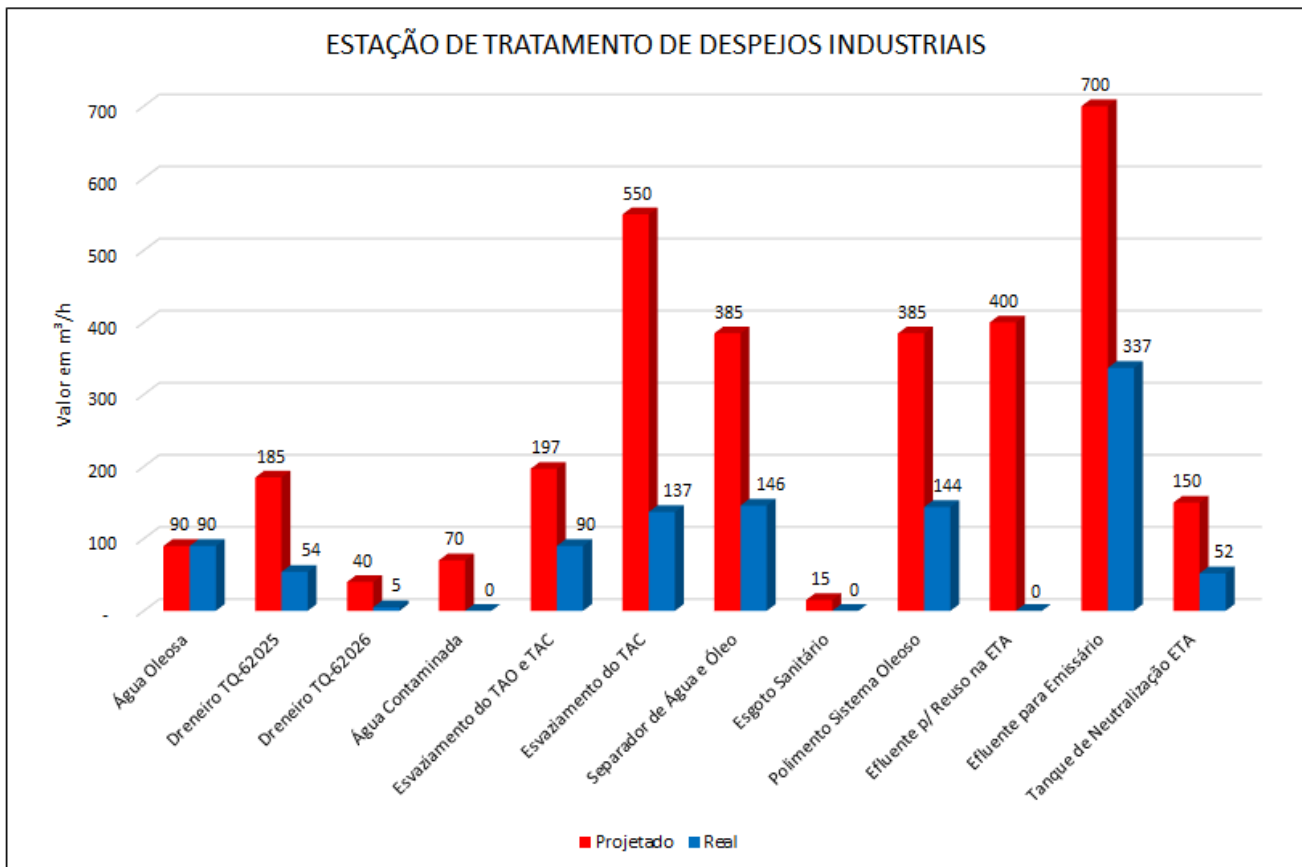


DRENEIRO: Tanque Drenheiro; ETA: Estação de Tratamento de Água; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; SAO: Separador de Água e Óleo

Fonte: Autor, 2015

Os reservatórios de água pluvial, projetados para reaproveitamento de água de chuva ainda aguardam por conclusão de suas atividades de construção e montagem. Embora não tivesse sido escolhido o instrumento de vazão da água pluvial para a ETA, sentimos a necessidade de fazer aqui o registro de vazão nula para que se discuta a importância dessa corrente de reúso. Já a vazão de envio para o emissário apresenta valor significativo uma vez que toda a água tratada via tratamento secundário da ETDI (MBR) ainda segue completamente para o emissário submarino, não ocorrendo o transporte dessa corrente para a ETA, ou seja, sem o reúso. No gráfico 2 pode ser feita melhor comparação entre os valores de vazão projetado e real.

Gráfico 2 – Comparativo das vazões de água na ETDI: Projetado X Real

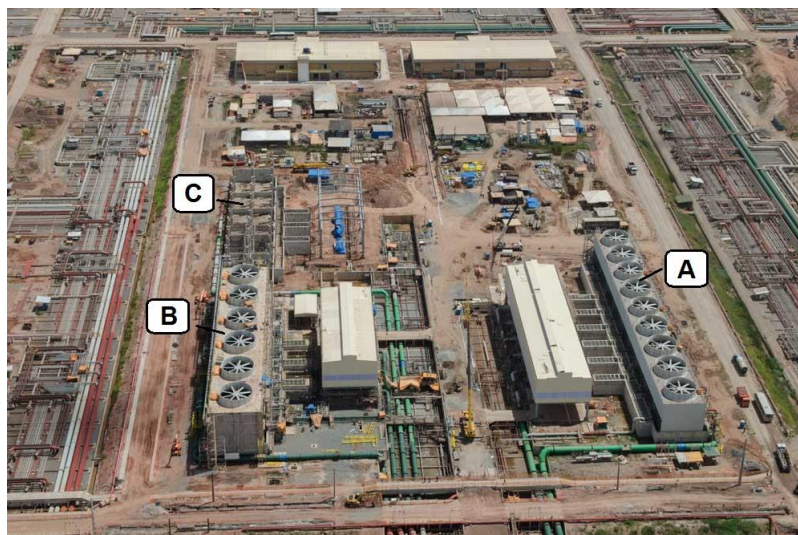


Fonte: Autor, 2015

4.1.3 SISTEMA DE TORRES DE RESFRIAMENTO

O sistema de água de resfriamento da RNEST composto por 3 (três) torres de resfriamento sendo uma (A) destinada a CAFOR, uma segunda (B) para as unidades de processo e uma terceira torre (C), com obras iniciadas, conforme a figura 18 a seguir, para atender às novas unidades que estão em processo de construção.

Figura 18 – Vista aérea das Torres de Resfriamento da Área Industrial da RNEST



A: Torre da Cafor; B: Torre do Processo trem 1; C: Torre de Processo trem 2

Fonte: Petrobras, 2014

TORRE DE RESFRIAMENTO DA CASA DE FORÇA – CAFOR

A água quente proveniente da CAFOR retorna para uma Torre de Resfriamento, através de tubulação única, que se deriva em ramais ascendentes para atender a cada célula individualmente, construídos de modo a permitir medição de vazão por célula. Cada derivação individual é provida de válvula de regulagem e figura oito para bloqueio, permitindo manutenção/parada segregada, por célula. Existe indicação de vazão no Sistema Distribuído de Controle Digital (SDCD) no ramal de retorno para cada célula. A purga contínua é enviada para a Estação de Tratamento de Água (ETA), onde tem tratamento específico para reúso. A purga intermitente (transbordo das bacias) é encaminhada para o Sistema de Água Oleosa (SAO-ETDI).

Dados de projeto:

- Pressão no retorno de água (próximo à base da torre): 1,5 kgf/cm²
- Temperatura de água fria (suprimento): 31°C
- Temperatura de água quente (retorno): 40°C
- Temperatura de bulbo úmido: 24,8°C

O fluxo de água no sistema da torre de resfriamento da CAFOR é garantido pelo funcionamento de 5 (cinco) bombas de água de resfriamento, sendo três acionadas a motor elétrico e duas acionadas por turbinas a vapor. Em condições normais três permanecem em

operação contínua e duas na condição de reserva.

TORRES RESFRIAMENTO DO PROCESSO

A água quente proveniente das unidades de processo retorna uniformemente para uma Torre de Resfriamento através de header único, que se deriva em ramais ascendentes para atender a cada célula individualmente, construídos de modo a permitir medição de vazão por célula. Cada derivação individual é provida de controle de vazão manual com o uso de válvula de regulagem e figura oito para bloqueio, permitindo manutenção/parada segregada, por célula. A purga contínua é enviada para a Estação de Tratamento de Água (ETA), onde tem tratamento específico para reúso. A purga intermitente (transbordo das bacias) é encaminhada para o Sistema de Água Oleosa (SAO-ETDI).

Dados de projeto:

- Pressão no retorno de água (próximo à base da torre): 1,5 kgf/cm²
- Temperatura de água fria (suprimento): 31°C
- Temperatura de água quente (retorno): 43°C
- Temperatura de bulbo úmido: 24,8 °C

O fluxo de água no sistema das torres de resfriamento do processo é independente e garantido pelo funcionamento de três (3) bombas de água de resfriamento cada, sendo duas acionadas a motor elétrico e uma acionada por turbina a vapor. Em condições normais duas bombas permanecem em operação contínua e uma na condição de reserva. Desse sistema, encontra-se em operação somente uma das torres, uma vez que a segunda torre pertence ao segundo conjunto operacional da refinaria, ali identificado como “Trem 2”, ainda em fase de conclusão.

ÁGUA DE REPOSIÇÃO NAS TORRES DE RESFRIAMENTO (MAKE-UP)

No que se refere ao sistema de água de reposição (make-up), a água chega ao canal coletor de cada torre de resfriamento à temperatura ambiente e a vazão de projeto dessa água de reposição para cada torre ocorre da seguinte forma: para a torre de resfriamento da CAFOR é prevista uma vazão de 595m³/h (figura 19) para uma vazão de circulação de 27.900 m³/h, com 9°C de variação de temperatura e 06 ciclos de concentração e para as torres de

resfriamento do Processo estão previstas vazões de 327m³/h, para 14.500 m³/h de água circulante, 12°C de variação de temperatura e 06 ciclos de concentração, cada.

A água de reposição chega ao Limite de Bateria (LB) de cada torre através de uma única linha principal proveniente da ETA, ramificando para o canal coletor de cada uma das torres. O controle de vazão (demanda) é feito por válvula de controle de nível junto ao canal de cada torre. Existem transmissores de nível instalados no canal de cada torre, com indicação de nível, alarmes de nível alto, baixo (dois níveis) e muito baixo, e indicação de temperatura do canal no Sistema Digital de Controle Distribuído – SDCD.

As características da água de make-up, proveniente dos tanques de água filtrada localizados na ETA estão descritas na tabela a seguir:

pH	6,5 – 8,5
Turbidez (NTU)	< 1,0
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	15,6
Sílica (mg/L SiO ₂)	6,9
Sulfatos (mg/L SO ₂)	5,0
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	< 25,0
Cloretos (mg/L Cl)	6,3
Ferro (mg/L Fe)	0,3
Material orgânico (mg/L O ₂)	n.d
Cloro residual (mg/L)	n.d
Condutividade (µS/cm ²)	83,0.

Obs.: n.d = não determinado.

