

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
DANILO DA COSTA

SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA PARA MÁQUINAS DE
ESTANQUEIDADE

Varginha

2013

DANILO DA COSTA

**SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA PARA MÁQUINAS DE
ESTANQUEIDADE**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Esp. Erik Vitor da Silva.

Varginha

2013

DANILO DA COSTA

**SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA PARA MÁQUINAS DE
ESTANQUEIDADE**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Esp. Erik Vitor da Silva

Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

Profa. Esp. Luciene de Oliveira Prospéri

OBS:

Dedico este trabalho a todos aqueles que se devotaram ao desenvolvimento da ciência, que lutaram e deram suas vidas por aquilo que acreditavam e que nos possibilitaram colher seus frutos e ajudar a construir um mundo melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao destino por ter me possibilitado a oportunidade de chegar até aqui, a minha família e namorada, por sempre me incentivar à busca pelo conhecimento, aos meus amigos, por sempre acreditarem em mim e aos meus professores, por doarem seu conhecimento de maneira tão digna.

“Aprender é a única coisa que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade apresentar o desenvolvimento de um projeto para redução do consumo de água no processo de inspeção de estanqueidade de rodas automotivas. A fabricação de rodas de automotivas é um processo complexo, possuindo diversas etapas que consomem grande quantidade de recursos naturais, como energia elétrica, água, ar comprimido, entre outros. A redução do consumo de água é uma das metas corporativas prioritárias e está alinhada a proposta de uma busca por processos baseados em práticas sustentáveis. Alinhado a esse propósito, foi elaborado este projeto que visa reduzir o consumo de água do setor de Estanqueidade em 70%, através do reaproveitamento de água descartada em excesso no processo de pintura. O projeto abrange todas as análises necessárias para determinação da qualidade da água a ser utilizada, o desenvolvimento do sistema de captação da água, o desenvolvimento do sistema de distribuição com uma plataforma de elevação, além de todos os custos necessários para a execução do projeto. Este projeto contribui para a saúde econômica da empresa e para otimizar o uso de recursos naturais, estando alinhado às propostas de Sustentabilidade e preservação do meio ambiente, temas extremamente atuais e amplamente debatidos mundialmente.

Palavras-chave: Inspeção de estanqueidade. Reaproveitamento de água. Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

This article got as purpose to present the development of a project to decrease of water consumption in inspection process tightness of automotive wheels. The automotive wheels manufacturing is a complex process which got many stages and consumes many natural resources like electricity, water, compressed air and other. The water consumption reduction is one of high priority corporate goals and is on the same way of the purpose to seek process based on sustainable practices. On the same way of this purpose was elaborated this project which aims to decrease the water consumption of Tightness area in 70% by reusing discarded water in painting process. This project covers all necessary analysis to determination quality of water to be using, the development of a system for collecting water, the development of a distribution system with a lifting platform and all necessary costs to project execution. This project contributes to company's economic health and to optimize the use of natural resources, on the same way of Sustainability purposes and preservation of environment which are extremely current themes and widely debated worldwide.

Keywords: *Tightness inspection. Reusing of water. Sustainability.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Áreas de abrangência do Desenvolvimento Sustentável.....	22
Figura 02 – Exemplo de roda antiga feita de madeira	23
Figura 03 – Exemplo de roda de madeira raiada	23
Figura 04 – Bicicleta do Museu de Harvard de 1879	24
Figura 05 – Ben Patent Motorwagen	25
Figura 06 – Lohner Porshe 1901 com roda de disco	25
Figura 07 – Modelo de roda de liga leve.....	26
Figura 08 – Máquina de estanqueidade para rodas automotivas	27
Figura 09 – Vista em corte parcial de bomba centrífuga	29
Figura 10 – Máquina para teste de resistência (estanqueidade) PT-20.....	31
Figura 11 – Fluxograma de inspeção de estanqueidade.....	31
Figura 12 – Medição de IT com turbidímetro	36
Figura 13 – Orçamento para execução do projeto	37
Figura 14 – Lista de materiais	38
Figura 15 – Plataforma de elevação da caixa d' água.....	45
Figura 16 – Diagrama de corpo livre Viga U	50
Figura 17 – Diagrama de corpo livre Coluna I.....	50
Figura 18 – Diagrama de corpo livre Mão Francesa.....	51
Figura 19 – Momento Fletor (MSd) na Viga U.....	51
Figura 20 – Esforço Cortante (VSd) na Viga U	51
Figura 21 – Flecha na Viga U.....	52
Figura 22 – Parâmetros referentes ao momento fletor resistente	53
Figura 23 – Determinação de K_v	56
Figura 24 – Deslocamentos máximos	58
Figura 25 – Momento Fletor (MSd) na coluna I	60
Figura 26 – Esforço Cortante (VSd) na coluna I	60
Figura 27 – Flecha na Coluna I	61
Figura 28 – Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados.....	63
Figura 29 – Relação b/t min para mesas de seção I.....	64
Figura 30 – Esforço de compressão axial (Ncsd) na mão francesa	72
Figura 31 – Relação b/t min para mesas de seção L.....	73

Figura 32 – Modelo 3D e fixação do conjunto	76
Figura 33 – Malha de elementos finitos	77
Figura 34 – Carga aplicada na plataforma	78
Figura 35 – Tensão máxima de compressão na plataforma	79
Figura 36 – Tensão máxima de tração na plataforma	79
Figura 37 – Deformação total da plataforma.....	80
Figura 38 – Tanque de captação de água e bomba centrífuga.....	82
Figura 39 – Caixa d' água da Estanqueidade e plataforma de elevação	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Situação hídrica em alguns países do mundo	17
Tabela 02 – Patamares específicos de estresse hídrico	18
Tabela 03 – Consumo total de água por hora	32
Tabela 04 – Consumo relativo da estanqueidade	33
Tabela 05 – Água descartada no pré-tratamento	35
Tabela 06 – Resultado de medição de IT	36
Tabela 07 – Escopo para cotação.....	37
Tabela 08 – Cotação dos materiais	38
Tabela 09 – Análise de viabilidade e payback	39
Tabela 10 – Perda de carga equivalente - Acessórios.....	41
Tabela 11 – Perfis metálicos utilizados na plataforma	46
Tabela 12 – Peso dos elementos construtivos	48
Tabela 13 – Ações permanentes nos elementos construtivos.....	49
Tabela 14 – Características geométricas perfil U	52
Tabela 15 – Características geométricas perfil I	62
Tabela 16 – Características geométricas perfil L	73
Tabela 17 – Consumo relativo da estanqueidade após projeto.....	83
Tabela 18 – Payback atualizado	84

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Distribuição do volume total de água no mundo.....	15
Gráfico 02 – Volume total de água potável no mundo	16
Gráfico 03 – Distribuição das demandas consuntivas por finalidade e uso	19
Gráfico 04 – Levantamento do consumo de água na inspeção de estanqueidade	32
Gráfico 05 – Meta de redução no consumo de água da estanqueidade.....	34
Gráfico 06 – Consumo de água na Estanqueidade após projeto	83
Gráfico 07 – Redução no consumo após projeto	84

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 INSPEÇÃO DE ESTANQUEIDADE A ÁGUA	15
2.1 A água no cenário mundial	15
2.2 A água no cenário nacional	18
2.3 Desenvolvimento sustentável	20
2.4 Breve história da roda	22
2.4.1 Roda automotiva	24
2.5 Inspeção de estanqueidade	26
2.6 Máquinas de fluxo	28
2.6.1 Bomba centrífuga	29
3 METODOLOGIA	30
3.1 Levantamento de dados de consumo	30
3.2 Definição de meta de redução do consumo	33
3.3 Levantamento e verificação de disponibilidade e conformidade da demanda	34
3.4 Pré-projeto e análise de viabilidade econômica	37
3.5 Desenvolvimento de projeto de captação e bombeamento de água	39
3.5.1 Projeto do tanque de captação de água.....	39
3.5.2 Projeto do sistema hidráulico.....	40
3.5.3 Dimensionamento da bomba centrífuga.....	40
3.6 Desenvolvimento de projeto de armazenamento e distribuição de água	44
3.6.1 Determinação de esforços nos elementos críticos.....	45
3.6.2 Dimensionamento de Viga U.....	51
3.6.2.1 Momento fletor na Viga U.....	53
3.6.2.2 Esforço cortante na Viga U.....	56
3.6.2.3 Flecha na Viga U.....	58
3.6.3 Dimensionamento de Coluna I.....	60
3.6.3.1 Força axial de compressão na Coluna I.....	62
3.6.3.2 Momento fletor na Coluna I.....	65
3.6.3.3 Esforço cortante na Coluna I.....	69
3.6.4 Dimensionamento de mão francesa.....	72
3.6.4.1 Força axial de compressão na mão francesa L.....	73
3.6.5 Análise de esforços na plataforma através de FEM.....	75
3.6.5.1 Obtenção dos esforços na plataforma através de FEM	76
3.6.5.2 Análise dos resultados obtidos por FEM.....	81
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
6 CONCLUSÃO	85
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE A – Layout da Estanqueidade	88
APÊNDICE B – Layout do Pré-tratamento	89

APÊNDICE C – Tanque de captação de água	90
APÊNDICE D – Projeto hidráulico.....	91
APÊNDICE E – Projeto da Plataforma	92
ANEXO A – Perda de carga em válvulas VS duas portas.....	93
ANEXO B – Ábaco para cálculo de perda de carga em tubulações de PVC rígido ...	94

1 INTRODUÇÃO

A redução do consumo de recursos naturais, como a água, é uma busca cada vez mais presente no ambiente corporativo. A busca por processos enxutos, com baixos desperdícios e maior eficiência produtiva está alinhada as práticas de desenvolvimento sustentável e contribuem diretamente para a saúde econômica da empresa, seja como redução de despesas ou como marketing verde.

Este artigo aborda todas as etapas de um projeto de reaproveitamento de água implementado em uma empresa fabricante de rodas automotivas, onde existia um alto consumo de água utilizada para a inspeção de estanqueidade, critério exigido por norma ABNT. Essa inspeção utiliza água para detecção de vazamentos nas rodas produzidas e seu consumo representava em torno de 9% do montante consumido por toda a fábrica. Com a elaboração do projeto buscou-se reduzir esse consumo em 70%, através da hipótese de reaproveitamento de água descartada dos banhos de pré-tratamento no setor de rodas.

Este artigo tem como objetivo principal apresentar o desenvolvimento de todo o projeto do sistema de reaproveitamento de água, passando pelos referenciais teóricos aplicáveis, os estudos necessários para a aprovação do projeto pela diretoria, o projeto mecânico em si, sua execução e resultados obtidos com a implementação do sistema. A justificativa para a execução do projeto é a redução de custo estimada de aproximadamente R\$6.600,00 mensais para uma meta de redução de 70% no consumo de água (dados de 2013), além da diminuição do uso de recursos naturais.

2 INSPEÇÃO DE ESTANQUEIDADE A ÁGUA

O processo de inspeção de estanqueidade é aplicado em rodas automotivas, onde pode-se detectar vazamentos e trincas internas. As máquinas de estanqueidade consomem grande quantidade de água para a realização do ensaio, o que gera custos elevados de produção e grande consumo de recursos naturais.

2.1 A água no cenário mundial

De acordo com Milena (2008) a Organização das Nações Unidas (ONU) divulga relatórios cada vez mais alarmantes sobre a situação da água no cenário mundial: segundo esses relatórios, mais de 1 bilhão de pessoas (18% da população mundial) não tem acesso a uma quantidade mínima aceitável de água potável. Ainda de acordo a esses relatórios, Milena (2008) informa que se nada mudar nos padrões de consumo, 5,5 bilhões de pessoas poderão não ter acesso à água potável em 2025 e até 75% da população mundial em 2050.

De acordo com Shiklomanov (1998 apud MAY, 2004), o planeta Terra contém cerca de 1.386 milhões de km³ de água, sob as formas líquidas e congeladas, encontrada nos oceanos, rios, lagos, geleiras e subsolo. Desse montante, apenas 2,5% trata-se de água doce, conforme gráfico abaixo:

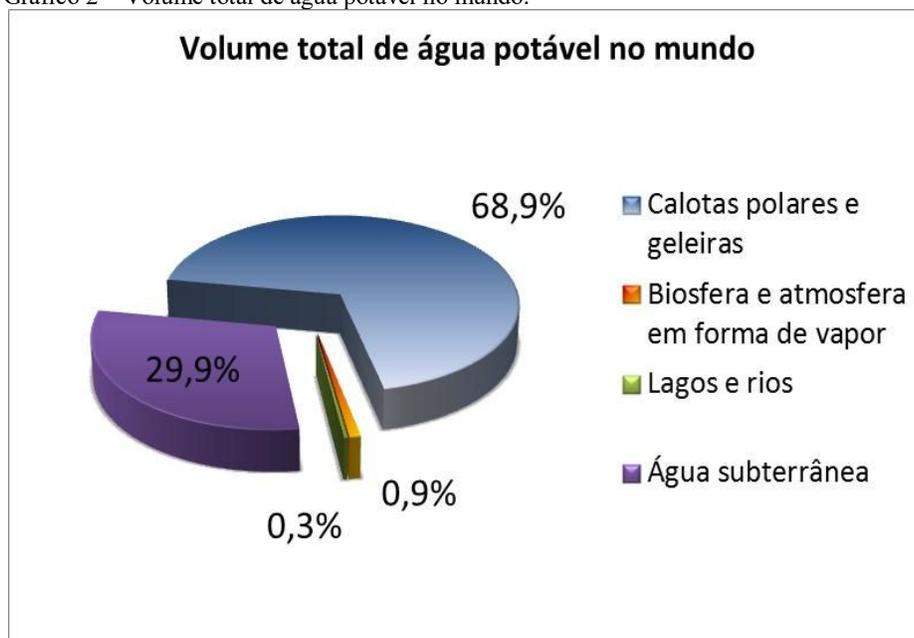
Gráfico 1 – Distribuição do volume total de água no mundo.



Fonte: o autor.

Ainda segundo May (2004) e Milena (2008), dois terços de toda água doce do mundo encontram-se em estado sólido, nas geleiras e calotas polares, portanto de difícil aproveitamento humano. A maior parte da água em estado líquido encontra-se no subterrâneo. Rios e lagos contêm apenas 0,3% de toda água potável.

Gráfico 2 – Volume total de água potável no mundo.



Fonte: o autor.

Como se não bastasse o volume de água potável ser ínfimo se comparado ao volume de água salgada e a dificuldade de sua total utilização, existe um grande problema quanto a sua distribuição. Segundo Milena (2008), alguns países tem muito mais água do que sua população necessita, enquanto outros possuem regiões de extrema seca. Em algumas localidades, um homem é obrigado a sobreviver com 10 litros de água por dia – pouco mais que o volume de água que escorre pelo esgoto a cada vez que o brasileiro usa a descarga. (MILENA, 2008).

A tabela abaixo demonstra a situação hídrica de alguns países ao redor do mundo e como a distribuição de água é irregular. Os dados foram retirados do Relatório de Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo – Embrapa 2001.

Tabela 1 – Situação hídrica em alguns países do mundo.

País	Área	População	Produção Hídrica	
			por área	per capita
	10 ³ km ²	10 ³ hab	m ³ /km ² *ano	m ³ /hab*ano
Suriname	160	420	1.437.500,00	547.619,05
Canadá	9980	29100	329.569,30	113.058,42
Nova Zelândia	270	3500	1.159.259,30	89.428,57
Panamá	80	2580	1.800.000,00	55.813,95
Bolívia	1100	7240	328.181,80	49.861,88
Peru	1280	23300	859.375,00	47.210,30
Nicarágua	130	4270	1.346.153,80	40.983,61
Brasil	8512	157070	674.918,90	36.575,46
Argélia	2380	27300	5.840,30	509,16
Uzbequistão	450	20300	21.155,60	468,97
Tunísia	160	8730	22.000,00	403,21
Jordânia	100	5200	9.600,00	184,62
Mauritânia	1030	2220	388,30	180,18

Fonte: o autor.

Os países em verde são aqueles que apresentavam maior capacidade per capita em 1998, enquanto os países em laranja são aqueles que apresentavam menor capacidade per capita no mesmo período. Segundo Lima (2001), a variação da disponibilidade de recursos hídricos também por habitante também é muito grande de uma região para outra, mesmo dentro do mesmo país. Um dos cenários mais apavorantes de estresse hídrico é o que pode acontecer a China, em 20 anos. O país reúne 20% da população mundial, mas detém apenas 7% dos recursos hídricos do planeta. O volume per capita de água ali é de um quarto da média anual. (MILENA, 2008).

Sobre o estresse hídrico:

O conceito de estresse hídrico está baseado nas necessidades mínimas de água *per capita* para manter uma qualidade de vida adequada em regiões moderadamente desenvolvidas situadas em zonas áridas. A definição baseia-se no pressuposto de que 100 litros diários (36,5 m³/ano) representam o requisito mínimo para suprir as necessidades domésticas e manutenção de um nível adequado de saúde. (LIMA, 2001, p. 23)

De acordo com Lima (2001) e as tabelas 1 e 2, pode-se observar que vários países já apresentam cenários de escassez de água potável. Países como Mauritânia, Jordânia, Tunísia e Uzbequistão, com volumes abaixo de 500 m³/hab.ano encontravam-se já em 1999 em estado de escassez absoluta.

Tabela 2 – Patamares específicos de estresse hídrico.

Volume disponível per capita m ³ /hab*ano	Situação
>1700	Apenas ocasionalmente tenderá a sofrer problemas de falta d' água
1000-1700	O estresse hídrico é periódico e regular
500-1000	A região está sob o regime de crônica escassez de água. Nesses níveis, a limitação na disponibilidade começa a afetar o desenvolvimento econômico, o bem estar e a saúde
<500	Considera-se que a situação corresponde à escassez absoluta

Fonte: o autor.

2.2 A água no cenário nacional

O Brasil tem água potável suficiente para abastecer cinco vezes a população da Terra. Mas a distribuição pelo território nacional não é equilibrada (MILENA, 2008). Embora os números sobre os recursos hídricos do Brasil sejam exorbitantes, segundo Lima (2001) apenas 27% dos recursos são disponíveis para 95% da população. “Mais de 73% da água doce produzida no País encontra-se na bacia Amazônia que é habitada por menos de 5% da população (LIMA, 2001, p.24).

Sobre o gerenciamento dos recursos hídricos brasileiros:

A fim de gerenciar os recursos hídricos brasileiros, a Agência Nacional das Águas (ANA) divide o país em 12 regiões hidrográficas, que correspondem a 12 bacias. É com base nessa divisão que o governo federal calcula e gerencia a relação entre a oferta e a demanda de água no país. A gestão da rede hídrica nacional é fundamental para evitar a destruição dos recursos naturais e a repetição dos episódios de racionamento e blecaute que afetaram algumas regiões do país mais de uma vez. (MILENA, 2008. n.p)

Segundo Silva (2011), A Agência Nacional das Águas (ANA) divulgou relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil – informe 2011, onde é apresentado um panorama nacional da situação da água em diversos aspectos.

Ainda segundo Silva (2011), o relatório aponta que 25% das águas brasileiras são qualificadas como ruins, péssimas ou regulares. Traz ainda a informação de que, em 2010, 19% dos municípios brasileiros decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública devido às cheias ou problemas de estiagem. Diversos rios e bacias hidrográficas apresentaram níveis abaixo da média devido à escassez das chuvas e foi identificado no relatório que até 2015 cerca de 55% dos municípios brasileiros apresentarão algum problema no seu sistema produtor de água. São dados divulgados pela ANA no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos – informe 2009 que 17% da vazão retirada para usos consuntivos do país é consumida pela Indústria.

Gráfico 3 – Distribuição das demandas consuntivas por finalidade de uso.



Fonte: o autor.

Segundo Lima (2001), estima-se que o desperdício de água no Brasil possa chegar a 45% do volume ofertado à população, o que representa cerca de 3,8 bilhões de metros cúbicos por ano. Além disso, apenas parte do esgoto sanitário é coletado e tratado, o que contribui para diminuição da disponibilidade de água potável no país.

Segundo dados da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (Brasil, 1998), atualmente, 49% do esgoto sanitário produzido no Brasil é coletado e, desse percentual, apenas 32% é tratado [...] (LIMA, 2001. p.34).

Segundo Springer (2002), novos enfoques de gestão estão sendo absorvidos pelo setor produtivo / industrial em busca de soluções para os impactos ambientais e, ainda, para atender as legislações ambientais. Questões como uso consciente da água, produção mais limpa e mudança de hábitos de consumo passaram a ser amplamente discutidos pela sociedade, preocupada com melhores condições de qualidade de vida e proteção do meio ambiente. “Enfatizou-se a necessidade de focar a utilização dos recursos hídricos dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, que compreende as dimensões ambiental, social, econômica, cultural, política e ética”, (SPRINGER, 2002, p.2).

2.3 Desenvolvimento sustentável

Segundo Bader (2008), o conceito de sustentabilidade alcançou reconhecimento internacional após a divulgação do relatório da Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas em 1987. A Comissão Brundtland definiu o desenvolvimento sustentável como sendo “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”.

Conforme citado por Barbosa (2008), estudos já estavam sendo feitos desde antes da Comissão de Brundtland. O III Relatório do Clube de Roma (1976) afirma que muito antes de esgotarmos os limites físicos do nosso planeta ocorrerão diversas crises sociais ocasionadas pelo grande desnível entre os países ricos e os países pobres.

De acordo com Barbosa (2008) em 1986 foram definidos cinco requisitos para se alcançar o desenvolvimento sustentável durante a Conferência de Ottawa:

- a) Integração da conservação e do desenvolvimento;
- b) Satisfação das necessidades básicas humanas;
- c) Alcance da equidade e justiça social;
- d) Provisão da autodeterminação social e da diversidade cultural;
- e) Manutenção da integração ecológica;

Citado em O Desafio do Desenvolvimento Sustentável:

Para a Comissão Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1988, 1991) os objetivos que derivam do conceito de desenvolvimento sustentável estão relacionados com o processo de crescimento da cidade e objetiva a conservação do uso racional dos recursos naturais incorporados às atividades produtivas. (BARBOSA, 2008, p.3).

Entre os objetivos estão:

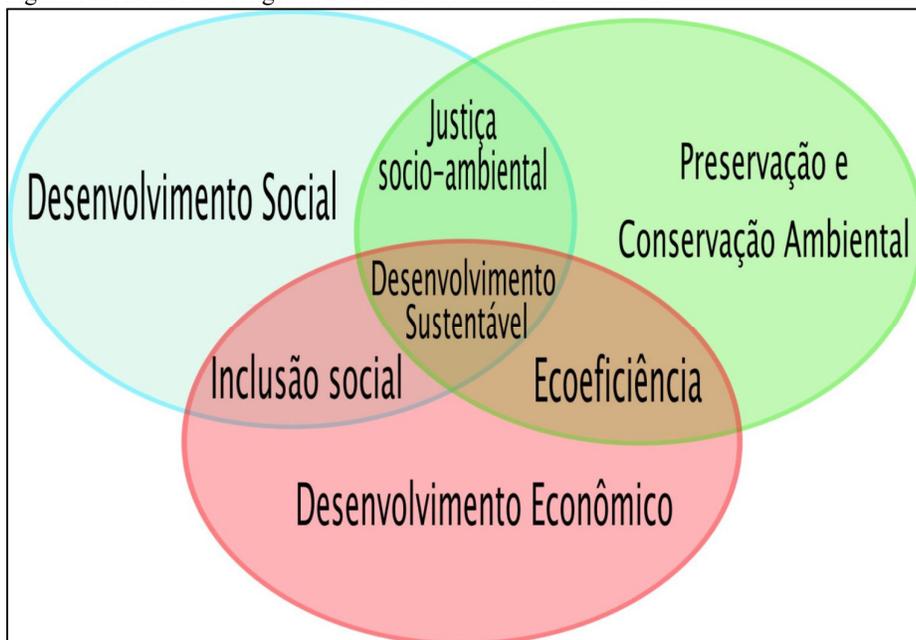
- a) Crescimento renovável;
- b) Mudança de qualidade do crescimento;
- c) Satisfação das necessidades essenciais por emprego, água, energia, alimento e saneamento básico;
- d) Conservação e proteção da base de recursos;
- e) Reorientação da tecnologia e do gerenciamento de risco;

Conforme Bader (2008), após a ECO 92 o modelo de sustentabilidade foi adaptado para um conceito político formal e passou a levar em consideração, além do pilar ecológico, os pilares econômico e social.

Sobre o papel da administração privada e pública quanto ao desenvolvimento sustentável:

O setor privado certamente está um passo à frente do setor público. Também na política, na administração e na esfera municipal, o desenvolvimento sustentável precisa ser fortemente consolidado. Um grande início seria o estabelecimento de critérios ambientais e sociais para as compras feitas pelo estado, abrangendo desde a gestão energética municipal até a ação de planejamento para a estruturação da mudança demográfica. Em última análise, a sustentabilidade significa também que os orçamentos do setor público se orientem pelos critérios da sustentabilidade. A sustentabilidade precisa se tornar um componente firmemente consolidado e obrigatório de todas as decisões políticas e sociais. Só assim é possível chegar-se do princípio à implementação. (BADER, 2008. n.p)

Figura 1 – Áreas de abrangência do Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: Visões..., 2008.

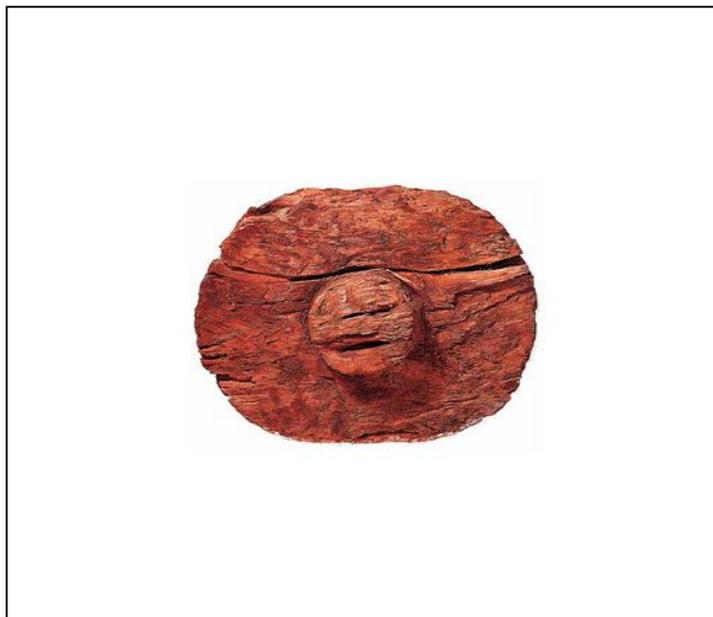
O setor privado tem adotado práticas para exercer suas atividades de maneira sustentável, voltando-se a uma gestão empresarial focada em maior responsabilidade social e ambiental. Atitudes como uso de fontes limpas e renováveis de energia, controle dos resíduos, consumo controlado de água, reciclagem de lixo, coleta seletiva e outras tem sido adotadas pelas empresas para atingir o desenvolvimento sustentável.

“A sustentabilidade consiste em encontrar meios de produção, distribuição e consumo dos recursos existentes de forma mais coesiva, economicamente eficaz e ecologicamente viável.” (BARBOSA, 2008. p. 10).

2.4 Breve história da roda

De acordo com Tudor (2009), os pesquisadores concordam que a roda foi inventada por volta de 3500 aC, na Mesopotâmia. Segundo ele, a primeira roda usada para fins de transporte foi criada em 3200 aC e seu propósito era mover carros de transporte de carga. A origem exata da roda remonta o período Paleolítico (15000 a 750000 anos atrás), quando utilizavam grandes rolos cilíndricos para mover cargas pesadas. O fato é que a roda tem impulsionado a tecnologia desde sua invenção e muitos avanços foram possíveis graças a ela.

Figura 2 – Exemplo de roda antiga feita de madeira.



Fonte: Autoevolution, 2009.

Ainda segundo Tudor (2009), os egípcios desenvolveram as rodas raiadas em 2000 aC, devido a necessidade de transportes mais rápidos. Os gregos adicionaram barras transversais pela primeira vez para aumentar sua estabilidade e resistência. Os primeiros aros de ferro em torno da roda foram vistos em carros celtas no ano de 1000 AC.

Figura 3 – Exemplo de roda de madeira raiada.



Fonte: Autoevolution, 2009.

“A roda com raios permaneceu praticamente a mesma até 1802, quando GF Bauer registrou uma patente para a primeira versão das raias feitas de aço em substituição as raias de madeira. Ao longo dos anos, elas evoluíram e se tornaram as raias que vemos nas bicicletas.” (TUDOR, 2009. n.p).

Outra grande evolução segundo Tudor (2009) foi o pneu, patenteado em 1845 por RW Thompson. Sua ideia foi melhorada por John Dunlop em 1888, que também o patenteou. Graças a boa capacidade de deslocamento e aumento do conforto, todas as bicicletas passaram a usar essa tecnologia naquela época e até hoje.

Figura 4 – Bicicleta do Museu de Harvard de 1879.



Fonte: Owls..., 2013.

2.4.1 Roda automotiva

Conforme Tudor (2009), a roda automotiva tem início em 1885 com Karl Benz na Benz Patent Motorwagen. Ele criou um veículo de três rodas de bicicleta com raias de arame, que foram equipados com borracha dura. Os primeiros a pensarem em utilizar borracha para fins automotivos foram André e Edouard Michelin, que mais tarde fundaram a famosa empresa de mesmo nome. No entanto, havia grande discrepância na expectativa de vida dos dois componentes: enquanto a roda possuía expectativa de 2000 milhas, os pneus não duravam mais do que 30 ou 40 milhas.