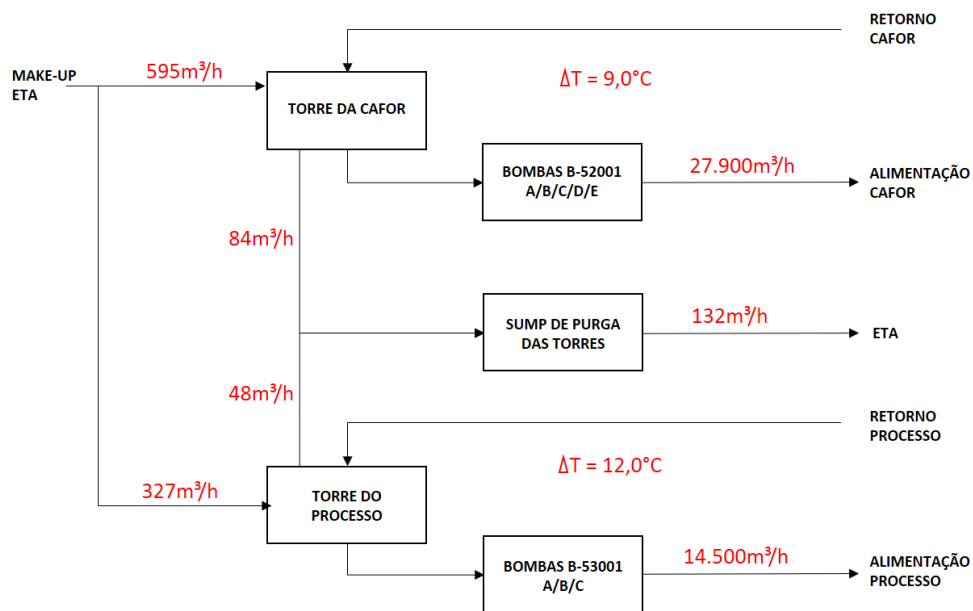
ÁGUA DE PURGA DAS TORRES DE RESFRIAMENTO

Quanto ao sistema de purga das torres, Vanelli (2004) nos diz que, em função das perdas por evaporação, o conteúdo de sais na água circulante aumenta, sendo necessário purgar continuamente o sistema, descarregando uma fração da água circulante para o esgoto oleoso. Outras perdas decorrem do arraste de gotas de água pelo vapor que sai pelo topo da torre de resfriamento, e que o conteúdo de sais (cloretos, carbonatos, etc.) deve ser continuamente controlado, a fim de evitar a formação de incrustações no sistema de

distribuição ou corrosão nos consumidores. Para o autor ainda, as torres de água de resfriamento sofrem constantes purgas a fim de eliminar os sais decantados para evitar o aumento na concentração de sais na torre, decorrente das perdas de água por evaporação.

O controle de sólidos dissolvidos na água de resfriamento é realizado através de purga contínua no coletor de retorno de água quente de cada uma das torres, através de válvula de controle manual, acionada no campo ou pelo SDCD, e medição de vazão com indicação local e no SDCD. As purgas das torres de resfriamento são enviadas para um tanque (Sump) enterrado, sem cobertura, localizado na área das torres, de onde são bombeadas para a ETA. A vazão de purga estimada para a torre da CAFOR é de $84\text{m}^3/\text{h}$ e a vazão de purga estimada para as torres de processo é de $48\text{m}^3/\text{h}$ cada, totalizando $180\text{m}^3/\text{h}$, mas ao considerar apenas uma das torres de processo em operação, o total passa a ser de $132\text{m}^3/\text{h}$. O volume do “Sump” está dimensionado para, pelo menos, 1 hora de vazão de purga. O esquema com os valores das vazões de projeto estão representados na figura 19.

Figura 19 – Esquema das vazões de água projetadas para as torres de resfriamento



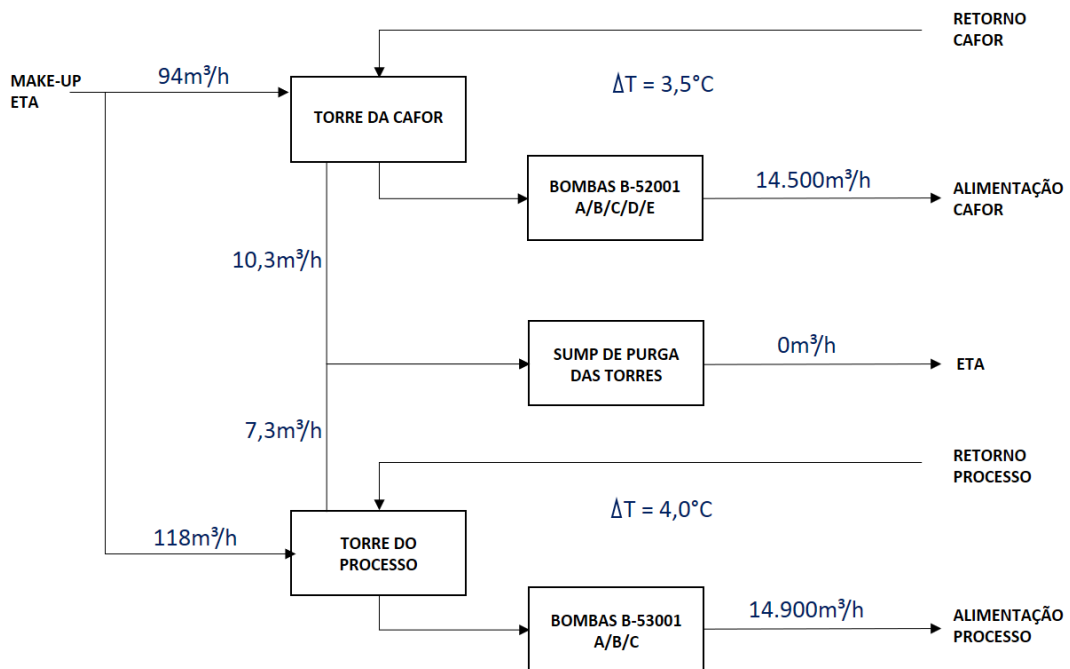
CAFOR: Casa de Força; ETA: Estação de Tratamento de Água; Torre: Torre de Resfriamento.

Fonte: Autor, 2015

Na água de resfriamento, a parcela que evapora representa uma perda calculada. Estudos e experimentos avançam no desafio de reaproveitar parte dessa perda, mas nenhum dos processos já tentados tem se mostrado economicamente viável. A água de purga, no entanto, passa a ser contabilizada como reúso. Sua corrente pode ser destinada a

reaproveitamento, submetendo-se a processo primário de clarificação e dessalinização. Na figura 20 pode ser confirmada a relação direta existente entre as vazões de reposição, as vazões de recirculação e as diferenças de temperatura (entrada x saída) de cada conjunto, e o gráfico 3 melhor representa a comparação entre as vazões projetada e real das torres de resfriamento.

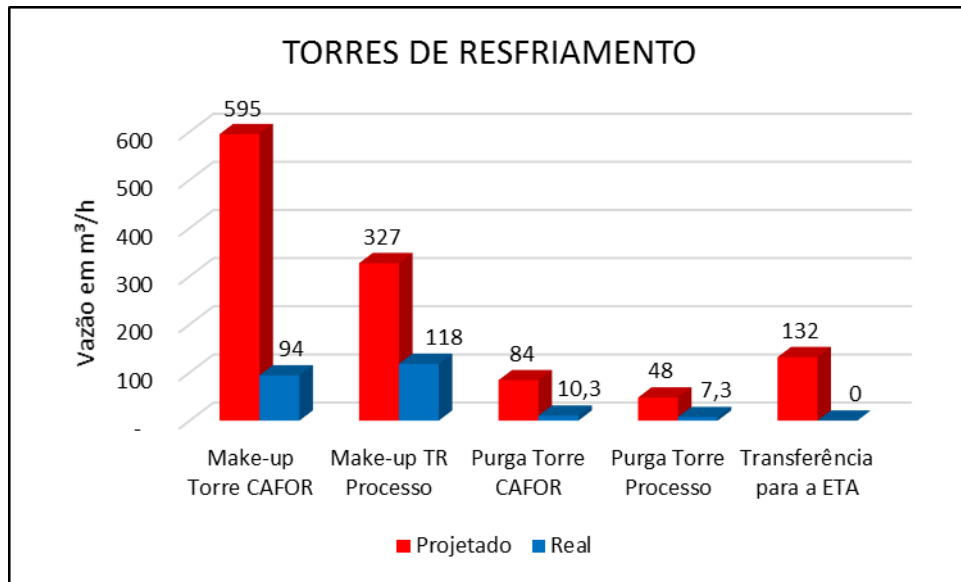
Figura 20 – Esquema das vazões médias reais de água nas torres de resfriamento



CAFORA: Casa de Força; ETA: Estação de Tratamento de Água; Torre: Torre de Resfriamento.

Fonte: Autor, 2015

Gráfico 3 – Comparativo das vazões de água nas TORRES: Projetado X Real



Fonte: Autor, 2015

4.1.4 CASA DE FORÇA - CAFOR

Como uma unidade da refinaria responsável pelo sistema de produção e distribuição de vapor, a Casa de Força – CAFOR, no que se refere aos sistemas de água, possui as seguintes funcionalidades: Carregamento e Estocagem de Água Desmineralizada; Sistema de Distribuição de Água Desmineralizada; Sistema de Distribuição de Água Desaerada; Sistema de retorno do condensado bombeado dos TG's. Segue, na figura 21, imagem aérea da CAFOR da RNEST.

Figura 21 – Vista aérea da Casa de Força – CAFOR da RNEST



Fonte: Petrobras, 2014

No sistema de carregamento e estocagem de água desmineralizada, a água que alimenta a CAFOR é recebida nos limites da unidade, tendo como origem a Estação de Tratamento de Água – ETA, e então é encaminhada para armazenagem em 2 (dois) tanques, que servem de pulmão para a unidade. Os tanques de água desmineralizada da CAFOR com volume útil igual a 4.934 m³ cada, são dotados de controle automático de nível, o que garante nível funcional nos tanques, ao passo em que evita perdas por transbordamento.

Quanto ao sistema de distribuição de água desmineralizada, os tanques de armazenagem de água da CAFOR alimentam um coletor comum interligado à sucção de 4 (quatro) bombas de água desmineralizada, que operam com vazão de até 760m³/h. Um outro coletor comum instalado na descarga dessas bombas alimenta os seguintes consumidores:

- Água para os Desaeradores;
- Água de arrefecimento rápido dos vasos de condensado limpo de baixa pressão;
- Fluido de barreira para bombas de água de caldeira localizadas em unidades de processo fora da CAFOR.

A CAFOR possui 4 (quatro) desaeradores térmicos, para atendimento de toda a demanda de água desaerada da refinaria. A função principal do desaerador térmico é remover o oxigênio dissolvido, o dióxido de carbono e outros gases incondensáveis da água de alimentação das caldeiras, a fim de prevenir corrosão em tubulações, economizadores, caldeiras e trocadores de calor. Existe constante alimentação do produto químico hidrazina à água no desaerador (desaeração química) e acrescido vapor (desaeração mecânica). A água e o vapor são misturados à uma velocidade controlada ocasionando o aumento da temperatura da água e ao mesmo tempo os gases incondensáveis dissolvidos são liberados e removidos, como resultado dos dois processos: químico e mecânico.

A alimentação de água de cada desaerador é feita com base no seu nível de água. A admissão de vapor de desaeração é feita por conexão direta com os coletores de vapor com pressão da ordem de 3,5kgf/cm². A dosagem de hidrazina é realizada conforme verificação de material residual durante exame laboratorial. Antes de chegar aos desaeradores, a água desmineralizada passa por trocadores de calor, que tem a função de promover o resfriamento de condensado sujo em contra-fluxo, aproveitando já o calor proveniente dessa troca.