Figura 5 – Benz Patent Motorwagen.



Fonte: Zapcarros, 2011.

O próximo passo na evolução da roda foi assemelhar-se a um disco, movidos por necessidades de reduções de custo. As rodas em disco eram mais fáceis de serem produzidas. Enquanto as rodas em aro eram feitas a partir de tiras retas que deveriam ser cortadas e dobradas, os discos podiam ser estampados a partir de uma chapa de metal em movimentos mais fáceis. Eles eram soldados ou rebitados em conjunto e a roda resultante obtida era mais leve, dura e resistente a danos e facilmente produzida em massa, o que gerava menores custos. (Tudor, 2009).

Figura 6 – Lohner Porsche 1901 com roda em disco.



Lohner Porsche 1901

Fonte: Examiner, 2013.

Dos projetos de rodas de disco, segundo Tudor (2009), surgiram os projetos de rodas sólidas como conhecemos hoje. Com o avanço da engenharia dos materiais as rodas de aço foram sendo substituídas por rodas de ligas leves, como o alumínio e tornaram-se atrativos de beleza nos veículos, aliadas a grande performance, estabilidade e segurança.

Figura 7 – Modelo de roda de liga leve.



Fonte: Autoevolution, 2009.

2.5 Inspeção de estanqueidade

De acordo com a Portaria do Inmetro nº445 (2010) as rodas automotivas devem ser aprovadas em Ensaio de Estanqueidade para serem homologadas e comercializadas no mercado nacional.

“A roda ensaiada será considerada aprovada no ensaio de estanqueidade desde que não apresente vazamento de ar na região onde está montado o pneu, conforme estabelecido no item 5.6 da norma.” (PORTARIA INMETRO nº 445, 2010, p. 14).

Segundo Souza (2008), a inspeção de Estanqueidade é um processo que verifica a integridade de uma peça ou componente quanto a vazamentos. É um passo importante do processo de controle de qualidade. Dentro do processo de fabricação de rodas automotivas, é uma inspeção realizada para verificar se existem vazamentos ou fissuras nas rodas.

A Inspeção de Estanqueidade pode ser realizada através de equipamentos adequados, que otimizam o ensaio para atender as demandas da produção em série. Os mais comuns realizam o ensaio em tanques com água, onde a roda é vedada e mergulhada em água. A roda então é pressurizada e caso exista algum vazamento verifica-se a presença de bolhas na água.

Figura 8 – Máquina de Estanqueidade para rodas automotivas.



Fonte: Auto 1688, 2013.

Além dos equipamentos que utilizam água para a realização do ensaio, existem máquinas onde o fluido de trabalho é um gás, normalmente Hélio. Elas possuem sistemas automatizados e detectam os vazamentos pela variação no gradiente de pressão aplicado durante o ensaio, não dependendo do operador o julgamento de aprovação ou reprovação do ensaio. Embora possuam resultados extremamente confiáveis, seus custos de operação, manutenção e o investimento necessário são elevados e inviabilizam sua utilização em grande escala. O mais comum é se trabalhar com equipamentos a água e possuir um exemplar a gás para ensaios de confiabilidade, quando acessível.

Para o bom funcionamento do ensaio, as máquinas de estanqueidade devem ser alimentadas com água em condições adequadas para o ensaio. O índice de turbidez (IT) é um importante fator para a determinação da viabilidade da água.

Sobre a turbidez:

A turbidez ou turvação é aplicada às águas que contenham matérias em suspensão, as quais interferem com a passagem da luz através da água. A turvação pode ser causada por uma enorme variedade de matérias em suspensão, de origem orgânica ou inorgânica, as quais variam desde partículas coloidais até sólidos de certas dimensões. (SOUZA, 2001, p. 2).

Sobre o índice de Turbidez:

A determinação da turbidez pelo método nefelométrico, é adotado nas atividades de controle de poluição da água e de verificação do parâmetro físico nas águas consideradas potáveis. O método é baseado na comparação da intensidade de luz espalhada pela amostra em condições definidas, com a intensidade da luz espalhada por uma suspensão considerada padrão. Quanto maior a intensidade da luz espalhada maior será turbidez da amostra analisada. O turbidímetro é o aparelho utilizado para a leitura, este aparelho é constituído de um nefelômetro, sendo a turbidez expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT). (Portal..., 2008. n.p).

Quanto maior for o IT, maior é a dispersão da luz na água e mais difícil é de se perceber a presença de bolhas referentes a possíveis vazamentos. Os parâmetros operacionais definidos para trabalho dos equipamentos de estanqueidade consideram que a água deve entrar nas máquinas com IT de até 5,0 NTU e ser descartada com 10,0 NTU.

As rodas passam pela Inspeção de Estanqueidade após processo de Usinagem, o que faz com que contenham resíduos de óleo de usinagem e cavacos. Esses resíduos contaminam a água dos equipamentos de estanqueidade, aumentando o IT da água. Além disso, parte da água dos equipamentos é perdida devido ao arraste no momento de despressurização e na retirada das rodas do interior do equipamento. Esses dois fatores geram a necessidade de troca e/ou reposição do volume de água para atender as condições necessárias para o ensaio.

2.6 Máquinas de fluxo

“Máquinas de fluxo são dispositivos mecânicos que tanto extraem energia de um fluido (turbina) quanto adicionam energia ao fluido (bomba).” (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004, p. 705).

Segundo Munson (2004), as máquinas de fluxo são basicamente constituídas por um grupo de pás, aerofólios, canecas, canais de fluxo e passagens que são colocadas em torno de um eixo e protegidas por uma carcaça. Podem ser classificadas de acordo com a orientação do

escoamento do fluido, podendo ser axiais, radiais ou mistas ou de acordo ao princípio de funcionamento.

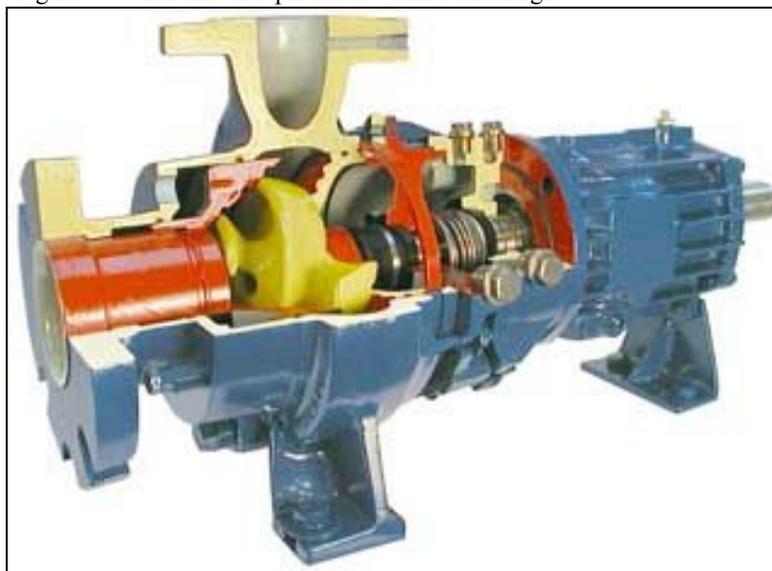
2.6.1 Bomba Centrífuga

Segundo Munson (2004), a bomba centrífuga é uma das máquinas de fluxo radial mais comuns. Ela apresenta dois componentes principais: o rotor montado num eixo e a carcaça (voluta) que envolve o rotor. O rotor possui uma série de pás arrançadas ao redor do eixo. São essas pás que adicionam energia ao fluido e aumentam sua pressão.

Os rotores podem ser abertos ou fechados. Também podem ser classificados como de simples ou dupla sucção. As bombas centrífugas podem apresentar um ou mais estágios. Para um estágio um único rotor é montado no eixo. Bombas multi-estágio possuem vários rotores no mesmo eixo. A vazão de uma bomba multi-estágio não é alterada, mas a pressão é elevada em cada estágio. (MUNSON, 2004).

As bombas centrífugas possuem grande utilização nas fábricas no transporte de fluidos e são normalmente utilizadas as moto-bombas, que são bombas centrífugas acopladas a motores elétricos. O correto dimensionamento dos sistemas hidráulicos é muito importante para sua utilização e melhor aproveitamento e atendimento das necessidades. (MUNSON, 2004).

Figura 9 – Vista em corte parcial de bomba centrífuga.



Fonte: Tetralon, 2013.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento e implementação do sistema de reaproveitamento de água para processo de inspeção de estanqueidade foram abordados os seguintes tópicos:

- a) Levantamento de dados de consumo
- b) Definição de meta de redução do consumo
- c) Levantamento e verificação de disponibilidade e conformidade da demanda
- d) Pré-projeto e análise de viabilidade econômica
- e) Desenvolvimento de projeto de captação e bombeamento de água
- f) Desenvolvimento de projeto de armazenamento e distribuição de água

3.1 Levantamento de dados de consumo

O setor de inspeção de estanqueidade é uma subdivisão do setor de Qualidade e é responsável pela inspeção de 100% das rodas que saem do setor de Usinagem. A inspeção de estanqueidade verifica a presença de trincas e fissuras que possam ocasionar vazamentos de ar no pneu a ser montado na roda. O ensaio é realizado em máquinas de estanqueidade onde o fluido de trabalho é a água. Cada máquina conta com um operador que faz a verificação visual de bolhas que indicam presença de vazamentos. O setor de inspeção de estanqueidade possui cinco máquinas de estanqueidade IMT PT-20, dispostas conforme Apêndice A – Layout da Estanqueidade.

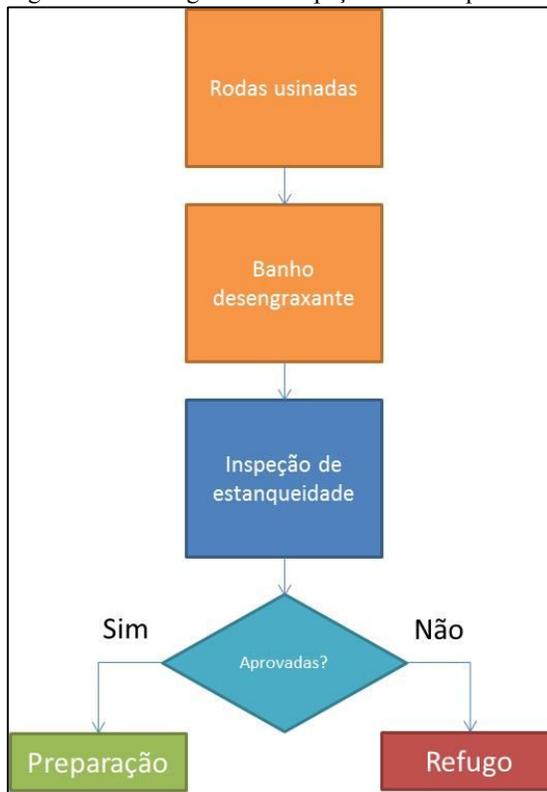
Figura 10 – Máquina para teste de resistência (estanqueidade) IMT PT-20.



Fonte: IMT..., 2011.

O fluxo de processo de estanqueidade respeita o seguinte fluxograma:

Figura 11 – Fluxograma de inspeção de estanqueidade.



Fonte: o autor.

Embora o processo conte com um banho de desengraxe antes da inspeção de estanqueidade, as rodas não entram na máquina totalmente limpas, o que provoca aumento no índice de turbidez da água de ensaio com o passar do tempo. Quando a água atinge o limite máximo aceitável para o ensaio, toda a água é descartada e substituída por água limpa. Além disso, durante o processo de inspeção ocorrem perdas de água por arraste. Esses dois parâmetros são os responsáveis pelo consumo de água gerado no processo de estanqueidade.

Foi levantado o consumo total de água na Estanqueidade no período de Janeiro a Outubro de 2012, levando em consideração as cinco máquinas de estanqueidade.

Gráfico 4 – Levantamento do consumo de água na inspeção de estanqueidade.



Fonte: o autor.

Tabela 3 – Consumo Total de água por hora.

Consumo de água Estanqueidade (5 máquinas)	
Consumo médio (descarte mais arraste)	1870 l/h
Fator de segurança	5%
Consumo total	1963 l/h

Fonte: o autor.

Conforme mostrado, foi considerado um fator de segurança de 5% para o consumo de água total da Estanqueidade. O fator de segurança foi definido por decisão gerencial.

3.2 Definição de meta de redução do consumo

De posse das informações do consumo de água da Estanqueidade foi analisada a relação entre o consumo da Estanqueidade e o consumo total de água da planta.

Tabela 4 – Consumo relativo da Estanqueidade.

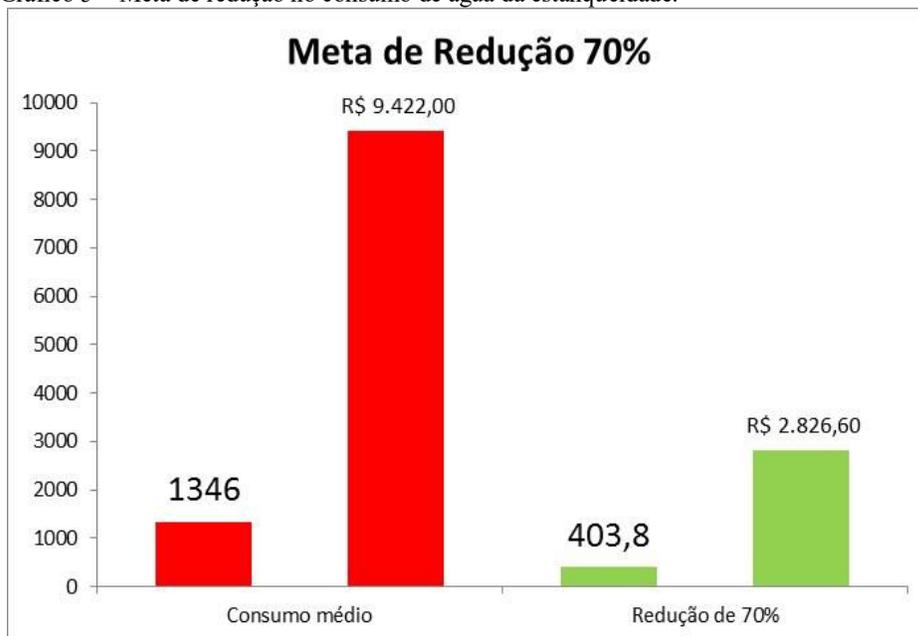
Mês (2012)	Consumo total da planta (m ³)	Consumo Total Estanqueidade	Consumo relativo (%)
Janeiro	11951	1273	10,65%
Fevereiro	12388	1015	8,19%
Março	15109	1304	8,63%
Abril	14284	1232	8,63%
Mai	16911	1296	7,66%
Junho	16314	1107	6,79%
Julho	16109	1279	7,94%
Agosto	16457	1238	7,52%
Setembro	16693	1597	9,57%
Outubro	16999	2119	12,47%
Total	153215	13460	8,79%

Fonte: o autor.