Para Vanelli (2004), da mesma maneira que as torres de água de resfriamento, as caldeiras (geradoras de vapor) também devem efetuar purgas constantes, a fim de evitar a

concentração de sais, principalmente silicato de cálcio, no interior de seus tubos. Quanto maior a recirculação de condensado recuperado numa caldeira, menor é a reposição necessária de água desmineralizada, e, por conseguinte, maior será a necessidade de purgas. A qualidade das purgas das caldeiras geradoras de vapor é muito boa, podendo ser utilizadas como água de reposição para água de resfriamento ou outros fins. No caso da RNEST, a purga contínua das caldeiras está conectada à linha de retorno da torre de resfriamento das unidades de processo.

SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DESAERADA

A água acumulada nos vasos pulmões dos desaeradores alimenta dois coletores de 24". Cada um dos coletores alimenta a sucção de dois grupos independentes de bombeamento, denominadas: Bombas de Super-alta Pressão (193kgf/cm²) e Bombas de Alta Pressão (105kgf/cm²).

As Bombas de Super-alta Pressão alimentam as caldeiras, elas são quatro no total, sendo duas com acionamento por motor elétrico e duas acionadas por turbinas a vapor. Este conjunto, por projeto deve operar com uma vazão normal de 520m³/h. No processo de alimentação das caldeiras, cada caldeira possui um pré-aquecedor de água para promover um pré-aquecimento da água de alimentação, a fim de prevenir a formação de ácido sulfúrico no lado do gás dos economizadores, ocorrência possível quando da queima de óleo com alto teor de enxofre. A água de alimentação deve ser mantida a uma temperatura de aproximadamente 180°C na saída dos pré-aquecedores, garantindo que o SO₂ dos gases de exaustão das caldeiras não condense.

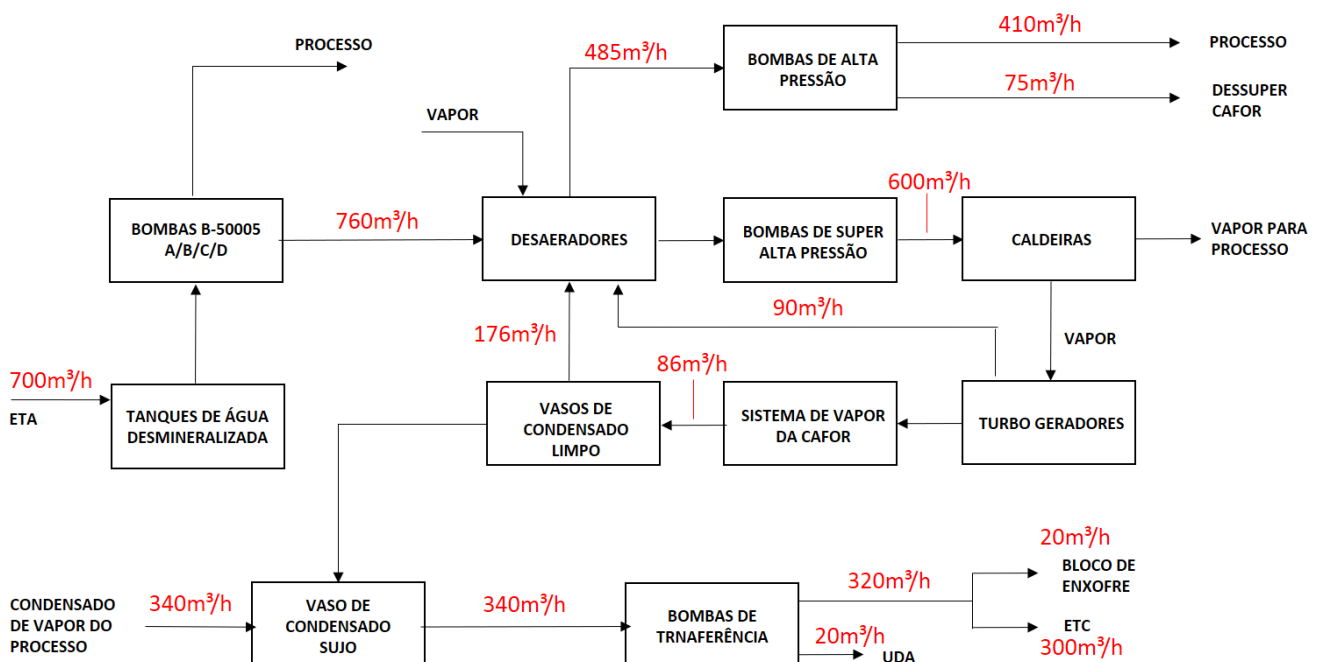
As Bombas de Alta Pressão, são responsáveis pelo envio de água do desaerador para as unidades de processo. Duas (2) delas possuem acionamentos elétricos e, outras duas (2), acionamento turbinado, perfazendo um total de quatro (4) bombas. Essas bombas possuem extrações intermediárias que operam com pressão de 77 kgf/cm², para uma vazão de 75m³/h, enquanto o recalque principal opera com 105 kgf/cm², para uma vazão de 410m³/h. As extrações intermediárias alimentam estações condicionadoras de vapor na função de dessuperaquecimento e dessuperaquecedores das extrações dos turbo-geradores. Os recalques de pressão mais alta suprem a demanda de processo da refinaria.

SISTEMA DE RETORNO DE CONDENSADO

A CAFOR possui dois sistemas de recolhimento de condensado: “Condensado Limpo” e “Condensado Sujo”. É considerado condensado limpo, todo o condensado de vapor produzido na própria CAFOR, recolhido em pontos de drenagem de linhas, em trocadores de calor e nos condensadores dos turbo-geradores. O “Condensado Limpo” é bombeado para um coletor, que alimenta diretamente os desaeradores. A vazão do condensado limpo deveria representar cerca de 60% da vazão de água utilizada para gerar o vapor consumido especificamente na CAFOR.

É considerado condensado sujo todo o condensado de vapor produzido nas unidades de processo. Essa denominação é considerada preventiva, uma vez que há possibilidade de contaminação desse condensado pela presença de hidrocarbonetos durante o trajeto do vapor. Para o “Condensado Sujo”, a CAFOR possui uma estação de condicionamento, recolhimento e envio de condensado, tendo como principal destino a ETA, que possui uma Estação de Tratamento de Condensado - ETC, onde deverá reclassificá-lo, após tratamento, como “Água Desmineralizada”. O sistema da ETC foi projetado para uma vazão de até $436\text{m}^3/\text{h}$, mas só deve normalmente com uma vazão de até $340\text{m}^3/\text{h}$. Na figura 22 podemos observar, de forma esquematizada os valores de vazão de água desmineralizada projetados.

Figura 22 – Esquema das vazões de água desmineralizada projetadas para a CAFOR

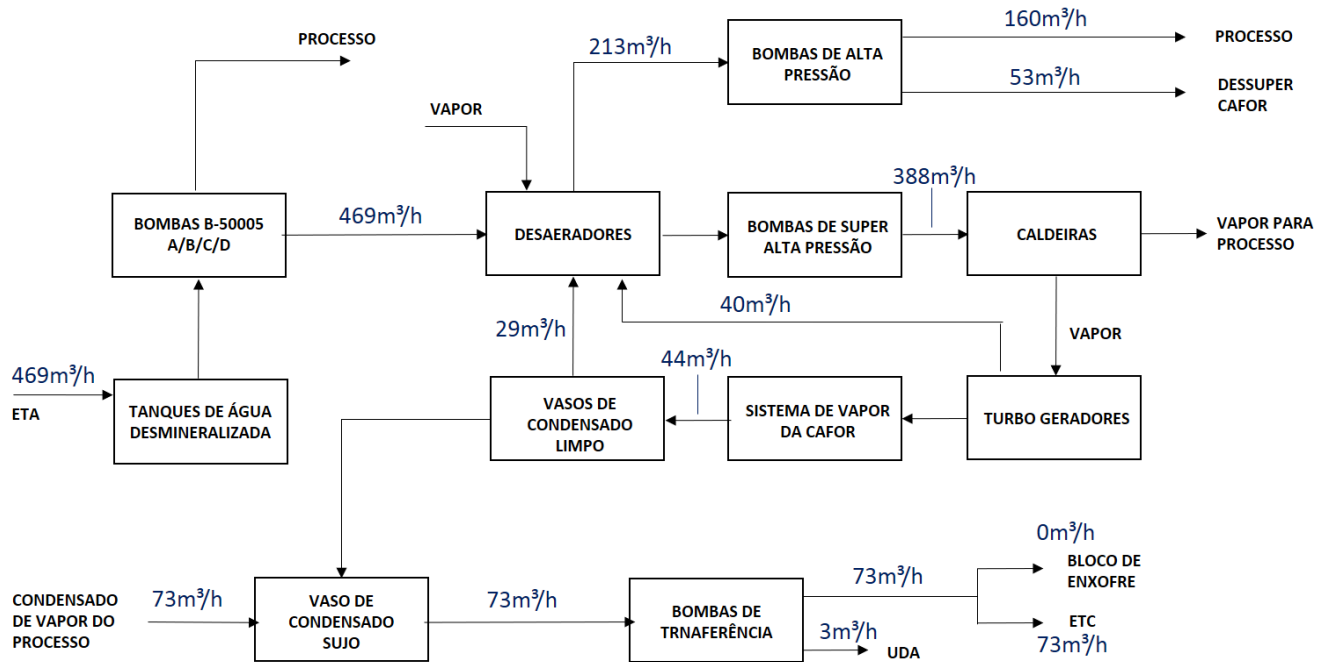


CAFOR: Casa de Força; ETA: Estação de Tratamento de Água; ETC: Estação de Tratamento de Condensado; UDA: Unidade de Destilação Atmosférica

A água utilizada para geração de vapor tem um valor agregado que suplanta as outras composições de água encontradas na refinaria. Ela pode ser considerada cara porque passa por um complexo processo de desmineralização. São necessárias várias etapas para especificação desse produto que é destinado ao uso nas caldeiras para geração de vapor. Mas esse vapor tem uma enorme parcela que se condensa ao longo das inúmeras quedas de pressão e trocas de calor, e resulta num produto de boa qualidade conhecido como “Condensado”. Esse condensado recebe classificações quanto à sua origem e pressão, chegando a merecer uma unidade industrial própria e específica de reaproveitamento conhecida como Estação de Tratamento de Condensado - ETC, que garante seu reaproveitamento para a própria caldeira. Existem ainda as correntes de purga das caldeiras que tem como destinação final a Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI.

O esquema representado na figura 23 indica reaproveitamento de condensado de vapor dentro da própria CAFOR (condensado limpo: 69m³/h) e um número pouco significativo para a recuperação de condensado de vapor, de origem nas unidades de processo (condensado sujo: 73m³/h). As caldeiras operam com carga próxima dos 50% de sua capacidade nominal, no entanto, o reaproveitamento de água proveniente do condensado de vapor ainda é muito pouco quando comparado à vazão de vapor produzido. A vazão de água desmineralizada para as unidades de processo já corresponde a quase metade da vazão projetada.

Figura 23 – Esquema das vazões médias reais de água na CAFOR

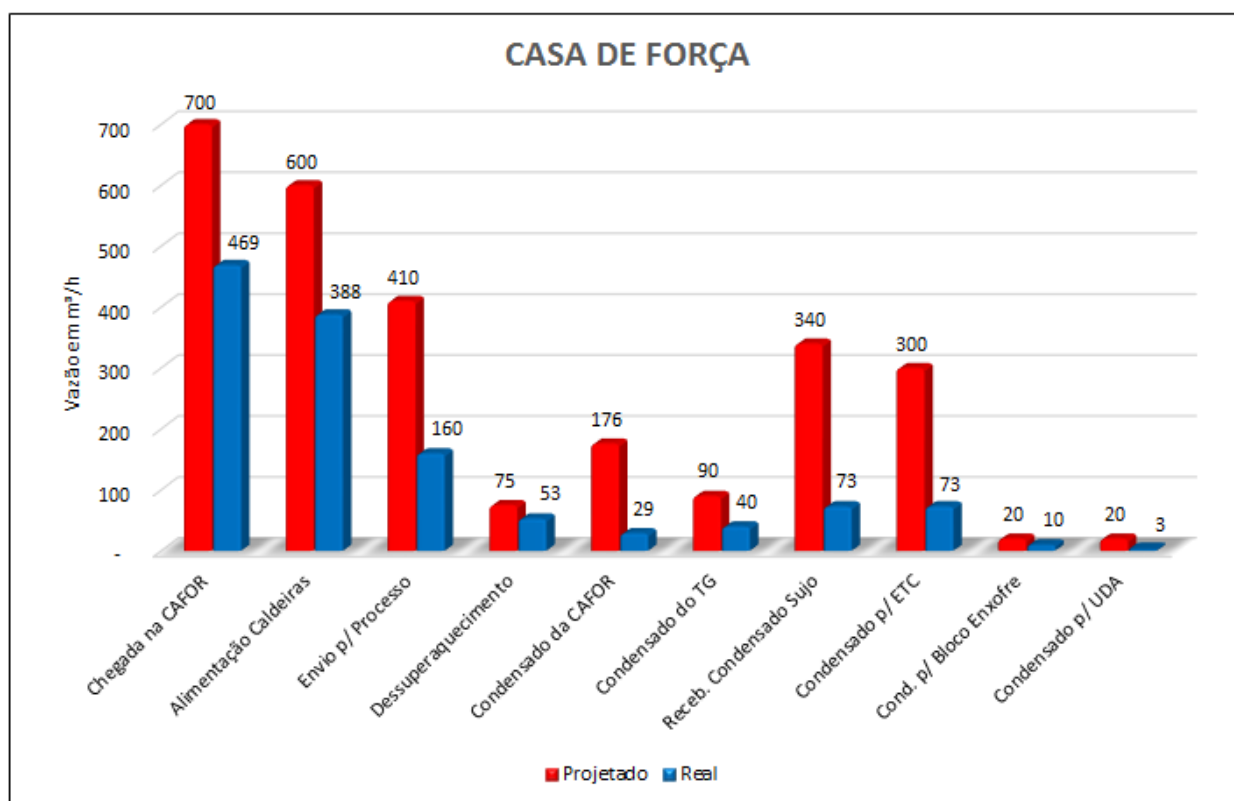


CAFOR: Casa de Força; ETA: Estação de Tratamento de Água; ETC: Estação de Tratamento de Condensado; UDA: Unidade de Destilação Atmosférica

Fonte: Autor, 2015

Quanto aos turbo-geradores, estes operam tendo o vapor como força motriz à uma pressão da ordem de $120\text{kgf}/\text{cm}^2$, mas somente um Turbo-gerador – TG encontra-se em operação. Sua capacidade de produção de energia elétrica é de 50MW (cinquenta megawatts), porém opera com valores entre 20 e 30MW no momento, e pode operar nas condições de extração e condensação. O gráfico 4 demonstra as diferenças existentes entre os valores de vazão projetados e os observados durante o período de monitoramento.

Gráfico 4 – Comparativo das vazões de água na CAFOR: Projetado X Real



Fonte: Autor, 2015

4.1.5 UNIDADES DE PROCESSO

As unidades de processo utilizam água, basicamente para resfriamento de produtos ou processos. No estado de vapor, a água tem utilização como força motriz para bombas, compressores e para aquecimento em geral. As principais unidades de processo da RNEST são:

- Destilação – UDA
- Hidrotratamento de Diesel – HDT de Diesel
- Hidrotratamento de Nafta – HDT de Nafta
- Unidade de Geração de Hidrogênio – UGH
- Unidade de Coqueamento Retardado – UCR
- Bloco de Enxofre⁸

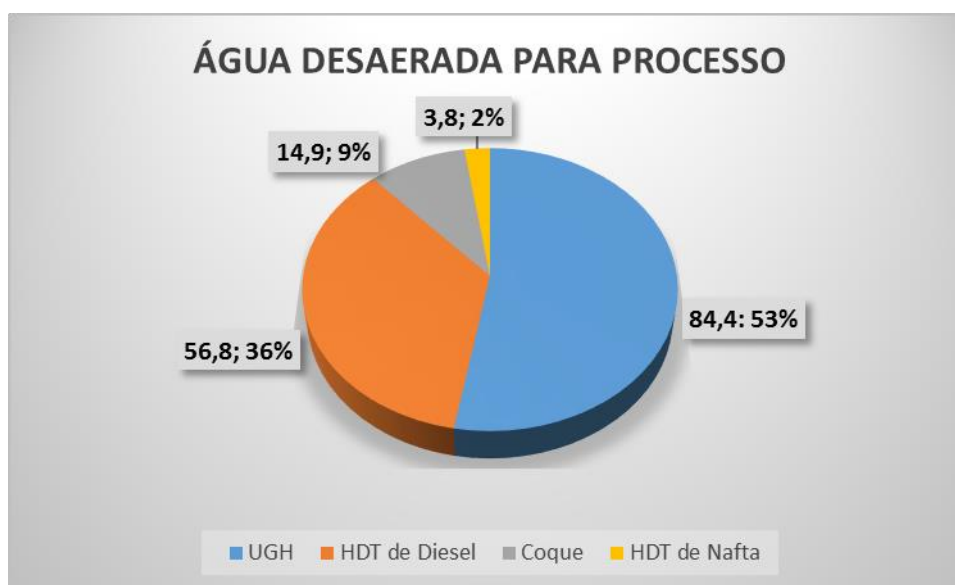
⁸ Bloco de Enxofre – Composto por unidades auxiliares de processo: MDEA, UTAA e SNOX.

A Unidade de Destilação Atmosférica (UDA) utiliza água para o processo de dessalgação, resfriamento de equipamentos e fluido barreira em bombas. Essa unidade é a que apresenta menor consumo dentre as unidades de processo.

As Unidades de Hidrotratamento de Diesel (HDT de Diesel), de Nafta (HDT de Nafta) e Unidade de Geração de Hidrogênio (UGH) utilizam água para o resfriamento de permutadores, bombas e compressores. Outros processos de resfriamento envolvendo produtos, devido à grande diferença de temperatura, entre o agente de resfriamento (água) e os produtos (derivados), da ordem de até 800°C, e em elevadas pressões de operação, ocorre a formação de vapor. Neste circuito, a água em circulação é a água desaerada, de origem na CAFOR. Uma parte desse vapor (Vapor de Alta, até 47kgf/cm²) é consumido internamente na UGH e uma outra pode ser exportada para o sistema de vapor da refinaria.

A Unidade de Coqueamento Retardado (UCR) utiliza água desmineralizada para selagem de equipamentos, nessa corrente de água ocorre somente a reposição de um tanque pulmão de pequeno porte para cobrir pequenas perdas. Essa unidade recebe ainda água, desaerada proveniente da CAFOR, no pré-aquecedor do forno de processo. Esses permutadores geram vapor (Vapor de Baixa, até 6kgf/cm²), que também pode ser compartilhado com o sistema de vapor da refinaria.

A parcela mais significativa de consumo de água nas unidades de processo era da água desaerada. Por projeto estimava-se uma vazão da ordem de até 410m³/h. Essa vazão era prevista para os dois conjuntos de refino em operação. Na condição atual, com apenas um conjunto em operação e em carga reduzida para este conjunto, foi percebida uma redução proporcional quando então se observa uma vazão média da ordem de 160m³/h de fornecimento de água desaerada para as unidades de processo. A distribuição de água desaerada se manteve constante durante o período observado, de 1 a 15/11/2015, por se notar pouca oscilação de carga durante a monitoração, e está representado no gráfico 5 essa distribuição.

Gráfico 5 – Distribuição de água desaerada para as unidades de processo (m³/h)

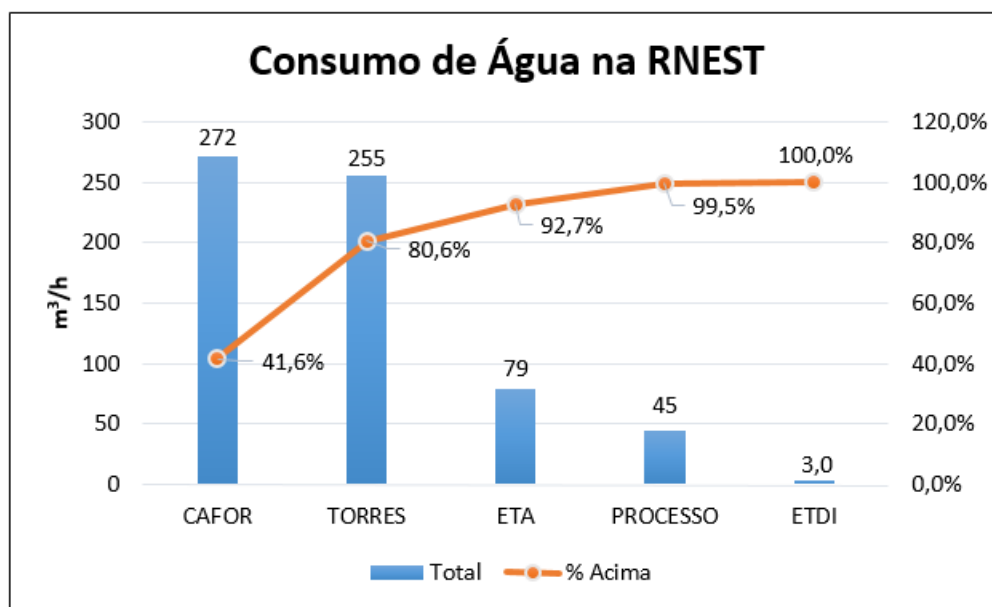
Fonte: Autor, 2015

4.2 INTERFACES DE MONITORAMENTO DE VAZÃO DE ÁGUA NA RNEST

As unidades monitoradas foram aquelas que têm como papel principal o tratamento e a distribuição de água: Estação de Tratamento de Água - ETA, Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI, Torres de Resfriamento – TORRES e Casa de Força – CAFOR, incluindo-se os instrumentos localizados nos limites entre estas unidades e as unidades de processo. A escolha das unidades se deu a partir da representação das vazões de consumo de água em Gráfico de Pareto, utilizando o software Excel® (gráfico 6), baseado na representatividade dos valores de vazão de água (m³/h) projetados e confirmados durante os primeiros momentos de monitoramento.

Foram formatados arquivos, contendo modelos de telas de operação, que podem ser lidos e trabalhados em qualquer computador da Companhia que tenha instalado, entre seus arquivos, o Plant Information® (PI). Os arquivos são abertos, e podem ser facilmente readequados, em caso de mudança das condições atuais verificadas e/ou implementação de novos instrumentos que se façam necessários, sem qualquer prejuízo à configuração.