Como visto acima, o consumo da estanqueidade representa aproximadamente 9% do consumo total de água da fábrica inteira. Sabendo que o custo do m³ de água fornecida para empresa é de R\$7,00 (dados de 2012/2013) pode-se chegar ao custo médio mensal da água da estanqueidade de R\$9.422,00.

De acordo a essas informações, foi tomada decisão gerencial de reduzir em 70% o consumo de água mensal da Estanqueidade, o que acarreta em uma redução de R\$6.595,00 por mês, totalizando R\$79.140,00 no ano.

Gráfico 5 – Meta de redução no consumo de água da estanqueidade.



Fonte: o autor.

3.3 Levantamento e verificação de disponibilidade e conformidade da demanda

Após a identificação do consumo de água da Estanqueidade foi feito o levantamento de áreas do processo produtivo que pudessem ter demanda excedente de água. Essa água seria utilizada no ensaio de estanqueidade, reduzindo assim seu consumo mensal. Foi identificada uma situação favorável no setor de pintura, no processo de pré-tratamento. O layout encontra-se disponível no Apêndice B – Layout do Pré-tratamento.

O processo de pintura de rodas automotivas possui um pré-tratamento para que a pintura seja realizada com ótima aderência e nenhuma contaminação. Os banhos de pré-tratamento retiram todas as impurezas do processo de fabricação, como óleos e óxidos, deixando a superfície das rodas em perfeito estado para receber a tinta automotiva. As etapas do pré-tratamento são:

- a) Banho desengraxante: Remove óleos e poeira
- b) Lavagem 1: Remove os resíduos do banho desengraxante
- c) Banho desoxidante: Remove o óxido do alumínio
- d) Lavagem 2: Remove os resíduos do banho desoxidante
- e) Conversor de camadas: Garantir a aderência da tinta e proteção contra corrosão
- f) Lavagem 3: Remove os resíduos do conversor de camadas

Os tanques de lavagem 1, 2 e 3 utilizam água industrial para enxágue das rodas após os banhos químicos. A água é armazenada em tanques de aço inox e pulverizada sobre as rodas através de bombas centrífugas e pulverizadores. Os tanques trabalham com a água em circulação, para evitar contaminações que possam causar impurezas na pintura. Devido a isso, água é bombeada constantemente para os tanques e o excesso é descartado para a Estação de Tratamento de Esgoto.

Foi aferida a vazão de água descartada pelos tanques, onde é mostrado que a vazão descartada pelos tanques é mais do que suficiente para atender ao consumo de 1963 l/h da Estanqueidade, conforme figura abaixo:

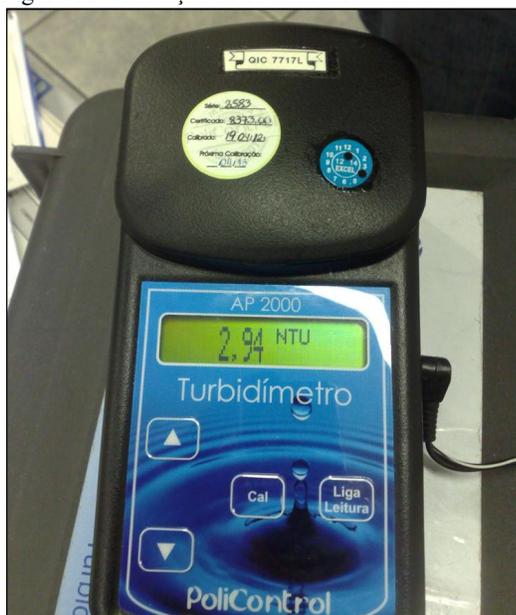
Tabela 5 – Água descartada no pré-tratamento.

Água descartada no pré-tratamento	
Vazão descartada por tanque de lavagem	1020 l/h
Quantidade de tanques	3
Vazão Total descartada	3060 l/h

Fonte: o autor.

O próximo passo é saber se essa água descartada seria adequada para a inspeção de estanqueidade. A água admitida nas máquinas de estanqueidade deve ter Índice de Turbidez máximo de até 5,0 NTU. Foi aferido o IT da água descartada no pré-tratamento com um Turbidímetro, conforme figura a seguir.

Figura 12 – Medição de IT com turbidímetro.



Fonte: o autor.

Foram feitas dez medições em dias e horários alternados para encontrar a média do IT, conforme figura abaixo:

Tabela 6 – Resultado de medição de IT.

Medição de IT água pré-tratamento	NTU
#1	2,94
#2	3,15
#3	4,12
#4	2,06
#5	2,81
#6	3,55
#7	3,41
#8	3,78
#9	4,22
#10	3,47
Média	3,35

Fonte: o autor.

Conforme dados acima foi concluído que a água descartada pelo pré-tratamento poderia ser reaproveitada na Estaqueidade.

3.4 Pré-projeto e análise de viabilidade econômica

De posse das informações anteriores, foi feito um escopo do projeto com as informações iniciais e necessárias para a cotação dos serviços e materiais. Os itens previstos no escopo estão listados na tabela abaixo:

Tabela 7 – Escopo para cotação.

Escopo para cotação de projeto de reaproveitamento de água Pintura - Estanqueidade	
Atividades	Qtde
Fabricação de tanque de captação de água em aço Inox 304	1 peça
Instalação de bomba centrífuga para transporte da água	1 peça
Montagem de tubulação com suportaço	40 m
Fabricação de suporte para caixa d' água	1 peça

Fonte: o autor.

Depois de concluído o processo de cotação pelo setor de Suprimentos, chegou-se aos seguintes valores para execução do serviço e lista de materiais necessários:

Figura 13 – Orçamento para execução do projeto.

<p>Nº Orçamento: 547</p> <p>REF: Instalação sistema economia de água área F2.</p> <p>Fornecimento mão de obra elétrica, hidráulica e caldeiraria para instalação sistema economia de água área F2.</p> <p><u>Escopo dos Serviços:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricação de tanque de 1000x1000x1000 mm em aço Inox 304; • Montagem de 40 metros tubo PVC 40 mm; • Suportaço de toda tubulação; • Montagem e ligação motor bomba e controle boias; • Confecção de suporte para abrigar caixa de água 4 mil litros. <p><u>Preço para confecção de suportes:</u> R\$ 2.800,00 (Dois mil e oitocentos reais).</p> <p><u>Preço para montagem sistema:</u> R\$ 3.250,00 (Três mil duzentos e cinquenta reais).</p> <p><u>Preço total:</u> R\$ 6.050,00 (Seis mil e cinquenta reais).</p> <p><u>Prazo para entrega dos serviços:</u> 08 dias.</p> <p><u>Condições de pagamento:</u> 30 dias.</p> <p><u>Validade da proposta:</u> 31/10/2012.</p>
--

Fonte: Confidencial, 2012.

Figura 14 – Lista de materiais.

N° controle : 327
Ref. : Materiais referente ao orçamento 547 (instalação hidráulica F2).
12 pçs barra tubo PVC rígido 40mm x 6000mm – marrom;
15 pçs barra roscada galvanizada 3/8 x 3000mm;
60 pçs abraçadeira tipo D 1 ½" galvanizado;
08 pçs barra perfilado galvanizado 38mm x 38mm x 6000mm perfurado chapa 18;
08 pçs adaptador PVC com flange 40mm – marrom;
10 pçs adaptador PVC curto 40mm – marrom;
22 pçs joelho 90° 40mm PVC – marrom;
12 pçs joelho 45° 40mm PVC – marrom;
12 pçs T 40mm PVC – marrom;
12 pçs redução PVC 40mm x 25mm;
06 pçs válvula esfera DECA 1 ½";
08 pçs válvula esfera DECA ¾";
06 pçs barra tubo galvanizado 150 libras 1 ½";
08 pçs joelho galvanizado 90° 150 libras;
06 pçs tubo adesivo PVC 175 ml – vermelho.
06 pçs união galvanizada 1 ½" – 150 libras;
01 pç T PVC 2" – marrom;
04 pçs redução PVC 60mm x 40mm;
04 pçs adaptador 60 mm – marrom;
04 pçs união PVC 40 mm – marrom.

Fonte: Confidencial, 2012.

Parte dos materiais necessários para o serviço foi encontrada em estoque ou reaproveitada. Foi feita a cotação dos materiais restantes pelo setor de Suprimentos, conforme indicado pela figura abaixo:

Tabela 8 – Cotação dos materiais.

Cotação de materiais para projeto de reaproveitamento de água	
Pintura - Estanqueidade	
Item	R\$
Materiais de PVC	R\$ 740,00
Chapas Aço Inox 304	R\$ 4.000,00
Materiais galvanizados	R\$ 450,00
Materiais para plataforma caixa d' água	R\$ -
Bomba centrífuga	R\$ 730,00
Caixa d' água 4000 litros	R\$ -
Materiais elétricos	R\$ -
Total	R\$ 5.920,00

Fonte: o autor.

De acordo aos dados acima é possível fazer a análise de viabilidade econômica do projeto e calcular o payback (tempo de retorno do investimento), conforme figura abaixo:

Tabela 9 – Análise de viabilidade e payback.

Análise de Viabilidade Econômica				
Custo		Retorno financeiro		Payback
Item	R\$	Item	R\$	Meses
Mão de obra	R\$ 6.050,00	942,2 m ³ /mês	R\$ 6.595,00	1,8
Materiais	R\$ 5.920,00			
Total	R\$ 11.970,00			

Fonte: o autor.

3.5 Desenvolvimento de projeto de captação e bombeamento de água

O projeto de captação de água engloba os seguintes tópicos:

- a) Projeto do tanque de captação de água
- b) Projeto do sistema hidráulico
- c) Dimensionamento da bomba centrífuga

3.5.1 Projeto do tanque de água

Para a captação da água descartada no tanque de pré-tratamento foi projetado um tanque de aço inox 304 com capacidade para armazenamento de 1m³ de água, conforme Apêndice C – Tanque de Captação de água. O tanque foi construído com chapas de aço inox de espessura de 4 mm e perfil L de abas iguais, unidas através de soldagem de eletrodo revestido.

3.5.2 Projeto do sistema hidráulico

Foi projetado o sistema hidráulico levando em consideração as curvas necessárias para o melhor trajeto da tubulação e todas as conexões necessárias, conforme desenho no Apêndice D – Projeto hidráulico. Foram utilizadas barras de tubo PVC soldável 40 mm e conexões, como joelhos 90°, joelhos 45°, tês 90° e válvulas esféricas.

3.5.3 Dimensionamento da bomba centrífuga

Com o sistema hidráulico definido foi possível dimensionar a bomba centrífuga mais adequada para o bombeamento de água do tanque de captação do pré-tratamento para a Estanqueidade. Foram adotadas as seguintes considerações iniciais:

- a) Vazão desejada: 2 l/s
- b) Altura mínima da coluna d' água no tanque: 0,3 m
- c) Altura de recalque: 5 m
- d) Comprimento da tubulação PVC 40 mm: 43,8 m

Os acessórios existentes na rede hidráulica que causam perda de carga no sistema são listados a seguir:

- a) 3 válvulas esféricas de passagem plena 40 mm
- b) 9 joelhos 90° PVC soldável 40 mm
- c) 3 joelhos 45° PVC soldável 40 mm
- d) 4 tês 90° PVC soldável 40 mm
- e) 2 adaptadores para caixa d' água 40 mm

Os cálculos necessários para o dimensionamento da bomba encontram-se a seguir. Para a determinação da perda de carga do sistema foram utilizados os dados disponíveis nos catálogos do fabricante, disponíveis nos Anexos A e B.

Segue abaixo o resultado da perda de carga equivalente aos acessórios.

Tabela 10 – Perda de carga equivalente – Acessórios.

Acessório	Quantidade	Perda de carga equivalente (m)
Válvula esfera passagem plena PVC 40 mm	3	0,03
Joelho 90° PVC 40 mm	9	18
Joelho 45° PVC 40 mm	3	3
Adaptador para caixa d'água PVC 40 mm	2	1,2
Tê 90° PVC 40 mm	4	18,4
Perda total equivalente		40,63

Fonte: o autor.

O comprimento total da tubulação é determinado pela equação abaixo.

$$L = l + Pe$$

Onde:

L – Comprimento total da tubulação (m)

l – Comprimento da tubulação = 43,8 m

Pe – Perda total equivalente = 40,63 m

$$L = 43,8 + 40,63 = 84,43m$$

De acordo a vazão desejada, determina-se a velocidade do escoamento, conforme cálculos abaixo.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Onde:

V – Velocidade do escoamento (m/s)

Q – Vazão volumétrica = 0,002 m³/s

A – Área da seção útil da tubulação = 9,71314*10⁻⁴ m²

$$V = \frac{0,002}{9,7314 * 10^{-4}} = 2,05 \text{ m/s}$$

Com a velocidade do escoamento encontra-se o Número de Reynolds e define-se a natureza do escoamento, conforme abaixo.

$$Re = \frac{V * d}{\nu}$$

Onde:

Re – Número de Reynolds

V – Velocidade do escoamento = 2,05 m/s

d – Diâmetro interno da tubulação = 35,2 mm

ν – Viscosidade cinemática do fluido = $1,01 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Re = \frac{2,05 * 35,2 * 10^{-3}}{1,01 * 10^{-6}} = 72882$$

Para $Re > 2000$ o regime é considerado turbulento.

Para a determinação da perda de carga da tubulação em regime turbulento é utilizada a equação abaixo.

$$J = \frac{f * L * V^2}{2 * d * g}$$

Onde:

J - Perda de carga (m)

L – Comprimento total da tubulação = 84,43 m

f – Fator de atrito = 0,13 m/m (obtido do ábaco, figura23)

g – Aceleração da gravidade = $9,81 \text{ m/s}^2$

$$j = \frac{0,13 * 84,43 * 2,05^2}{2 * 0,0352 * 9,81} = 66,79 \text{ m}$$

Através da Equação de Bernoulli é possível determinar a altura manométrica do sistema.

$$H = \frac{1}{2 * g} * (V2^2 - V1^2) + \frac{1}{\rho g} * (P2 - P1) + (z2 - z1) + J$$

Onde:

H – Altura manométrica (m)

V2 – Velocidade do escoamento na saída do recalque = 2,05 m/s

V1 – Velocidade do escoamento na entrada da sucção = 2,05 m/s

ρ – Massa específica da água = 1000 kg/m³

P2 – Pressão na saída do recalque = 101325 Pa

P1 – Pressão na entrada da sucção (Pa)

z2 – Altura geométrica do recalque = 5,0 m

z1 – Altura geométrica da sucção = 0,0 m

A Pressão na entrada da sucção (P1) é determinada em função da altura manométrica do tanque de captação de água, visto que a bomba centrífuga trabalha afogada.

$$P1 = P_{atm} + \rho g h$$

Onde:

P_{atm} – Pressão atmosférica = 101325 (Pa)

h – altura da coluna d' água no reservatório = 0,3 m

$$P1 = 101325 + (1000 * 9,81 * 0,3) = 104268 Pa$$

Portanto,

$$H = \frac{1}{2g} * (2,05^2 - 2,05^2) + \frac{1}{1000 * 9,81} * (101325 - 104268) + (5 - 0) + 66,79$$

$$H = 71,49m$$

Com a altura manométrica é possível definir a potência mínima necessária da bomba a ser utilizada, conforme equação abaixo.

$$P = \rho g * Q * H$$

Onde:

P – Potência elétrica necessária (W)

$$P = 1000 * 9,81 * 0,0025 * 71,49 = 1753,3W = 2,38 cv$$

De acordo com o resultado obtido a bomba centrífuga escolhida foi uma Bomax Selo 421 com potência de 3 cv.