Gráfico 6 – Gráfico de Pareto sobre consumo de água nas unidades da RNEST

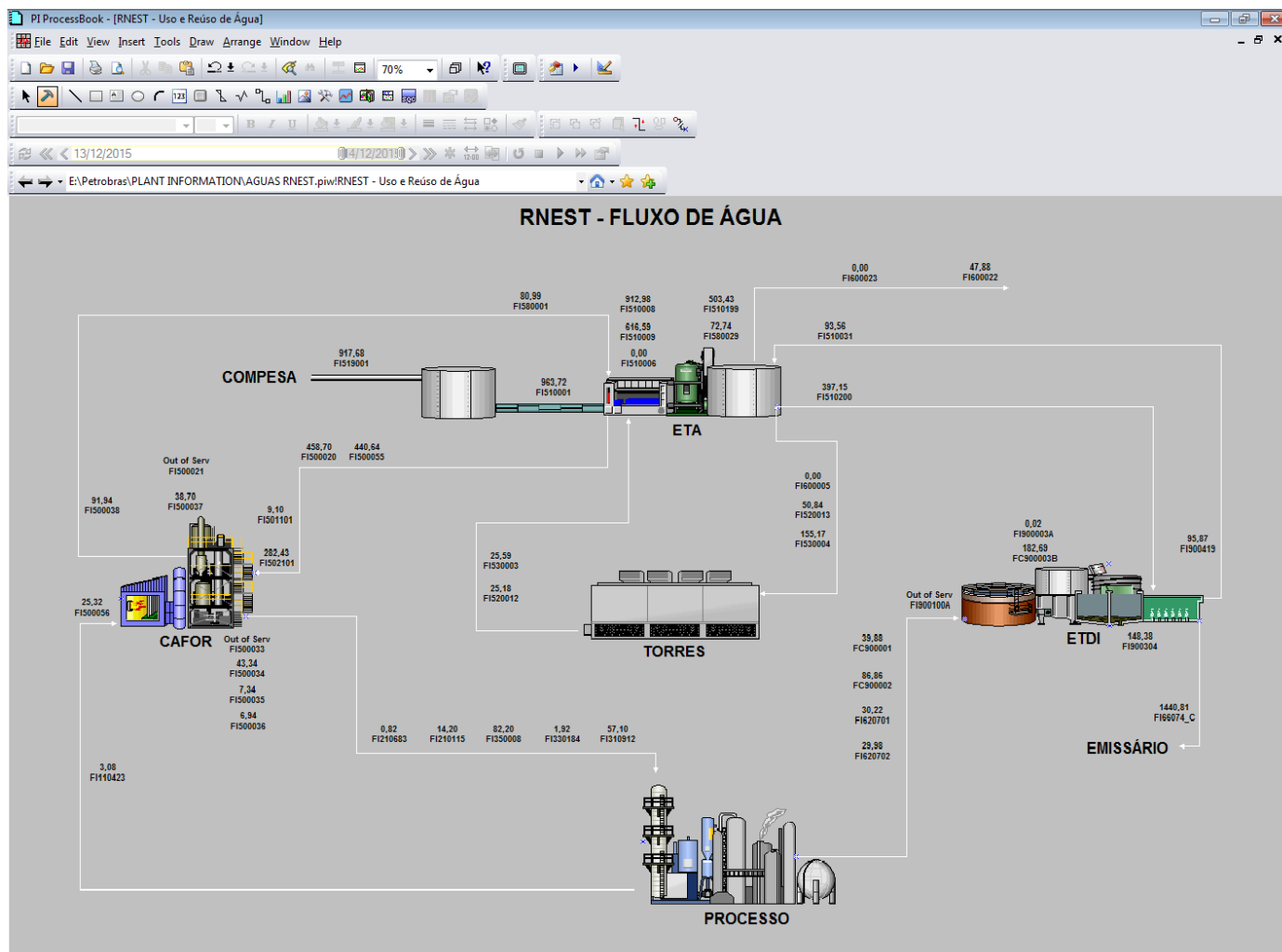


CAFOR: Casa de Força; TORRES: Torres de Resfriamento; PROCESSO: Unidades de Processo; ETA: Estação de Tratamento de Água; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais

Fonte: Autor, 2015

Foram realizados pré-testes de verificação “on-line” das configurações de tela e registro de alarmes implementados, o que assegurou a possibilidade do acompanhamento e registro das variações durante a operação das unidades de processo. Dentre os resultados foi obtida uma ferramenta de acompanhamento de variáveis, nos moldes das já utilizadas pela equipe de operação em outros processos no Centro Integrado de Controle (CIC), respeitando-se as diretrizes adotadas pela RNEST para este fim. Vale salientar que o material desenvolvido está disponível para as equipes de operação e para os gestores da unidade. Esta estratégia de trabalho será disponibilizada para as demais unidades do Sistema Petrobras, onde poderão ser identificadas as possibilidades de adaptação às diversas realidades. A figura 24 mostra um modelo de tela de monitoração criado com a interface de monitoração. A tela representa uma visão geral da refinaria. Outras 4 (quatro) telas foram criadas para cada uma das principais unidades já comentadas anteriormente.

Figura 24 – Tela de monitoração de Visão Geral da RNEST



Fonte: Autor, 2015

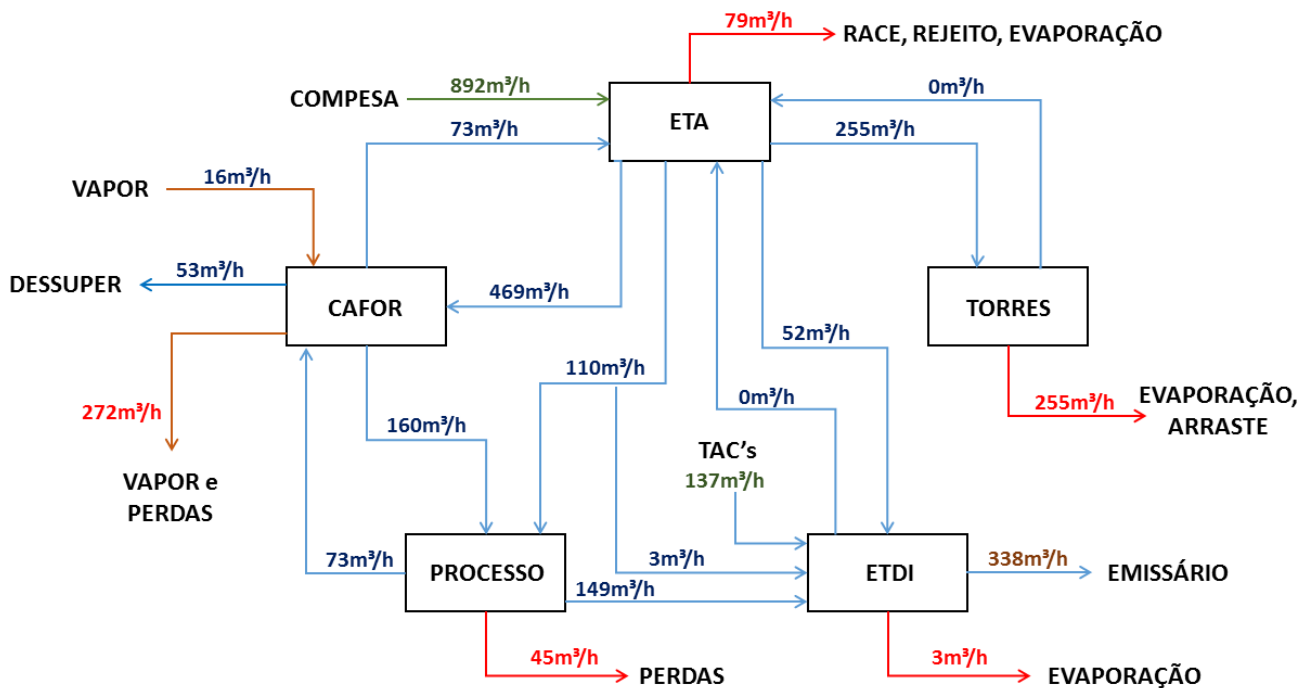
4.3 PARÂMETROS OPERACIONAIS DE USO E REÚSO DE ÁGUA NA RNEST

O estudo de identificação das principais demandas de água e geração de efluentes é conhecido como “*balanço hídrico da unidade industrial*”. Ele contém informações relevantes para as atividades de racionalização do uso da água, sem considerar os aspectos relacionados a sua qualidade e à composição dos efluentes (MIERZWA & HESPANHOL, 2005). Ainda segundo os autores, após o estágio de avaliação é preciso agrupar todas as informações de uma maneira simples e clara, com a indicação das demandas de água e geração dos efluentes, e a maneira mais simples de organizar tais levantamentos é elaborando um diagrama de blocos.

O balanço hídrico da unidade serviu de base para a determinação dos parâmetros de

operação dos sistemas de uso e reúso de água da refinaria, representando o estágio de avaliação. Os parâmetros foram definidos com base nas variações verificadas durante o período de 01/04 a 30/09/2015 e sofreram retificação no período de 01 a 15/11/2015, durante o processo de monitoramento. A figura 25 representa o balanço hídrico geral da RNEST.

Figura 25 – Balanço hídrico geral da RNEST



COMPESA: Companhia Pernambucana de Saneamento; ETA: Estação de Tratamento de Água; RACE: Rede de Água de Combate a Emergência; CAFOR: Casa de Força; TORRES: Torres de Resfriamento; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; PROCESSO: Unidades de Processo; TAC: Tanque de Água Contaminada; EMISSÁRIO: Emissário Submarino

Fonte: Autor, 2015

Com o objetivo de conferir os momentos de variações das vazões fora dos parâmetros especificados, foi utilizada uma planilha eletrônica em EXCEL®, configurada com avisos em forma de alarme, para os momentos em que os valores de vazão monitorados ultrapassassem números menores ou maiores que aqueles que poderiam ser considerados normais dentro de uma faixa de operação (figura 26). A faixa de operação utilizada compreende os valores dentro dos limites do desvio padrão.

Figura 26 – Planilha de alarmes de variação de vazões de água da
ETA, ETDI, TORRES, CAFOR e PROCESSO

Classificar Alarmes				ETA	ETDI	TORRES	CAFOR	PROC.	
Iniciar		OK - Minimizar		Criticidade 1	1	0	0	0	1
				Criticidade 2 e 3	0	1	1	0	2
SISTEMA	DESCRIÇÃO	TAG	VALOR	L	H	STATUS	CRITICO	ATIVO	TELA
ETA	DESCARGA B-60015A/B	FI600022	34,05	44,00	51,74	1	1	1	#N/D
ETDI	VAZ CORR TRAMO SCRAP1 DT EFLUENT	FI66074_C	-8,76	820,79	1915,19	1	2	1	#N/D
TORRES	AGUA REPOSICAD PARA TR-52001	FI520013	103,49	38,72	90,34	1	2	1	#N/D
ETA	AGUABRUTA HEADER DE ALIMENTACAO	FI510001	906,45	517,24	1206,89	0	1	1	#N/D
ETA	AGUA FILTRADA P/ TQ-51107/108	FI510008	887,93	518,90	1210,76	0	1	0	#N/D
ETA	AGUA FILTRADA P/ TQ-51701/702	FI510009	606,72	369,12	861,28	0	1	0	#N/D
ETA	DESCARGA B-60004A/B/C/D	FI600023	0,00	-	-	0	1	0	#N/D
ETA	DESCARGA B-60005A/B/C/D	FI600005	0,00	-	-	0	1	0	#N/D
ETA	RESID CONTRALAV DESC B51106AB	FI510006	0,00	-	-	0	1	0	#N/D
ETA	AGUA DESMI ENTRADA V51704AAF	FI510199	421,03	253,46	591,42	0	1	0	#N/D
ETA	COND SDA V-58004 P/ V-58005A..D	FI580029	149,71	83,77	195,45	0	1	1	#N/D
ETA	EFL NEUTRALIZADO P/CX EMISSARIO	FI510200	0,00	1,86	4,35	0	1	0	#N/D
ETDI	DESC MB-903000ABCDP/ NOZES/EQUAL	FI900304	96,61	0,08	0,18	0	1	1	#N/D
ETA	CONDENS ENTRADA DO TQ-58001/02	FI580001	79,65	65,73	153,36	0	2	0	#N/D
CAFOR	CONDENSADO SUJO P/ ETC	FI500038	82,22	30,00	100,00	0	2	0	#N/D
ETA	ENTRADA TQ-51001/2/3	FI519001	801,90	466,93	1089,50	0	2	1	#N/D
ETA	EFL TRAT ETDI SOL CL P 51501/502	FI510031	137,11	83,45	194,71	0	2	1	#N/D
ETA	PURGA DAS TORRES P/ TQ-51501/502	FI510020	Out of Serv	0,00	0,00	0	2	0	#N/D
ETA	PURGA TORRE P/CAIX DIV CXP-51401	FI510021	57,93	35,00	81,68	0	2	1	#N/D
ETA	AGUA CLARIFICADA P/ V-51401ABC	FI510207	0,00	0,00	0,00	0	2	0	#N/D
ETA	VAZAO TRAT PURGA DAS TORRES	FI510300	0,00	0,00	0,00	0	2	0	#N/D

ETA: Estação de Tratamento de Água; ETDI: Estação de Tratamento de Despejos Industriais; TORRES: Torres de Resfriamento;
CAFOR: Casa de Força; PROCESSO: Unidades de Processo.

Fonte: Autor, 2015

Para Nogueira (2007), a maior dificuldade no levantamento de dados, para uma abordagem mais abrangente e detalhada do balanço de água nos processos, é que boa parte das operações unitárias não conta com malhas de medição ou controle instalados. É necessário conhecimento e experiência nos seguintes aspectos: tomada de medições instantâneas e de estimativas para a determinação de vazões de fluxos desconhecidos; verificação da credibilidade da instrumentação existente e seleção de instrumentos de medição apropriados para alocação permanente. Esta dificuldade não é a realidade da Refinaria Abreu e Lima, que conta com malhas de controle e instrumentação em todas as suas unidades operacionais, inclusive, em alguns casos, com redundância de instrumentos.

4.4 PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO DO USO E REÚSO DE ÁGUA NA RNEST

O primeiro enfoque de qualquer atividade destinada a reduzir o consumo de água é a eliminação dos desperdícios, decorrentes principalmente do mau funcionamento de dispositivos ou, devido ao uso inadequado, condições operacionais inadequadas, ausência de instrumentos para a monitoração de variáveis de processo e até da prevalência da cultura de abundância de água nos diversos níveis hierárquicos das indústrias, como comentam Mierzwa & Hespanhol (2005). Ainda segundo os autores, a implantação de um programa de combate ao desperdício em todas as áreas da empresa nas quais a água é tratada, armazenada, distribuída e utilizada pode contribuir com a redução do consumo.

Para Pombo (2011), a prática de reúso só pode ser adotada caso as características do efluente disponível sejam compatíveis com os requisitos de qualidade exigidos pela aplicação em questão. Mancuso & Santos (2003) reiteram que o reúso, até há alguns anos tido como uma opção exótica, é hoje uma alternativa que não pode ser ignorada, notando-se distinção cada vez menor entre técnicas de tratamento de água e técnicas de tratamento de esgotos. Muitas refinarias têm analisado o seu efluente final para reutilização, o que pode elevar os custos de tratamento, sendo mais coerente avaliar o potencial de reúso dos efluentes no seu ponto de geração, como recomendado por Vanelli (2004).

Neste contexto, as unidades que merecem especial atenção pela sua importância, se apresentam como os principais atores na tarefa do reúso: a Estação de Tratamento de Água – ETA e a Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI. Ambas são responsáveis pelo controle do uso e por estabelecer as condições necessárias ao reúso desse recurso nas unidades de refino. Quando se pensa em reúso, pensa-se em estabelecer condições para que recursos, antes dispensados ao corpo receptor possam, agora, ser reaproveitados.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA

A Estação de Tratamento de Água – ETA possui sistema de água filtrada com bombas que, por projeto, devem atender a um dos lados da principal caixa de água da refinaria (Castelo) denominado Reúso. Apesar do nome, esta corrente deve receber água filtrada. Essa água deverá servir para uso em banheiros (vasos sanitários), limpeza de pisos, irrigação de

grama, etc... Sugerimos priorizar a conclusão e operação desse sistema, o que deve reduzir em 21m³/h o consumo de água potável em toda a área administrativa.

Uma das principais unidades destinadas ao tratamento das correntes de reúso, a Unidade de Eletrodíálise Reversa – EDR, está projetada para que seu produto tenha como destino os tanques de carga da Unidade de Desmineralização por Troca Iônica. Com menor rigor na questão da qualidade da água, também, o lado de reúso da Caixa de Água da Refinaria (Castelo) poderia receber essa corrente para os fins a que se destina. Para tanto, é necessário avaliar a possibilidade de uma interligação entre o tanque de produto da EDR e a linha de sucção das bombas de transporte de água da ETA para o Castelo.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS - ETDI

A principal corrente de reúso de toda a refinaria, dado o volume esperado, tende a ser o efluente da ETDI que tem como destino a ETA. É importante viabilizar a operação desta corrente de reaproveitamento de água para que se reduza de imediato o volume de aquisição externa de água. Também de operacionalização na área da ETDI, a rede de reaproveitamento da água de chuva (rede pluvial), deve ser priorizada para se avançar do atual estágio de construção para uma condição de operação dessa corrente de reúso. Essas duas correntes em operação podem representar, juntas e após tratamento, cerca de 300m³/h de reúso em média, na atual conjuntura operacional da Refinaria.

TORRES DE RESFRIAMENTO

Segundo Nogueira (2007), pesquisas realizadas em diversos países, inclusive no Brasil, procuram tornar viáveis o reúso de água em sistemas de resfriamento, como uma forma de suavizar o consumo total da planta industrial. Isto é possível porque, geralmente, estes sistemas não requerem uma água de reposição de excelente qualidade. Ao operacionalizar o sistema de tratamento de purga de torres e o sistema de tratamento de efluente da ETDI, deve-se realizar estudos no sentido de reaproveitar essa água na reposição das próprias torres de resfriamento. Vale salientar que, segundo Pombo (2011), evaporação, perdas devido à influência de ventos nas torres de resfriamento e lançamento do vapor gasto na atmosfera, constituem o maior uso de água. Água para refrigeração, drenagem das torres de

resfriamento e descarga do vapor condensado são exemplos típicos de água não empregada diretamente nas operações.

O volume de água que evapora nas torres de resfriamento é diretamente proporcional ao volume circulante na torre de resfriamento e à diferença de temperatura. Um controle de temperatura nas torres de resfriamento com automatização dos ventiladores pode reduzir a diferença de temperatura e, por conseguinte, reduzir o volume de água que evapora. Já o volume de purga das torres tem ligação direta com os ciclos de concentração e isso corresponde a controle de qualidade da água das torres.

A torre de resfriamento que atende à CAFOR opera hoje apenas em função de um (1) turbo-gerador. Esta torre foi projetada para o resfriamento de até 4 (quatro) turbo-geradores. O bloqueio de parte das células de resfriamento da torre, proporcional à demanda, pode vir a reduzir o volume de água circulante e o número de ventiladores em operação, isso também deve diminuir o volume de água que evapora na torre de resfriamento.

CASA DE FORÇA - CAFOR

De acordo com Vanelli (2004), a geração de vapor em caldeiras, aos níveis praticados em refinarias, requer uma alimentação de água de alta qualidade, praticamente isenta de íons, que poderiam causar incrustação nas caldeiras. Deste modo, é economicamente viável que a maior parte do vapor gerado nas caldeiras seja recuperado como condensado. Segundo o autor, o vapor utilizado em aquecimento ou acionamento de turbinas não entra em contato com outros produtos e pode ser recuperado como condensado limpo, passando por uma purificação, e a perda de condensado devido a vazamentos é normalmente decorrente de problemas mecânicos em purgadores de vapor e válvulas de bloqueio com vazamento, e, mais raramente, furos em tubulações.

As linhas de água desmineralizada presentes na CAFOR operam, em sua maioria, com valores elevados de pressão. Linhas de alta pressão, provenientes das bombas de alimentação do processo atingem valores de até 104kgf/cm² e bombas de alimentação das caldeiras, com pressão de até 193kgf/cm². Esses níveis elevados de pressão concorrem para um volume expressivo de vazamentos em juntas, válvulas, gaxetas, conexões, etc... Propomos a operacionalização de um plano de manutenção específico com prioridade para contenção de

perdas de água.

Na área da Casa de Força – CAFOR, tubulações que transportam o vapor são dotadas de purgadores de condensado e interligadas a linhas de recuperação de condensado limpo. Fora da CAFOR, o sistema segue nas tubovias para as demais unidades com a seguinte configuração: 4 (quatro) quilômetros de linha de vapor de alta pressão (40 a 47kgf/cm²), 12 (doze) quilômetros de linha de vapor de média pressão (15 a 20kgf/cm²) e 23 (vinte e três) quilômetros de linha de vapor de baixa pressão (3 a 6kgf/cm²). Todas as linhas de vapor são dotadas de purgadores automáticos e que não estão interligados a uma linha de recuperação. O condensado de vapor de origem nesses purgadores vai direto para a ETDI. Esse condensado de vapor pode ser recuperado na Estação de Tratamento de Condensado - ETC se houver coleta e encaminhamento dessa corrente para a ETA. É importante que haja um estudo de viabilidade econômica para um projeto dessa natureza por se tratar de um volume que pode chegar a 120m³/h.

UNIDADES DE PROCESSO

Assim como no caso da CAFOR é importante, também nas unidades de processo, intensificar a questão de check-list tanto para as questões de vazamentos de água, quanto para os aspectos de recuperação de condensado. Os equipamentos movidos a vapor e outros sistemas que também dependem dele para funcionamento, durante os momentos de partida, são aquecidos através de alinhamento de drenos para a corrente contaminada (ETDI). Após o funcionamento alguns desses alinhamentos permanecem fora da rede de recuperação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma leitura das condições reais de operação, realizada durante o monitoramento, permitiu que se pudesse verificar o comportamento dos sistemas de uso e reúso de água da refinaria durante as variações operacionais dos sistemas de produção. Os valores de vazão encontrados durante o período de monitoramento indicaram, em alguns casos, haver perdas, que foram verificadas e corrigidas em campo. Em outras situações, recomendou-se às equipes de manutenção a verificação do funcionamento dos instrumentos.

Durante a operação e manutenção de uma unidade de refino é utilizado um contingente significativo de mão de obra, responsável pela permanência em operação 24 horas por dia. Higiene e conforto são necessários para garantir, às pessoas, condições de trabalho. O uso de banheiros, lavatórios, limpeza de áreas de convivência representam exemplos de consumos de água potável. A água potável consumida na RNEST é fornecida nas condições adequadas de potabilidade, pela concessionária local (COMPESA). Assim sendo, este tópico não foi objeto de estudo e não fez parte do controle de monitoramento aqui proposto.