3.6 Desenvolvimento de projeto de armazenamento e distribuição de água

Toda a água bombeada do pré-tratamento foi armazenada em uma caixa d' água colocada próxima ao setor da Estanqueidade, para ser usada conforme a necessidade de consumo. Foi especificada uma caixa d' água de 4000 litros de capacidade. A rede de alimentação de água das máquinas foi adaptada com um by-pass com água industrial e água do pré-tratamento, no caso de parada do setor de pintura.

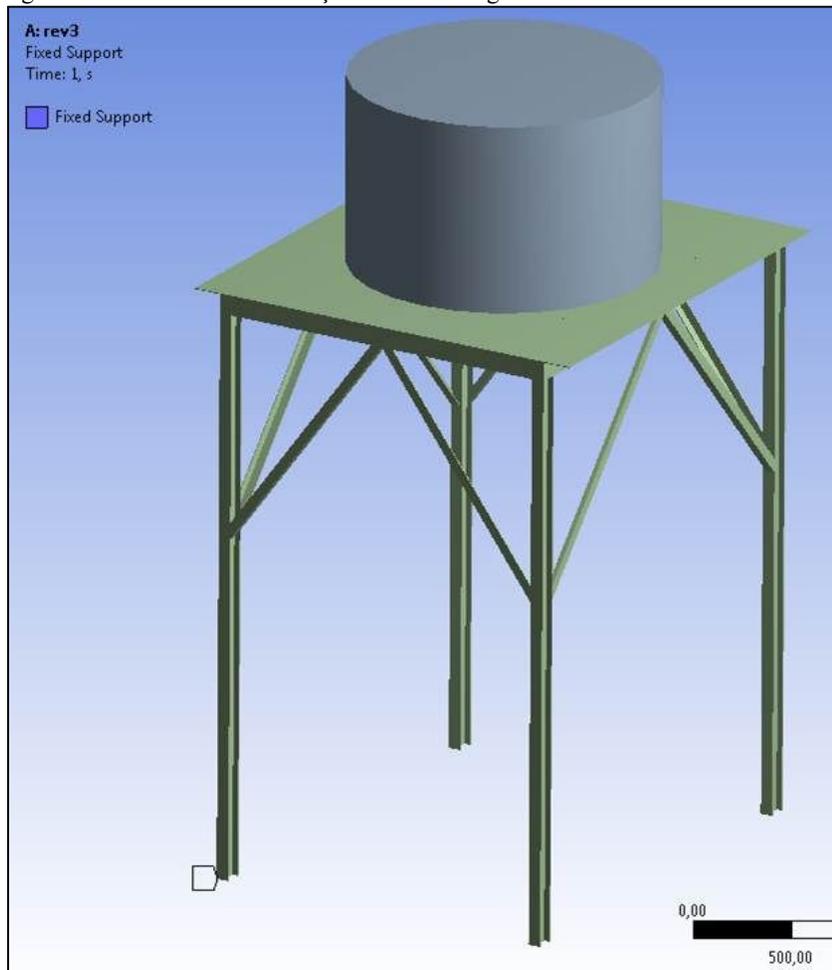
Para melhor distribuição da água nas máquinas de estanqueidade foi projetada uma plataforma com 3 m de altura para elevação da caixa d' água, conforme Apêndice E – Projeto da Plataforma. A plataforma foi fabricada em aço estrutural A36, com materiais reaproveitados que estavam em desuso.

Os cálculos necessários para o dimensionamento da plataforma foram realizados conforme norma NRR8800-2008 (Projetos de estruturas de aço) e encontram-se abaixo. Foi feita também uma simulação computacional através do método de Análise de Elementos Finitos para averiguação dos resultados.

3.6.1 Determinação de esforços nos elementos críticos

A plataforma deve sustentar o peso da caixa d' água de 4000 litros, disposta conforme figura abaixo.

Figura 15 – Plataforma de elevação da caixa d' água.



Fonte: o autor.

Foram utilizados os seguintes perfis metálicos para a fabricação da plataforma.

Tabela 11 – Perfis metálicos utilizados na plataforma.

Elemento constutivo	Perfil	Especificação
Coluna	Perfil I	Perfil extrudado I 4" 1ª alma A36
Viga	Perfil U	Perfil extrudado U 4" 1ª alma A36
Mão francesa	Perfil cantoneira de abas iguais	Perfil L 2"x2"x1/4"

Fonte: o autor.

Para o dimensionamento da plataforma foram levadas em consideração as condições mais críticas atuantes em cada elemento, conforme abaixo.

Condição mais crítica para colunas:

$$FY = \frac{(Pp \text{ vigas} + Pp \text{ chapa} + \text{Carregamento})}{4} + \text{sobrecarga}$$

$$FX = \text{Força de arrasto vento} + Fx \text{ Mão francesa}$$

Condição mais crítica para vigas:

$$FY = \frac{Pp \text{ chapa}}{8} + \frac{\text{Carregamento}}{4} + \text{sobrecarga}$$

Condição mais crítica para mão francesa:

$$F = \left(\frac{Pp \text{ chapa} + Pp \text{ vigas} + \text{carregamento}}{8} + \text{sobrecarga} \right)$$

Para o dimensionamento da plataforma deve ser levada em consideração a ação do vento, pois embora a mesma esteja dentro do ambiente fabril, existem janelas externas que possibilitam a entrada de ventilação natural. Para a determinação da Força de Arrasto deve-se analisar a plataforma como uma torre reticulada, conforme NBR6123-1988 (Forças devido ao Vento em Edificações).

Conforme item 7.7 da NBR6123-1988, a força de arrasto em torres articuladas pode ser obtida através da equação abaixo.

$$F_a = C_a * q * A_e$$

Onde:

F_a – Força de arrasto (N)

C_a – Coeficiente de arrasto = 2

q – Pressão dinâmica do vento (N/m^2)

A_e – Área frontal efetiva de uma das faces da torre reticulada = $1,044 m^2$

A pressão dinâmica do vento é obtida através da seguinte equação:

$$q = 0,613 * V_k^2$$

Onde:

V_k – Velocidade característica do vento (m/s)

A velocidade característica do vento é determinada pela equação abaixo:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3$$

Onde:

V_0 – Velocidade básica do vento (m/s)

S_1 – Fator topográfico

S_2 – Fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura do terreno

S_3 – Fator estatístico

A velocidade básica do vento é obtida através do gráfico de isoplelas presente na NBR6123-1988. Os fatores S1, S2 e S3 também são obtidos através da norma, conforme itens 5.2, 5.3 e 5.4. Os resultados encontrados foram:

- a) $V_0=30$ m/s (Minas Gerais)
- b) $S_1=1,0$ (terreno plano)
- c) $S_2=0,79$ (categoria IV, classe A)
- d) $S_3=1,0$ (grupo 2)

Portanto,

$$V_k = 30 * 1 * 0,79 * 1 = 23,7 \text{ m/s}$$

$$q = 0,613 * 23,7^2 = 344,32 \text{ N/m}^2$$

$$F_a = 2 * 344,32 * 1,044 = 718,94 \text{ N}$$

Para a determinação dos esforços aplicados em cada elemento construtivo da plataforma devem ser levados em consideração os pesos de cada elemento conforme detalhado na determinação da condição mais crítica. As informações de pesos próprios foram retiradas do catálogo do fabricante GERDAU. O peso total é obtido através do produto entre o peso próprio pela quantidade e comprimento linear de cada perfil. Os resultados são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 12 – Peso dos elementos construtivos.

Peso dos elementos construtivos			
Elemento construtivo	Descrição	Peso próprio (kgf/m)*	Peso Total (N)
Chapa	Aço Carbono SAE 1020 2200x2320x3/16"	37,648	1926
Viga	Perfil U extrudado 4" 1ª alma A36	8,04	1047
Coluna	Perfil I extrudado 4" 1ª alma A36	11,46	1367
Mão francesa	Perfil cantoneira de abas iguais 2x2x1/4" A36	4,74	411
*Peso próprio da chapa é dado em kg/m2			

Fonte: o autor.

De acordo com as condições mais críticas para cada elemento e os pesos próprios totais pode-se chegar ao carregamento de Ações Permanentes (G), conforme tabela abaixo.

Tabela 13 - Ações permanentes nos elementos construtivos.

Ação permanente					
Carregamento	Viga U (N)	Carregamento	Mão Francesa (N)	Carregamento	Coluna I (N)
Pp chapa	240,75	Pp chapa	240,75	Pp chapa	481,5
Carga aplicada	10000	Carga aplicada	5000	Carga aplicada	10000
		Pp vigas	130,875	Pp vigas	130,875
Ação permanente	10241	Ação permanente	3798	Ação permanente	10612

Fonte: o autor.

Conforme o item 4.7 da NBR 8800-2008, os valores de cálculo das ações são obtidos a partir dos valores representativos, multiplicados pelos coeficientes de ponderação aplicáveis. Partindo deste princípio foi encontrada a Solicitação de Cálculo crítica (Sd) para cada elemento construtivo, sendo adotadas as seguintes considerações:

- $\gamma_g = 1,25$ (Peso próprio de estruturas metálicas em condições normais).
- Sobrecarga na estrutura de 2060 N (peso de três pessoas de 70 kg)
- $\gamma_q = 1,5$ (Ação variável de uso e ocupação em condições normais)
- $\gamma_q = 1,4$ (Ação variável do vento em condições normais)

Os resultados encontrados são evidenciados abaixo.

Viga U:

$$Sd = \gamma_g * G + \gamma_{q1} * Q1$$

$$Sd = 1,25 * 10241 + 1,5 * 2060 = 15891 \text{ N}$$

Perfil L:

$$Sd = \gamma_g * G + \gamma_{q1} * Q1$$

$$Sd = 1,25 * 5372 + 1,5 * 2060 = 8462 \text{ N}$$

Coluna I (Eixo Y):

$$Sd = \gamma_g * G + \gamma_{q1} * Q1$$

$$Sd = 1,25 * 10612 + 1,5 * 2060 = 16355 \text{ N}$$

Coluna I (Eixo X):

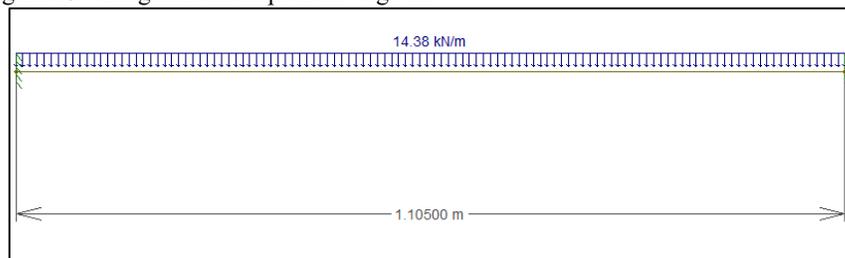
$$Sd = \gamma_g * G + \gamma_{q1} * Q1$$

$$Sd = 1,25 * 3798 = 4748 \text{ N}$$

$$Sd = 1,4 * 718,94 = 1007 \text{ N}$$

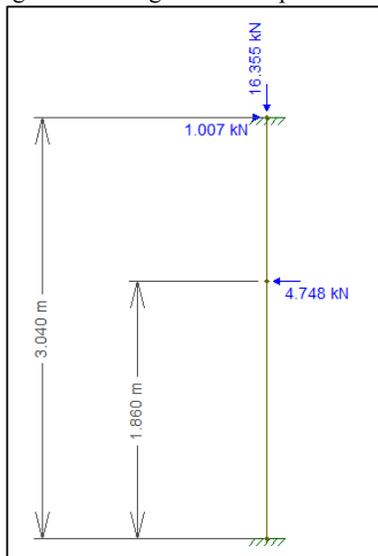
Seguem abaixo os diagramas de corpo livre com as representações de cada elemento construtivo na situação mais crítica. No caso da viga U, o carregamento encontrado foi distribuído ao longo do comprimento da viga.

Figura 16 – Diagrama de corpo livre Viga U.



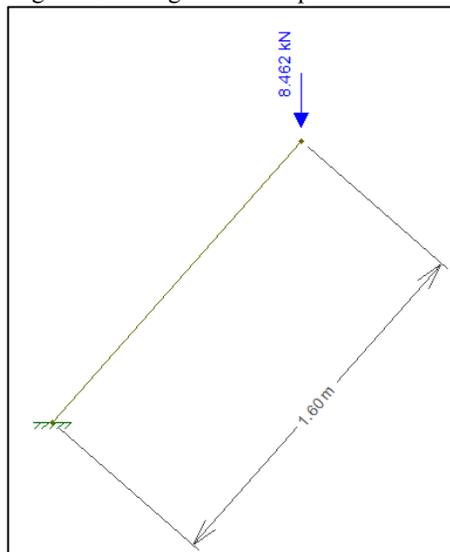
Fonte: o autor.

Figura 17 – Diagrama de corpo livre Coluna I.



Fonte: o autor.

Figura 18 – Diagrama de corpo livre Mão Francesa.

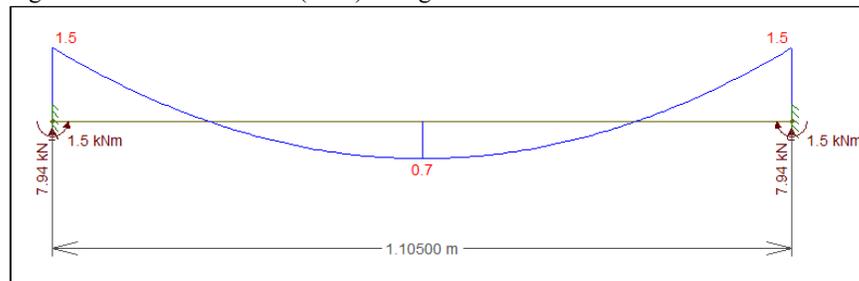


Fonte: o autor.

3.6.2 Dimensionamento de Viga U

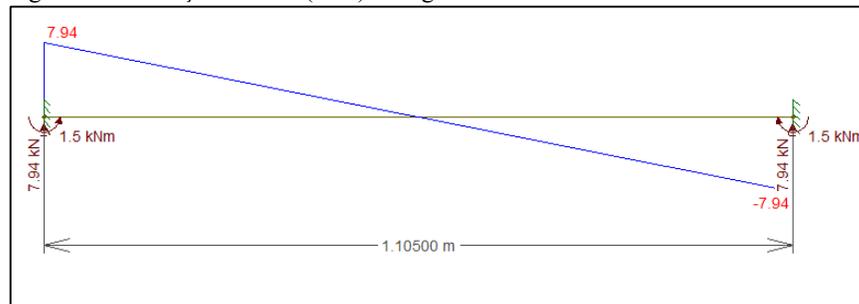
Através do software FTOOL foram calculados os esforços de cálculo de Momento Fletor, Esforço Cortante e flecha máxima, conforme abaixo.

Figura 19 – Momento Fletor (MSd) na viga U.



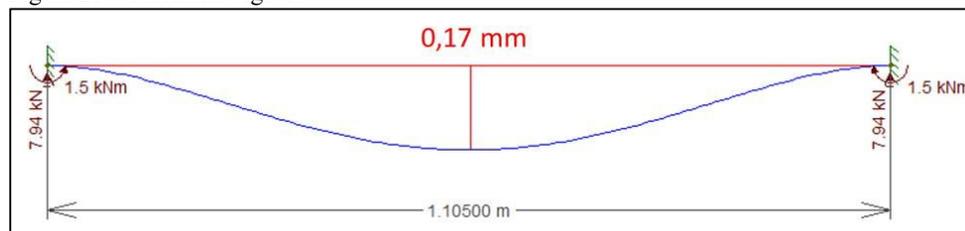
Fonte: o autor.

Figura 20 – Esforço Cortante (VSd) na viga U.



Fonte: o autor.

Figura 21 – Flecha na viga U.



Fonte: o autor.

Portanto,

$$M_{sd} = 1,5 \text{ kN}\cdot\text{m}.$$

$$V_{sd} = 7,94 \text{ kN}.$$

$$\text{Flecha} = 0,17 \text{ mm}.$$

A Resistência de Cálculo (R_d) da viga U é determinada de acordo ao Anexo G da NBR 8800:2008, relativo a Vigas não Esbeltas. As condições de aceitação para este caso são:

- $M_{sd} \leq M_{rd}$
- $V_{sd} \leq V_{rd}$
- $\text{Flecha} \leq \text{Flecha máxima}$

As características geométricas do perfil U foram retiradas do catálogo do fabricante Gerdau, conforme figura abaixo.

Tabela 14 – Características geométricas perfil U.

Perfil U													
Bitola	Alma		Aba			Eixo X			Eixo Y				
Pol	d (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	Área (cm ²)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	r (cm)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	r (cm)	X (cm)	J (cm ⁴)
4	101,6	4,67	40,23	7,52	10,1	159,5	31,4	3,97	13,1	4,61	1,14	1,16	32,94

Fonte: o autor.

3.6.2.1 Momento fletor na Viga U

Para a determinação do Momento Resistente de Cálculo (MRd) devem ser analisados os três tipos de flambagem previstos no Anexo G da NBR 8800:2008, conforme abaixo.

- Flambagem Lateral com Torção (FLT)
- Flambagem Local da Mesa comprimida (FLM)
- Flambagem Local da Alma (FLA)

Os parâmetros para a determinação de cada um dos tipos de flambagem pode ser encontrado na Tabela G-1 da norma NBR 8800:2008, conforme figura abaixo.

Figura 22 – Parâmetros referentes ao momento fletor resistente.

Tipo de seção e eixo de flexão	Estados-limites aplicáveis	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 1	$\frac{L_b}{r_y}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 1
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	$\frac{b/t}{}$ Ver Nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

Para FLT:

$L_b = 0$ (como a chapa da plataforma trava o movimento lateral da viga U, a distância entre as duas seções contidas à flambagem lateral com torção é nula)

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = 0$$

Do item G2.1, “alínea A” da NBR 8800:2008:

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda < \lambda_p$$

Visto que:

$$M_{pl} = 1,5 * W_x * f_y$$

Onde:

Mrd – Momento fletor de cálculo (kN*cm)

M_{pl} – Momento fletor de plastificação (kN*cm)

γ_{a1} – Fator de segurança = 1,10

f_y – Tensão de escoamento = 250 Mpa

W_x – Módulo de resistência (cm³)

Portanto,

$$M_{rd} = \frac{1,5 * 31,4 * 25}{1,1} = 1070 \text{ kN} * \text{cm}$$

Para FLM:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{4,023}{0,752} = 5,35$$

Da tabela G-1 da NBR 8800:2008:

$$\lambda_p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 * \sqrt{\frac{20 * 10^3}{25}} = 10,75$$

Do item G2.1, “alínea A” da NBR 8800:2008:

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda < \lambda_p$$

Portanto,

$$Mrd = \frac{1,5 * 31,4 * 25}{1,1} = 1070 \text{ kN} * \text{cm}$$

Para FLA:

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{(101,6 - 2 * 7,52)}{4,67} = 18,53$$

Da tabela G-1 da NBR 8800:2008:

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20 * 10^3}{25}} = 106,34$$

Do item G2.1, “alínea A” da NBR 8800:2008:

$$Mrd = \frac{Mpl}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda < \lambda_p$$

Portanto,

$$Mrd = \frac{1,5 * 31,4 * 25}{1,1} = 1070 \text{ kN} * \text{cm}$$

Conforme já visto, a condição de aceitação é:

$$Msd \leq Mrd$$

$$150 \text{ kN} * \text{cm} \leq 1070 \text{ kN} * \text{cm}$$

A condição ideal de projeto em relação a custo-benefício é que a relação Rd/Sd fique entre 1,0 a 1,1. Para o momento fletor na viga U temos:

$$\eta = \frac{Mrd}{Msd} = \frac{1070}{150} = 7,13$$

Logo, o perfil U está superdimensionado com relação ao momento fletor.

3.6.2.2 Esforço cortante na Viga U

A força cortante resistente de cálculo, Vrd, é determinada através do item 5.4.3.1 Seções I, H e U fletidas em relação ao eixo perpendicular à alma da NBR 8800:2008. A verificação é feita através da comparação do índice de esbeltez da alma com o índice de esbeltez de referência, λ_p , conforme abaixo.

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{(101,6 - 2 * 7,52)}{4,67} = 18,53$$

Sendo,

$$\lambda_p = 1,1 * \sqrt{\frac{Kv * E}{fy}}$$

O coeficiente Kv é determinado de acordo com a figura abaixo.

Figura 23 – Determinação de Kv.

$$k_v = \begin{cases} 5,0 & \text{para almas sem enrijecedores transversais, para } \frac{a}{h} > 3 \text{ ou para } \frac{a}{h} > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2 \\ 5 + \frac{5}{(a/h)^2} & \text{, para todos os outros casos} \end{cases}$$

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

Para a determinação de K_v :

$$\frac{a}{h} = \frac{1105}{86,56} = 12,76$$

Como $a/h < 3$, $K_v = 5$.

$$\lambda_p = 1,1 * \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} = 1,1 * \sqrt{\frac{5 * 20 * 10^3}{25}} = 69,57$$

Do item 5.4.3.1 da NBR 8800:2008:

$$V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda < \lambda_p$$

Visto que:

$$V_{pl} = 0,6 * A_w * f_y$$

Onde,

V_{pl} – Esforço cortante de plastificação (kN)

A_w – Área efetiva de cisalhamento (cm²)

A área efetiva de cisalhamento é determinada no item 5.4.3.1.2 da NBR 8800:2008 como:

$$A_w = d * t_w$$

Substituindo os valores,

$$V_{pl} = 0,6 * 10,16 * 0,752 * 25 = 114,60 \text{ kN}$$

Assim,

$$V_{rd} = \frac{114,60}{1,1} = 104,2 \text{ kN}$$

Conforme já visto, a condição de aceitação é:

$$V_{sd} \leq V_{rd}$$

$$7,94 \text{ kN} \leq 104,2 \text{ kN}$$

A condição ideal de projeto em relação a custo-benefício é que a relação R_d/S_d fique entre 1,0 a 1,1. Para o esforço cortante na viga U temos:

$$\eta = \frac{V_{rd}}{V_{sd}} = \frac{104,2}{7,94} = 13,12$$

Logo, o perfil U está superdimensionado com relação ao esforço cortante.

3.6.2.3 Flecha na Viga U

A flecha máxima admissível é dada na tabela C.1 da NBR 8800:2008.

Figura 24 – Deslocamentos máximos.

Descrição	δ^a
- Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{c,d}$
- Terças de cobertura ^{g)}	$L/180^e$
	$L/120^f$
- Vigas de cobertura ^{g)}	$L/250^h$
- Vigas de piso	$L/350^h$
- Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: ^{j)}	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800^i$
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000^i$
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/300$
- Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	$H/400^{k1}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
- Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H/400$
- Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$h/500^m$
Lajes mistas	Ver Anexo Q

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

No caso da viga U, trata-se de uma viga de cobertura, portanto:

$$\delta_{max} = \frac{L}{250}$$

Onde L é o vão livre da viga.

Portanto,

$$\delta_{max} = \frac{1105}{250} = 4,42 \text{ mm}$$

Conforme já visto, a condição de aceitação é:

$$\begin{aligned} \delta &\leq \delta_{max} \\ 0,171 \text{ mm} &\leq 4,42 \text{ mm} \end{aligned}$$

A condição ideal de projeto em relação a custo-benefício é que a relação δ_{max}/δ fique entre 1,0 a 1,1. Para o a flecha na viga U temos:

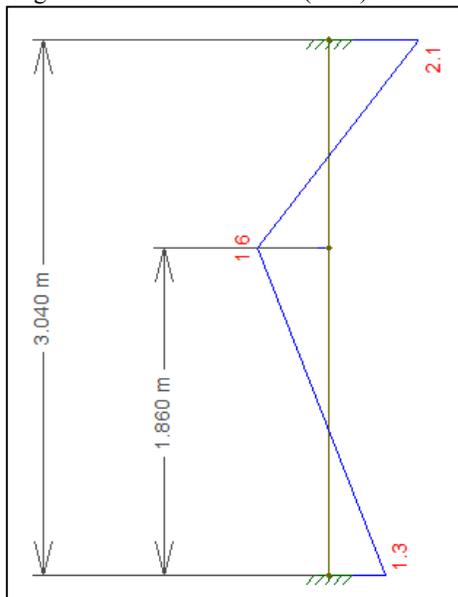
$$\eta = \frac{\delta_{max}}{\delta} = \frac{4,42}{0,171} = 25,84$$

Logo, o perfil U está superdimensionado com relação a flecha.

3.6.3 Dimensionamento de Coluna I

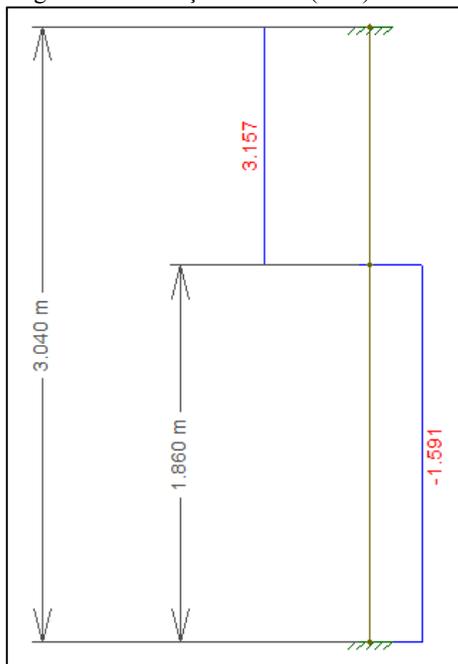
Através do software FTOOL foram calculados os esforços de cálculo de Momento Fletor, Esforço Cortante e flecha máxima, conforme abaixo.

Figura 25 – Momento Fletor (MSd) na coluna I.



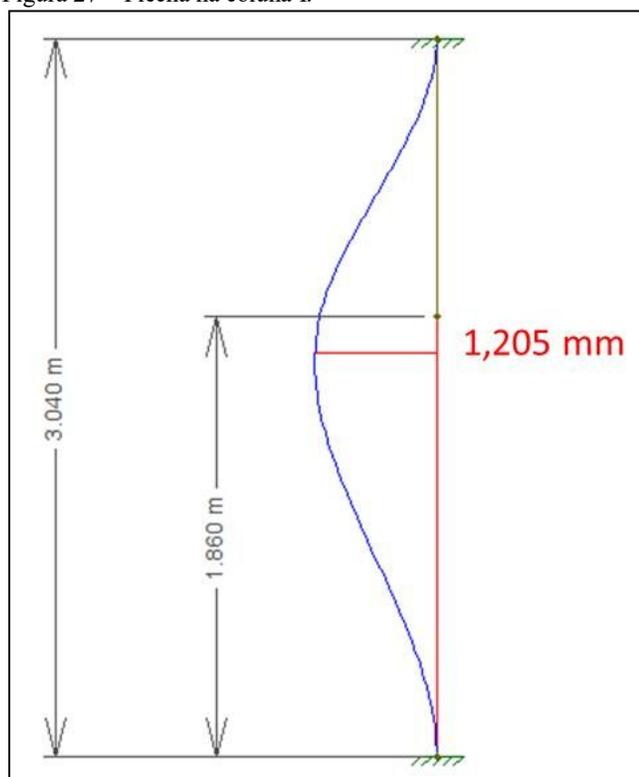
Fonte: o autor.

Figura 26 – Esforço Cortante (VSd) na coluna I.



Fonte: o autor.

Figura 27 – Flecha na coluna I.



Fonte: o autor.

Portanto,

$$M_{sd} = 2,1 \text{ kN}\cdot\text{m.}$$

$$V_{sd} = 3,16 \text{ kN.}$$

$$\text{Flecha} = 1,205 \text{ mm.}$$

$$N_{csd} = 16,355 \text{ kN}$$

O momento fletor resistente de cálculo (M_{rd}) da coluna I é determinado de acordo ao Anexo G da NBR 8800:2008, relativo a Vigas não Esbeltas no que diz respeito à flambagem lateral. Quanto à resistência à compressão axial, N_{crd} é determinado de acordo ao item 5.3, relativo a Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão. As condições de aceitação para este caso são:

- a) $M_{sd} \leq M_{rd}$
- b) $V_{sd} \leq V_{rd}$
- c) $\text{Flecha} \leq \text{Flecha máxima}$
- d) $N_{csd} \leq N_{crd}$

As características geométricas do perfil I foram retiradas do catálogo do fabricante Gerdau, conforme figura abaixo.

Tabela 15 – Características geométricas perfil I.

Perfil I													
Bitola	Alma		Aba			Eixo X			Eixo Y				
Pol	d (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	Área (cm ²)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	r (cm)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	r (cm)	rt (cm)	J (cm ⁴)
4	101,6	4,9	67,6	7,44	14,5	252	49,7	4,17	31,7	9,4	1,48	1,68	108,4

Fonte: o autor.