Com relação a RNEST, a geração de efluentes é baixa se comparada com refinarias brasileiras existentes de porte similar e decorre principalmente devido às previsões de práticas de racionalização do uso da água por parte desta refinaria (POMBO, 2011). Ainda segundo o autor, a diferenciação entre o tratamento de efluentes de refinarias com fins de descarte em corpos hídricos e com fins de reúso em outras unidades de refino faz-se necessária. O último caso requer sistemas de tratamento mais avançados, pois necessita de água de qualidade mais elevada, podendo ser citados como exemplos de técnicas a osmose inversa e a Eletrodialise Reversa - EDR, sendo os custos a maior barreira a ser sobreposta pela refinaria.

Foi percebido ainda, como possibilidade de melhoria, estabelecer-se uma forma de se quantificar a captação de água pluvial, nos diversos locais da Refinaria, com verificação de variáveis como densidade pluviométrica (estimada), descarte para a região extramuros, uso interno e quantidade permeada ao solo, além de seus impactos estruturais e ambientais.

5.1 REÚSO DA ÁGUA NAS REFINARIAS BRASILEIRAS

No Brasil, a última refinaria de petróleo foi construída há mais de três décadas e naquela época, sequer pensava-se na necessidade de se minimizar o consumo com processos de reutilização. Hoje, nas inúmeras ampliações de processos e na criação de novas unidades de refino é inconcebível projetar-se uma planta petroquímica sem o devido processo de reutilização da água.

Para Mierzwa & Hespanhol (2005) o procedimento industrial mais comum é captar, tratar a água disponível e adequar suas características aos padrões de qualidade necessários para o atendimento das maiores demandas. A partir dessa água, por meio de procedimentos específicos, obtém-se os demais tipos de água, cujos padrões de qualidade são mais restritivos.

As preocupações com o reúso da água datam do final do século XX / início do século XXI e, segundo a Petrobras, alguns marcos e projetos evidenciam a participação da companhia nesse processo de conscientização ambiental. Em 2009 foram realizados estudos e concebidos cerca de 80 projetos relacionados à implantação e modernização dos sistemas de tratamento e distribuição de água potável, coleta, tratamento de efluentes e reúso da água. Em 2010 a Refinaria de Capuava - RECAP se torna a primeira refinaria da América Latina com descarte zero de efluentes, deixando de captar 1bilhão de litros de água por ano do rio Tamandateí e de lançar 700 milhões de litros de efluente industrial por ano nesse mesmo rio.

No ano de 2011 houve a inauguração da primeira unidade móvel de reúso de água da Petrobras, criada pelo Centro de Pesquisas da Petrobras – CENPES, em parceria com a Engenharia de Processos - EP, com capacidade para testar até 90 soluções tecnológicas para o tratamento e reúso da água, nas refinarias e terminais da companhia. Durante o ano de 2012 ocorreu a implantação do reúso da água das Estações de Tratamento de Despejos dos canteiros de obras para a cura do concreto para as obras da Refinaria Abreu e Lima.

5.1.1 SISTEMAS DE REÚSO DA RNEST

O reúso consiste em reutilizar a água, com ou sem tratamento, no mesmo ou em um outro processo, de forma direta ou indireta, planejada ou não. Para tanto, é necessário

conhecer a qualidade da água requerida em cada processo antes de se utilizar, qual o tratamento mínimo exigido e quais os meios de transporte para o reúso dessa água.

“Reduzir ao máximo o consumo de água em refinarias diz respeito a reduzir o consumo hídrico desta tipologia industrial ao nível das melhores práticas disponíveis de reúso de água na mesma, e, inclusive, propor estruturas tecnológicas e metodológicas para melhorar tal nível” (POMBO, 2011).

Um outro critério que passa a ser muito empregado nas unidades de refino de petróleo é o uso da água de chuva. Essas unidades em geral, possuem grande área geográfica que, dependendo da densidade pluviométrica e a periodicidade registrada na região, pode garantir reservas estratégicas que podem ser armazenadas em tanques, lagos ou outros reservatórios para posterior tratamento e uso interno. Países industrializados, como o Japão e a Alemanha, estão seriamente empenhados no aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. Outros países, como os Estados Unidos, Austrália e Cingapura, também estão desenvolvendo pesquisas na área do aproveitamento de água de chuva (TELLES & COSTA, 2010).

Segundo Telles & Costa (2010), importante etapa do ciclo hidrológico, as precipitações pluviométricas dão continuidade ao processo de reposição hídrica na terra. Suas intensidades variam de acordo com as condições climáticas, pressão, temperatura, topografia e geografia, criando enorme diversidade de presenças e volumes precipitados peculiares a cada localidade analisada. Por suas características climáticas, com predomínio dos climas equatorial e tropical, o Brasil recebe um significativo volume de chuva por ano que varia de 3000 mm na Amazônia a 1300 mm no centro do país. No sertão nordestino, este índice varia entre 250 e 600 mm por ano, o que é considerado baixo pelo Instituto Acqua.

Os principais sistemas voltados para o reúso de água na RNEST segundo o projeto são:

- Drenagem pluvial da Refinaria para acúmulo em duas bacias e posterior recalque para Estação de Tratamento de Águas (ETA);
- Purgas das Torres de Resfriamento;
- Efluente tratado na Estação de Tratamento de Despejos Industriais (ETDI);
- Estação de Tratamento de Condensado (ETC);
- Reúso das contralavagens realizadas na ETA.

5.2 CONTRIBUIÇÕES ECO-AMBIENTAIS DA RNEST NO USO E REÚSO DE ÁGUA

A água é imprescindível à vida. A crescente demanda mundial e a crescente degradação tornam, hoje, um produto de inestimável valor econômico (TELLES & COSTA, 2010). Para Luz (2005), a oferta de água vem se tornando diminuta à medida que a população, a indústria e a agricultura se expandem obrigatoriamente. Leff (2010) registrou que o consumo da água duplica a cada 20 anos e duplica em relação ao crescimento demográfico e que a população mundial cresceu três vezes desde os anos 1950, enquanto a demanda de água aumentou seis vezes. Comenta ainda que essas cifras indicam que, quanto mais o mundo se economicisa, mais água é consumida.

Segundo Almeida (2010) a importância da questão da água para o setor do refino no Brasil se dá pelo volume consumido pelas refinarias e pela poluição causada por seu processo produtivo. Para ele, os principais impactos ambientais do refino do petróleo são a demanda de grandes quantidades de água para suas operações e a geração de efluentes líquidos. Em função da expansão do parque de refino nacional essa preocupação se faz cada vez mais presente.

Para Luz (2005), assegurar apenas a quantidade de água necessária não basta. Afirma que é preciso se concentrar na manutenção de sua qualidade. Mierzwa & Hespanhol (2005) explanam que, muito embora o nosso planeta tenha três quartos de sua superfície coberta pela água, deve-se considerar que apenas uma parcela, referente à água doce, pode ser aproveitada na maior parte das atividades humanas, sem que sejam necessários grandes investimentos para adequar suas características físicas, químicas e/ou biológicas.

No Nordeste Brasileiro, que responde por 18,3% do território nacional e que conta com apenas com 3,3% dos recursos hídricos conhecidos no Brasil, está em operação uma refinaria com critérios tecnológicos e de reúso de água que a diferem das outras unidades já construídas no país. Este projeto, segundo a Petrobras, tem como base o aproveitamento responsável e sustentável dos recursos naturais.

A prática de reúso é um dos componentes do gerenciamento de águas e efluentes e é um instrumento para a preservação dos recursos naturais e controle da poluição ambiental, mas deve estar vinculada a outras medidas que busquem a racionalização do uso da água e demais recursos naturais. Não fosse assim, pouco seria mudado em relação ao conceito de tratamento de fim de tubo, o qual permaneceu por muitas décadas e resultou nos problemas de

poluição e escassez de água que estamos vivendo hoje, e que, provavelmente, iriam se agravar ao longo do tempo (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

De acordo com Mancuso & Santos (2003) e com a Organização Mundial da Saúde (1973) o reaproveitamento da água pode se dar por:

- Reúso indireto: ocorre quando a água de uso doméstico ou industrial já usada uma ou mais vezes é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- Reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e produção de água potável;
- Reciclagem interna: é o reúso da água internamente a instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.
- Reúso interno específico: consiste em efetuar a reciclagem de afluentes de quaisquer processos industriais, nos próprios processos nos quais são gerados, ou em outros processos que se desenvolvem em sequência e que suportam qualidade compatível com o efluente em consideração.

Para Mancuso & Santos (2003), o setor privado, particularmente o industrial, vem gradualmente se conscientizando de que a prática de reúso e a reciclagem podem trazer benefícios significativos tanto no que concerne ao processo industrial como em relação às águas de utilidades. Leff (2010) nos diz que, a comunidade mundial reconheceu a “crise da água” derivada de sua emergente escassez... há no planeta 1,3 bilhão de pessoas sem acesso adequado a água potável e 2,5 bilhões não desfrutam de um sistema de saneamento apropriado. Atualmente, 31 países sofrem grave escassez de água. Estima-se que nas próximas duas décadas dois terços da população mundial não terão acesso adequado ao abastecimento de água doce.

Almeida (2010) comenta que essa indústria, hoje, vê o reúso não só no âmbito ambiental e legal, mas também como alternativa positiva de concorrência em suas áreas de negócios, tornando assim mais forte a consciência de desenvolvimento sustentável em toda

área de industrialização de petróleo.

As principais ferramentas de prevenção da poluição, tendo em vista a redução do consumo de água e a geração de efluentes, são: eliminar desperdícios, mudar procedimentos operacionais, treinar operadores, substituir dispositivos e equipamentos e alterar o método de produção. A prioridade das alternativas a serem adotadas depende da complexidade e de seus custos envolvidos de implantação, devendo-se optar, inicialmente por aquelas de complexidade e custos menores (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

Para Pombo (2011), a conservação, o reciclo e o reúso de água podem se tornar práticas vantajosas economicamente, tendo em vista as melhores práticas realizadas de conservação e reciclo de água, a redução dos custos das tecnologias de tratamento visando o reúso e o auxílio de metodologias que visam a minimização do consumo de água e a maximização do reúso de efluentes industriais. Segundo Nogueira (2007), a adoção de métodos de conservação utilizando técnicas de reúso constitui um passo importante e estratégico para alavancar o desenvolvimento sustentável tendo em vista que uma série de benefícios podem ser obtidos.

5.3 CONCLUSÕES

O projeto da Refinaria Abreu e Lima contempla as premissas de reúso de água em grande escala, a partir de vários pontos da Unidade, e em diversos processos, mas utiliza uma metodologia de avaliação fragmentada para otimização, apesar de dispor de recursos de instrumentação de avançada tecnologia, que pode ser utilizada para controle e otimização do respectivo processo de reúso. Tratando-se de um complexo industrial de grande porte, recém instalado, percebeu-se a necessidade de se implementar o uso de uma ferramenta que, utilizando os recursos já disponíveis de automação e controle pudesse prover, num formato do tipo “visão geral”, ou mesmo de forma mais detalhada, as informações de uso e reúso da água da refinaria e em tempo real.

A RNEST conta com sistema de automação instalado, que permite uma rápida e precisa atuação em seus processos operacionais e que se estende aos processos de uso e reúso de água em todas as suas unidades. O uso de uma ferramenta de interface produzida, associado a planilhas de alarme, se mostrou eficaz no rastreamento de anormalidades envolvendo o sistema de uso e reúso de água, contribuindo ainda para a implementação de estratégias de operação que visam reduzir significativamente a compra de água bruta e potável para a Unidade. O material e ferramenta de interface, uma vez disponíveis, poderão facilitar diagnósticos e ações de correção, que se fizerem necessárias, nos diferentes processos da unidade que envolvem o uso e reúso de água na refinaria.