3.6.3.1 Força axial de compressão na Coluna I

A determinação da força axial de compressão resistente de cálculo, N_{crd} , é feita conforme item 5.3.2 da NBR 8800:2008, onde:

$$N_{crd} = \frac{\chi * Q * A_g * f_y}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

χ - fator de redução associado à resistência de compressão.

Q – fator de redução total associado à flambagem local.

A_g – área bruta da seção transversal da barra.

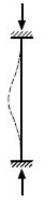
O perfil I tem menor raio de giração em torno do eixo Y, portanto a flambagem será calculada nesse sentido. Para a determinação da esbeltez do perfil, temos:

$$\lambda_y = \frac{k_y * L_y}{r_y}$$

Onde:

k_y – coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados, obtido da tabela E.1 da NBR 8800:2008.

Figura 28 – Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	 Rotação e translação impedidas  Rotação livre, translação impedida  Rotação impedida, translação livre  Rotação e translação livres					

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

Para a coluna I o valor recomendado é 0,65. A condição de aceitação de esbeltez é não superior a 200. Portanto:

$$\lambda_y = \frac{0,65 * 304}{1,48} = 133,5 < 200$$

O fator de redução χ é definido conforme abaixo.

$$\text{para } \lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$\text{para } \lambda_0 \geq 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

Onde:

λ_0 – índice de esbeltez reduzido.

O índice de esbeltez reduzido λ_0 é definido pela equação abaixo.

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q * Ag * fy}{Ne}}$$

Onde:

Ne – força axial de flambagem elástica.

A força de flambagem elástica é dada por:

$$Ne = \frac{\pi^2 * E * Iy}{(ky * Ly)^2} = \frac{\pi^2 * 20 * 10^3 * 31,7}{(0,65 * 304)^2} = 160,26 \text{ kN}$$

O fator de redução total associado à flambagem local Q é obtido através das diretrizes presentes no Anexo F da NBR 8800:2008, item F.1.2. Para os casos em que a relação largura e espessura (relação b/t) não superar o valor prescrito na Tabela F.1, o fator de redução Q equivale a 1,00.

Figura 29 – Relação b/t min para mesas de seção I.

4	<ul style="list-style-type: none"> — Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas 		$0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
---	--	--	----------------------------

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

Portanto:

$$\frac{b}{t} = \frac{bf}{tw} = \frac{67,6}{4,90} = 13,8$$

$$\frac{b}{t}min = 0,56 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,56 * \sqrt{\frac{200 * 10^3}{250}} = 15,84$$

Logo,

$$\frac{b}{t} \leq \frac{b}{t}min \rightarrow Q = 1,00$$

Para o índice de esbeltez λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1,00 * 14,5 * 25}{160,26}} = 1,504$$

Conforme condição definida para o fator de redução χ :

$$para \lambda_0 \geq 1,5: \chi = \frac{0,877}{1,504^2} = 0,3877$$

Assim temos:

$$N_{c_{rd}} = \frac{0,3877 * 1,00 * 14,5 * 25}{1,1} = 127,76 \text{ kN}$$

3.6.3.2 Momento fletor na Coluna I

A determinação do momento fletor na Coluna I segue as mesmas etapas da determinação do momento fletor apresentadas para a Viga U.

Para FLT:

$$\lambda = \frac{Lb}{ry} = \frac{304}{1,48} = 205,4$$

$$\lambda_p = 1,76 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76 * \sqrt{\frac{20 * 10^3}{25}} = 49,78$$

Como o resultado de $\lambda > \lambda_p$, deve-se avaliar o parâmetro λ_r , sendo:

$$\lambda_r = \frac{1,38 * \sqrt{Iy * J}}{ry * J * \beta_1} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * Cw * \beta_1^2}{Iy}}}$$

Visto que,

$$\beta_1 = \frac{(fy - 0,3 * fy) * W}{E * J} = \frac{(25 - 0,3 * 25) * 49,7}{20 * 10^3 * 108,36} = 4,01 * 10^{-4}$$

$$Cw = \frac{Iy * (d - tf)^2}{4} = \frac{31,7 * (10,16 - 0,744)^2}{4} = 702,64 \text{ cm}^6$$

Logo,

$$\lambda_r = \frac{1,38 * \sqrt{31,7 * 108,36}}{1,48 * 108,36 * 4,01 * 10^{-4}} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 * 702,64 * (4,01 * 10^{-4})^2}{31,7}}}$$

$$\lambda_r = 1778,34$$

Portanto,

$$\lambda_p < \lambda < \lambda_r \rightarrow \text{Flambagem inelástica}$$

Para o cálculo do momento fletor em flambagem inelástica utiliza-se a equação abaixo.

$$Mrd = \frac{Cb}{\gamma_{a1}} * \left[Mpl - (Mpl - Mr) * \frac{\lambda - \lambda p}{\lambda r - \lambda p} \right]$$

Onde:

$Cb = 1,00$ (condição mais crítica)

Visto que,

$$Mpl = 1,12 * Wx * fy$$

$$Mr = (fy - 0,3 * fy) * Wx$$

Temos:

$$Mpl = 1,12 * 49,7 * 25 = 1391,6 \text{ kN} * \text{cm}$$

$$Mr = (25 - 0,3 * 25) * 49,7 = 869,75 \text{ kN} * \text{cm}$$

Logo,

$$Mrd = \frac{1,00}{1,1} * \left[1391,6 - (1391,6 - 869,75) * \frac{205,4 - 49,78}{1778,34 - 49,78} \right] = 1222,4 \text{ kN} * \text{cm}$$

Para FLM:

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{bf}{tf} = \frac{67,2}{7,44} = 4,54$$

$$\lambda p = 0,38 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 * \sqrt{\frac{20 * 10^3}{25}} = 10,88$$

Do item G2.1, “alínea A” da NBR 8800:2008:

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda < \lambda_p$$

Portanto,

$$M_{rd} = \frac{1,12 * W_x * f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{1,12 * 49,7 * 25}{1,1} = 1265 \text{ kN} * \text{cm}$$

Para FLA:

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{(101,6 - 2 * 7,44)}{4,9} = 17,69$$

$$\lambda_p = 3,76 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 * \sqrt{\frac{20 * 10^3}{25}} = 106,35$$

Do item G2.1, “alínea A” da NBR 8800:2008:

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda < \lambda_p$$

Portanto,

$$M_{rd} = \frac{1,12 * W_x * f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{1,12 * 49,7 * 25}{1,1} = 1265 \text{ kN} * \text{cm}$$

Para a determinação de M_{rd} deve-se adotar o valor com maior fator de segurança, ou seja, o menor valor resistente de cálculo encontrado nos diferentes tipos de flambagem.

Portanto:

$$M_{rd} = 1222,4 \text{ kN} * \text{cm}$$

No item 5.5.1 da NBR 8800:2008 podemos observar a condição a ser atendida para barras submetidas a esforços combinados de força axial e momento fletor, como é o caso da coluna I.

Temos que:

$$\frac{Nsd}{2Nrd} < 0,2 \rightarrow \left(\frac{Nsd}{2Nrd} + \frac{Msd}{Mrd} \right) \leq 1,0$$

Portanto,

$$\frac{16,355}{2 * 127,76} = 0,06 \leq 0,2$$

Assim:

$$\left(\frac{16,355}{2 * 127,76} + \frac{210}{1222,4} \right) = 0,332 \leq 1,0$$

O resultado indica que o perfil I utilizado atende aos esforços de compressão e flambagem combinados com relativa folga.

3.6.3.3 Esforço cortante na Coluna I

A determinação do momento fletor na Coluna I segue as mesmas etapas da determinação do momento fletor apresentadas para a Viga U.

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{(101,6 - 2 * 7,44)}{4,90} = 17,7$$

Sendo,

$$\lambda_p = 1,1 * \sqrt{\frac{Kv * E}{fy}}$$

Para a determinação de K_v :

$$\frac{a}{h} = \frac{3040}{101,6} = 29,92$$

Como $a/h < 3$, $K_v = 5$.

$$\lambda_p = 1,1 * \sqrt{\frac{K_v * E}{f_y}} = 1,1 * \sqrt{\frac{5 * 20 * 10^3}{25}} = 69,57$$

Do item 5.4.3.1 da NBR 8800:2008:

$$V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}, \text{ para } \lambda < \lambda_p$$

Visto que:

$$V_{pl} = 0,6 * A_w * f_y$$

Portanto,

$$A_w = d * t_w$$

Substituindo os valores,

$$V_{pl} = 0,6 * 10,16 * 0,49 * 25 = 74,68 \text{ kN}$$

Assim,

$$V_{rd} = \frac{74,68}{1,1} = 67,9 \text{ kN}$$

Conforme já visto, a condição de aceitação é:

$$V_{sd} \leq V_{rd}$$
$$3,16 \text{ kN} \leq 67,9 \text{ kN}$$

A condição ideal de projeto em relação a custo-benefício é que a relação R_d/S_d fique entre 1,0 a 1,1. Para o esforço cortante na viga U temos:

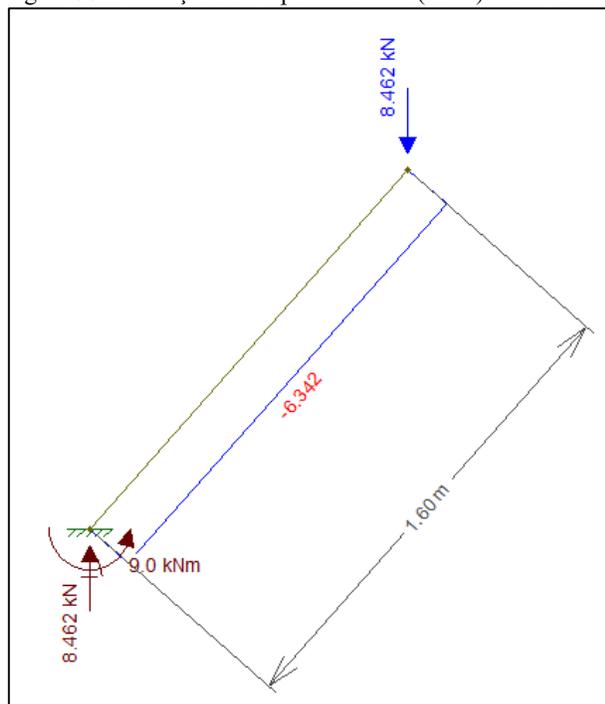
$$\eta = \frac{V_{rd}}{V_{sd}} = \frac{67,9}{3,16} = 21,5$$

Logo, o perfil I está superdimensionado com relação ao esforço cortante.

3.6.4 Dimensionamento de mão francesa

A NBR 8800:2008 não prevê as condições para determinação do momento fletor resistente de cálculo (M_{rd}) e esforço cortante (V_{rd}) para elementos compostos de uma cantoneira simples. Prevê apenas a determinação do esforço axial de compressão (N_{crd}). Através do software FTOOL foi determinado o esforço de compressão axial, conforme abaixo.

Figura 30 – Esforço de compressão axial (N_{csd}) na mão francesa.



Fonte: o autor.

Portanto,

$$N_{csd} = 6,34 \text{ kN}$$

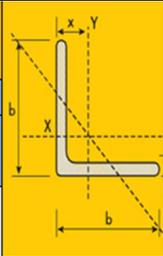
A resistência de cálculo à compressão axial, N_{crd} , é determinada de acordo ao item 5.3, relativo a Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão. As condições de aceitação para este caso são:

$$a) N_{csd} \leq N_{crd}$$

As características geométricas do perfil L foram retiradas do catálogo do fabricante Gerdau, conforme figura abaixo.

Tabela 16 – Características geométricas perfil L.

Perfil L									
b		t		Área	$I_x=I_y$	$W_x=W_y$	$r_x=r_y$	r_z min	x
Pol	mm	Pol	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
2	50,8	1/4	6,35	6,06	14,6	4,1	1,55	0,99	1,5



Fonte: Adaptado de catálogo Gerdau, 2013.

3.6.4.1 Força axial de compressão na mão francesa L

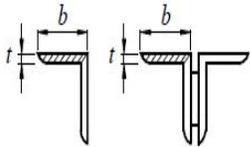
A determinação da força axial de compressão na mão francesa L segue as mesmas etapas da determinação da força axial de compressão apresentadas para a coluna I.

Para avaliação do índice de esbeltez, onde $k=2,1$:

$$\lambda = \frac{k * L}{r} = \frac{2,1 * 160}{1,55} = 216,77 > 200 \rightarrow \text{não atende}$$

Para a determinação do fator Q, deve-se retirar o parâmetro b/t min da tabela F.1 da NBR 8800:2008, conforme figura abaixo.

Figura 31 - Relação b/t min para mesas de seção L.

— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
--	--	-----------------------------

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

Portanto,

$$\frac{b}{t} \min = 0,45 * \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,45 * \sqrt{\frac{20 * 10^3}{25}} = 12,73$$

$$\frac{b}{t} = \frac{50,8}{6,35} = 8$$

Logo,

$$\frac{b}{t} \leq \frac{b}{t} \min \rightarrow Q = 1,00$$

A força de flambagem elástica é dada por:

$$Ne = \frac{\pi^2 * E * Iy}{(ky * Ly)^2} = \frac{\pi^2 * 20 * 10^3 * 14,6}{(2,1 * 160)^2} = 25,52 \text{ kN}$$

Para o índice de esbeltez λ_0 :

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1,00 * 6,06 * 25}{25,52}} = 2,44$$

Conforme condição definida para o fator de redução χ :

$$\text{para } \lambda_0 \geq 1,5: \chi = \frac{0,877}{1,504^2} = 0,3877$$

Assim temos:

$$Nc_{rd} = \frac{0,3877 * 1,00 * 14,5 * 25}{1,1} = 127,76 \text{ kN}$$

A força axial resistente de cálculo é dada por:

$$N_{c_{rd}} = \frac{\chi * Q * A_g * f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,147 * 1 * 6,06 * 25}{1,1} = 21,17 \text{ kN}$$

Conforme já visto, a condição de aceitação é:

$$N_{c_{sd}} \leq N_{c_{rd}}$$

$$6,34 \text{ kN} \leq 21,17 \text{ kN}$$

A condição ideal de projeto em relação a custo-benefício é que a relação Rd/Sd fique entre 1,0 a 1,1. Para o esforço axial de compressão na mão francesa L temos:

$$\eta = \frac{N_{c_{rd}}}{N_{c_{sd}}} = \frac{21,17}{6,34} = 3,3$$

Logo, o perfil L está superdimensionado com relação ao esforço axial de compressão.