A ferramenta de interface criada foi utilizada também para contabilizar perdas em sistemas de fluxo de água, como ela conta com recursos do Plant Information®, após a operacionalização dos sistemas, foi possível quantificar a falta da contribuição do reúso da corrente de condensado sujo. Durante 26 (vinte e seis) dias, a uma vazão de 73m³/h contabilizou uma perda de 45.500m³. Por impossibilidade técnica de regeneração dos filtros de leito misto da ETC, a corrente de condensado sujo teve que ser desviada para a ETDI e, conseqüentemente enviada para o emissário.

Diversos processos na RNEST têm potencial de geração de efluentes líquidos, tanto as unidades industriais como os próprios consumidores de água potável, e algumas dessas correntes vão parar direto na Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI. Água de tanques dreneiros, água de dessalgadoras, águas contaminadas, águas oleosas, esgotos sanitários, são exemplos dessas correntes que antes, em outras refinarias, recebiam tratamentos simples e a seguir eram dispensadas no corpo receptor. O projeto da Refinaria contempla o reaproveitamento dessas correntes de água e foram feitos investimentos em processos e sistemas que garantem a qualidade

pós-tratamento para essa reutilização.

Existem outras correntes de água, hoje descartadas diretamente no corpo receptor, que têm boa característica e podem ser submetidas à análise qualitativa para usos menos nobres na Refinaria. São exemplos desses usos: limpeza de pisos, limpeza de equipamentos, lavagem de permutadores de calor, parte do sistema hidro-sanitário (sistema de reúso dos prédios administrativos). Para esses casos poderiam ser verificadas a água acumulada nos Tanques de Água Contaminada – TAC, a água do Tanque de Neutralização da ETA e água retificada das unidades de Hidrotratamento – HDT's.

A baixa demanda por água de reposição (make-up) para as torres de resfriamento da área industrial, coloca a Casa de Força – CAFOR no patamar de maior unidade consumidora de água da RNEST (34,6%), seguida pelas Torres de Resfriamento (32,5%) enquanto a literatura pesquisada relata exemplos de outras unidades, em que, o primeiro lugar é geralmente atribuído às Torres de Resfriamento (60-70%).

O sistema de distribuição de vapor, de origem nas caldeiras (CAFOR), e que passa pelas tubovias, tem comprimento de 39km (trinta e nove quilômetros) de extensão e possui um número significativo de purgadores automáticos. Esse projeto não contempla o redirecionamento do efluente dos purgadores para a Estação de Tratamento de Condensado – ETC. Em igual circunstância encontram-se os purgadores das linhas que sofrem aquecimento por vapor de baixa pressão (Steam Tracing) ao longo de toda a tubovia. Ao contrário, essas correntes estão sendo direcionadas à ETDI pela rede de água contaminada, indo direto para os Tanques de Água Contaminada – TAC's, e conseqüente descarte no corpo receptor. Tratando-se, é claro, de um efluente de excelente qualidade que pode chegar a 120m³/h.

A Casa de Força – CAFOR apresenta vazões de reúso nos sistemas de recuperação de condensado (limpo e sujo), mas essa recuperação ainda ocorre em escala percentual menor que a projetada. Outras unidades projetadas para o reúso de água da Refinaria precisam ainda serem concluídas e liberadas para operação. Quando forem empregadas todas as possibilidades previstas em projeto para o reaproveitamento, o percentual de reúso poderá ser bastante significativo e representar uma economia substancial para a Empresa, uma vez que os insumos empregados nas diversas etapas de tratamento tendem a ser minimizados quando do reaproveitamento, e a água, que se torna um bem mais escasso a cada dia, pode ter seu uso otimizado.

É importante reforçar cotidianamente a necessidade de se combater o desperdício de água,

em todas as instâncias de produção da Unidade e junto às equipes de trabalho, para implementar uma cultura sócio-ambiental, com a eliminação ou redução do uso da água, o que contribui ainda para a melhoria da condição de sustentabilidade do negócio (refino de petróleo), e pode levar a Refinaria Abreu e Lima – RNEST à condição de exemplo, dessa ordem, para o Sistema Petrobras, para o Brasil e para o Mundo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Octávio Thenisson Propheta. **Conservação e Reúso de Água na Indústria de Petróleo**. Aracaju, Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. 2010. 52 p.
- BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é, o que não é**. – Petrópolis, RJ: Vozes, 2012. 200p.
- BRITO, Francisco A; CÂMARA, João B. D. **Democratização e Gestão Ambiental: em busca do desenvolvimento sustentável**. - Petrópolis, RJ: Vozes, 3ª ed. 2002. 332p.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da indústria nos estados 2014**. – ed. rev. – Brasília: CNI, 2014. 214 p.
- DEMAJOROVIC, Jacques. **Sociedade de risco e responsabilidade sócio-ambiental: perspectiva para a educação corporativa**. – São Paulo: Editora Senac, 2003. 277p.
- GENENA, Samia Kamal. **Implementação, Configuração e Customização do Sistema PI na Unidade Multipropósito de FCC**. – Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Monografia apresentada no Curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial.
- IPIECA Operations Good Practice Series, **Petroleum refining water/wastewater use and management**. The global oil and gas industry association for environmental and social issues, 2010, 60p.
- KHOR, Cheng Seong. SHAH, Nilay. MAHADZIR, Shuhaimi. ELKAMEL, Ali. **Optimization of petroleum refinery water network systems retrofit incorporating reuse, regeneration and recycle strategies**. The Canadian Journal of Chemical Engineering, DOI 10.1002/cjce.20651, Volume 90 (2012), p. 137-143.
- LEFF, Enrique. **Epistemologia ambiental**; tradução de Sandra Valenzuela; revisão técnica de Paulo Freire Vieira. – 5ª ed. São Paulo: Cortez, 2010.
- LEFF, Enrique. **Discursos sustentáveis**; tradução de Silvana Cabucci Leite. – São Paulo: Cortez, 2010.
- LEFF, Enrique. **A complexidade ambiental**; tradução de Eliete Wolff. – 2ª ed. – São Paulo: Cortez, 2010.
- LEFF, Enrique. **Aventuras da epistemologia ambiental: da articulação da ciência ao diálogo de saberes**; tradução de Silvana Cabucci Leite. – São Paulo: Cortez, 2012.
- LUZ, Luiz Augusto Rodrigues da. **A reutilização da água: mais uma chance para nós**. – Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005. 126p.
- MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reúso de água**. Universidade de São Paulo. – Barueri, SP: Manole, 2003, 579p.

MARIANO, Jacqueline Barbosa. **Impactos Ambientais do Refino de Petróleo**. – Rio de Janeiro, 2001 VIII, 216 p. COPPE/UFRJ.

MEDAUAR, Odete (Org.). **Coletânea de Legislação Ambiental / Constituição Federal**. – 12. Ed. revisão ampliada e atualizada – São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2013.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reúso**. – São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MOHAMMADNEJAD, S. BIDHENDI, G.R. Nabi. MEHRDADI, N. **Water pinch analysis in oil refinery using regeneration reuse and recycling consideration**. Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. *Desalination*, v. 265 (2011) p. 255-265.

NOGUEIRA, Daniel Mendes. **Balço hídrico na refinaria de Paulínia e alternativas para reúso de água: construção de uma ferramenta auxiliar para o gerenciamento dos recursos hídricos** - Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Campinas, SP: [s.n.], 2007, 152p.

ORTIZ NETO, José Benedito. **O processo de aprendizado tecnológico na trajetória do sistema de produção flutuante empreendido pela Petrobras em seu programa de capacitação tecnológica em águas profundas** - PROCAP. 2006.

OSISOFT. **PI ProcessBook**. Disponível em <http://www.osisoft.com/software-support/products/PI_ProcessBook.aspx>. Acesso em: 30 out. 2015.

PETROBRAS. **Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI: Manual de Operação**. Refinaria Abreu e Lima – RNEST. 117 p – Ipojuca – PE, 2015.

PETROBRAS. **Estação de Tratamento de Despejos Industriais – ETDI: Memorial Descritivo de Processo**. Refinaria Abreu e Lima – RNEST. 27 p – Ipojuca – PE, 2010.

PETROBRAS. **Refinaria Abreu e Lima 2015** Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/refinaria-abreu-e-lima.htm>>. Acesso em: 11 set. 2015.

PETROBRAS. **Refino**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/refino/>>. Acesso em: 26 out. 2015.

PIRES, Ewerton de Oliveira; FEIJÓ, Cláudia Cristina Ciappina. CASAGRANDE LUIZ, Leilana. (Orgs). **Gestão de recursos hídricos: gestão ambiental**. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 20 set. 2015.

POMBO, Felipe Ramalho. **Gestão da demanda de água na indústria de refino de petróleo: desafios e oportunidades de racionalização** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011. XVII, 152 p.

POMBO, Felipe Ramalho. MAGRINI, Alessandra. SZLO, Alexandre. **An analysis of water management in Brazilian petroleum refineries using rationalization techniques**. Federal

University of Rio de Janeiro, Energy Planning Program, Cidade Universitária, Rio de Janeiro. Resources, Conservation and Recycling, v 73 (2013), p. 172-179.

PORTO, Rubem La Laina; DAHED FILHO, Kamel; MARTINS DA SILVA, Ricardo. **Medição de Vazão e Curva-chave**. - São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2001.

REIS, André Luiz Queiroga. LIMA, Eduardo Rodrigues Viana de. ANDRADE, Maristela Oliveira de. REIS, **Christianne Maria Moura**. SANTANA, **Jordana Kaline da Silva**. **Envirnmental basin like planning units for sustainable local development**. Gaia Scientia (2015) Volume 9 (1), p. 101-106 ISSN 1981-1268.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. – São Paulo: Blucher, 2009.

RIGO, Michelle. RAMOS, Rafaela R. CERQUEIRA, Alexandre A. SOUZA, Paulo Sérgio A. MARQUES, Mônica Regina C. **Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil**. Gaia Scientia (2014) Volume 8 (1): 174-186 Versão Online ISSN 1981-1268.

ROSA, André Henrique; FRACETO, Leonardo Fernandes; MOSCHINI-CARLOS, Viviane. (Orgs). **Meio Ambiente e Sustentabilidade**. – Porto Alegre: Bookman, 2012. 412p.

SANTAELLA, Sandra Tédde (Org.). **Tratamento de efluentes de refinaria de petróleo em reatores com Aspergillus niger**. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro de Convenções de Pernambuco, v14, n1: p.139-148, 2009.

SANTOS, Hilton Felício dos; MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. **Reúso da Água**. Revista DAE/SABESP, v167: p.23-32, 2003.

TAVARES, Marina Elisabete E. **Análise do Refino no Brasil: estado e perspectivas - uma análise “cross-section”** - Rio de Janeiro, 2005, 384 p. COPPE/UFRJ.

TELLES, Dirceu D’Alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2ª ed. – São Paulo: Editora Blucher, 2010, 408p.

VANELLI, Carlos Alberto. **Conservação de Água em Refinaria de Petróleo: o caso da REVAP**. Dissertação de Pós-Graduação da Universidade Federal de Itajubá – MG, 2004, 151p.

YANG, Shuangchun. WANG, Xiaozhen. LIANG, Dandan. ZHANG, Jinhui. PAN, Yi. **A Process Optimization of Water Purification of na Oil Refinery**. International Journal of Applied Environmental Sciences, Volume 7, Number 4 (2012), p. 409-414.