3.6.5 Análise de esforços na plataforma através de FEM

Devido a geometria complexa da plataforma, faz-se necessário uma análise estrutural mais detalhada, onde os esforços sejam levados em consideração como um todo, para garantir que as condições críticas adotadas para o dimensionamento dos elementos conforme NBR 8800:2008 sejam adequadas. Para isso foi feita uma análise da estrutura através de FEM (*Finit Element Method* – ou Método dos Elementos Finitos), onde foram obtidos os esforços máximos de tensão de tração e compressão em cada elemento. A condição de aceitação é definida abaixo:

$$\psi * \tau \leq \frac{f_y}{\gamma_{a1}}$$

Onde:

Ψ – Fator de majoração de esforços, conforme NBR 8800:2008.

τ – Tensão máxima em cada elemento, conforme análise FEM.

Para a análise através de FEM foi utilizado o software chamado Ansys. O modelo foi gerado no software Solidworks. As considerações iniciais para a análise FEM foram:

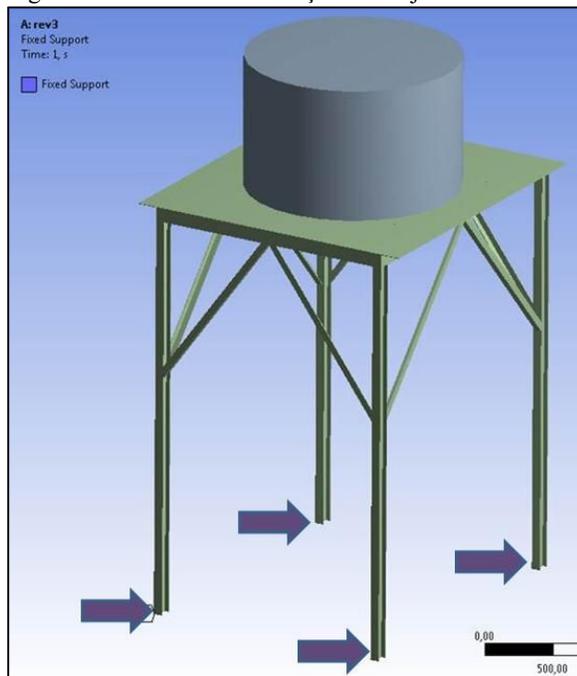
- a) Tamanho dos elementos igual a 10,0 mm.
- b) Tolerância de elementos igual a 1,0 mm.
- c) Tempo de aplicação da carga igual a 1 s.

O fator de majoração de esforços adotado conforme NBR 8800:2008 é de 1,25 (carga permanente em estruturas metálicas).

3.6.5.1 Obtenção dos esforços na plataforma através de FEM

Foi criado o modelo 3D da plataforma com a caixa d'água e indicados os pontos de fixação do conjunto.

Figura 32 – Modelo 3D e fixação do conjunto.



Fonte: o autor.

A plataforma foi fixada na base das quatro colunas, conforme indicado acima. Na estrutura física as colunas estão apoiadas em sapatas, mas no modelo elas foram suprimidas para agilizar a resposta da análise, evitando cálculos em excesso pelo software. Embora tenham sido suprimidas, a presença ou ausência das sapatas não alteram os resultados obtidos pela análise.

Para a análise de elementos finitos é necessária a criação de uma malha, conforme figura a seguir. O nível de exatidão dos resultados depende diretamente do tamanho dos elementos da malha, que é escolhido em função das dimensões do objeto a ser utilizado. Foi criada a malha com os elementos de 10,0 mm, necessária para a simulação dos esforços.

Figura 33 – Malha de elementos finitos.



Fonte: o autor.

Foi aplicada a carga na área ocupada pela caixa d'água, referente ao peso do volume de água da mesma quando totalmente cheia, conforme figura abaixo.

Figura 34 – Carga aplicada na plataforma.



Fonte: o autor.

Com a análise pelo FEM foram obtidos os valores máximos de tensão de tração nos elementos, tensão de compressão e deformação total, conforme mostrado a seguir.

Figura 35 – Tensão máxima de compressão na plataforma.



Fonte: o autor.

Figura 36 – Tensão máxima de tração na plataforma.



Fonte: o autor.

Figura 37 – Deformação total da plataforma.



Fonte: o autor.

Com os esforços obtidos pela análise FEM chegamos aos valores máximos de tensão em cada elemento, conforme abaixo:

- a) Perfil I: 39,3 Mpa
- b) Perfil U: 96,3 Mpa
- c) Perfil L: 27,2 Mpa

3.6.5.2 Análise dos resultados obtidos por FEM

De acordo a condição de aceitação definida, temos:

Para perfil I:

$$1,25 * 39,3 \leq \frac{250}{1,1}$$

$$49,125 \leq 227,3 \rightarrow \text{perfil atende}$$

Para perfil U:

$$1,25 * 96,3 \leq \frac{250}{1,1}$$

$$120,375 \leq 227,3 \rightarrow \text{perfil atende}$$

Para perfil L:

$$1,25 * 27,2 \leq \frac{250}{1,1}$$

$$34 \leq 227,3 \rightarrow \text{perfil atende}$$

Como observado, todos os perfis atendem aos esforços solicitados e estão superdimensionados. A determinação de flecha máxima para as vigas U também não foi ultrapassada, visto que a norma NBR 8800:2008, conforme abaixo.

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{2200}{250} = 8,8 \text{ mm}$$

$$\delta = 4,734 \text{ mm} \leq 8,8 \text{ mm}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguem abaixo as fotos do sistema implementado e resultados obtidos.

Figura 38 – Tanque de captação de água e bomba centrífuga.



Fonte: o autor.

Figura 39 – Caixa d' água da Estanqueidade e plataforma de elevação.



Fonte: o autor.

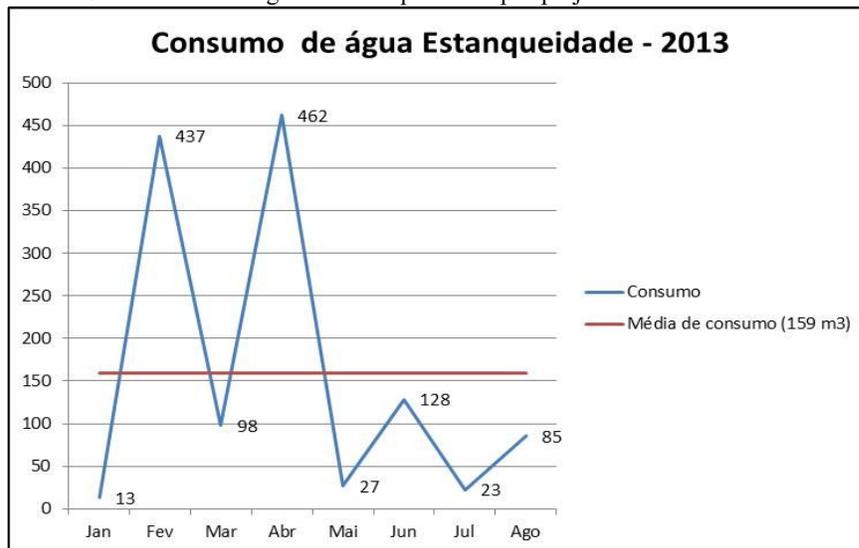
O consumo de água da Estanqueidade após a implementação do projeto foi reduzido para os seguintes patamares, conforme abaixo:

Tabela 17 – Consumo relativo da estanqueidade após projeto.

Mês (2013)	Consumo total da planta (m ³)	Consumo Total Estanqueidade	Consumo relativo (%)
Janeiro	12546	13	0,10%
Fevereiro	14654	437	2,98%
Março	15405	98	0,64%
Abril	15985	462	2,89%
Maio	16580	27	0,16%
Junho	17985	128	0,71%
Julho	17823	23	0,13%
Agosto	16739	85	0,51%
Total	127717	1273	1,00%

Fonte: o autor.

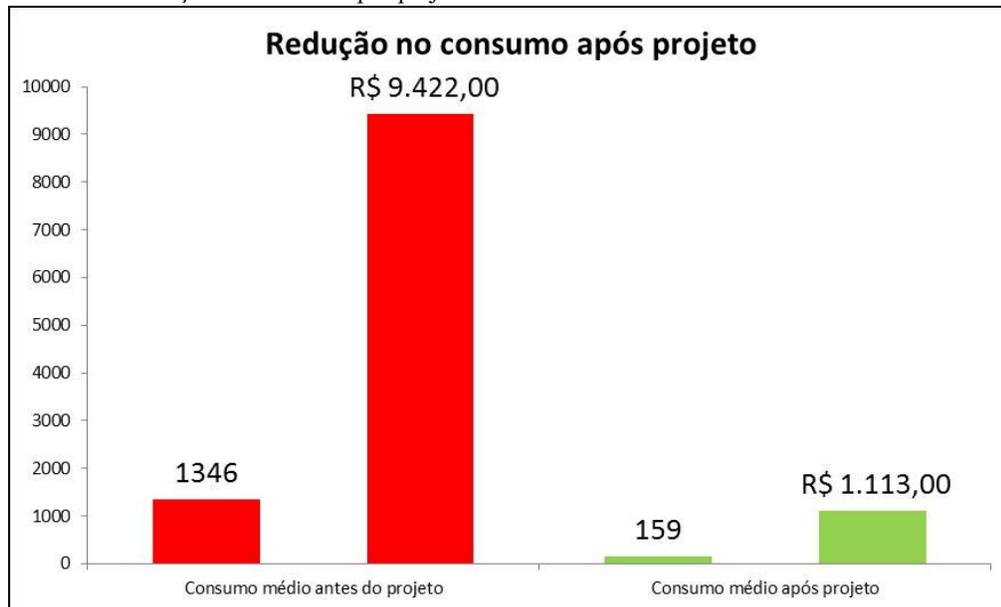
Gráfico 6 – Consumo de água na Estanqueidade após projeto.



Fonte: o autor.

O consumo médio foi reduzido em 88%, o que resultou em uma economia de R\$8309,00 por mês, conforme figura abaixo:

Gráfico 7 – Redução no consumo após projeto



Fonte: o autor.

Com a redução de 88% no consumo de água na estanqueidade o tempo de retorno do investimento (payback) foi reduzido, conforme figura abaixo.

Tabela 18 – Payback atualizado.

Payback do projeto				
Custo		Retorno financeiro		Payback
Item	R\$	Item	R\$	Meses
Mão de obra	R\$ 6.050,00	1187 m3/mês	R\$ 8.309,00	1,4
Materiais	R\$ 5.920,00			
Total	R\$ 11.970,00			

Fonte: o autor.

Conforme evidenciado, os resultados obtidos com a implementação do projeto foram além do esperado, contribuindo para a redução do consumo de água e redução dos custos de processo. Os resultados tendem a serem ainda melhores, visto que o sistema possui capacidade suficiente para reduzir o consumo da estanqueidade a níveis muito próximos de zero, a depender do funcionamento da linha de pintura.

5 CONCLUSÃO

A busca por práticas sustentáveis tem sido uma preocupação cada vez maior por parte das indústrias de qualquer segmento. Embora os desafios sejam consideráveis, o retorno alcançado é sempre recompensador: menores custos de produção, marketing verde, preservação do meio ambiente, reconhecimento da comunidade e órgãos competentes e possibilidade de maiores investimentos. Além disso, algumas empresas incentivam seus colaboradores a apresentarem soluções para redução do consumo e desperdício e premiam aqueles que apresentam propostas viáveis e realizáveis, o que contribui para a motivação dos funcionários e melhor saúde ocupacional.

O uso consciente da água é fator preponderante para a possibilidade de futuro das próximas gerações e as empresas, que também atuam como formadoras de opinião na sociedade, possuem um papel fundamental neste processo, visto que são uma das maiores classes consumidoras do recurso natural.

Este projeto evidencia que o papel do engenheiro dentro de uma empresa, além de se responsabilizar pela parte técnica, deve estar alinhado com a parte humana, social e ecológica. Não é mais concebível a existência de processos com grandes desperdícios, grandes quantidades de resíduos ou impactos ambientais. As empresas que ainda possuem essa mentalidade estão fadadas a altos custos e provável insucesso.

O engenheiro, como ser pensante e atuante direto na organização, deve fazer mais do que simplesmente projetar. Ele deve ser um buscador ativo de melhorias, reduções e eliminação de desperdícios, sem que isso afete a qualidade dos produtos envolvidos. Nunca a busca por menores custos foi tão atual como nos dias em que vivemos. E para isso é imprescindível que ele olhe com cuidado para seu consumo de recursos naturais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Relatório de conjuntura dos recursos hídricos do Brasil – informe 2009**. Disponível em:

<http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/abr_nacional.htm>. Acesso em: 11/04/2013.

TIGRE. **Água fria – registros**. 2013. (Catálogo técnico). Disponível em:

<http://www.tigre.com.br/_upload/catalogo_tecnico/20110411163605.pdf>. Acesso em: 05/09/2013.

AUTO 1688. 2013. Disponível em: <<http://www.auto1688.com/ebasic/59454/product-151405.html>>. Acesso em: 11/04/2013.

BADER, Pascal. **Sustentabilidade – do modelo à implementação**. Goethe Institut, 2008.

Disponível em: <<http://www.goethe.de/ges/umw/dos/nac/den/pt3106180.htm>>. Acesso em: 11/04/2013.

BARBOSA, Gisele Silva. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Revista Visões, v.1, n.4, 2008.

EXAMINER. Disponível em: <<http://www.examiner.com/article/porsche-hybrid-of-1890-the-first-alternative-transportation-vehicle>>. Acesso em: 03/09/2013.

GERDAU. **Catálogo de produtos, 2013**. Disponível em:

<http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/download.asp>. Acesso em: 10/09/2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. **Portaria nº 445/2010**. Rio de Janeiro, INMETRO 2010.

IMT. **Máquina para teste de resistência mod. Pt-20**. 2011. (Manual de instruções).

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. **Recursos Hídricos no Brasil e no Mundo**.

Documentos 33 da Embrapa. Planaltina, DF, 2001.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para**

consumo não potável em edificações. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

MILENA, Antônio. **Revista Atualidades Vestibular, 2008**. Disponível em:

<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/desenvolvimento/conteudo_261013.shtml?func=2>. Acesso em: 20/08/2013.

MUNSON, R. Bruce; YOUNG, F. Donald; OKIISH, Theodore H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Editora Blucher, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:1988**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

NBR 8800:2008. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2008.

OWLS HEAD TRANSPORTATION MUSEUM. Disponível em:
<http://www.ohtm.org/edu_col.html>. Acesso em: 03/09/2013.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Determinação da Turbidez, 2008**. Disponível em:
<http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=391>. Acesso em: 11/04/2013.

PREDIAL ÁGUA FRIA. **Catálogo técnico Tigre, 2013**. Disponível em:
<http://www.tigre.com.br/_upload/catalogo_tecnico/20110411162601.pdf>. Acesso em: 05/09/2013.

SILVA, Diogo. **Relatório retrata a situação da água no Brasil**, Instituto Ressoar, Sessão de Dicas do Meio Ambiente. Disponível em:
<http://www.ressoar.org.br/dicas_meio_ambiente_relatorio_situacao_da_agua_no_brasil.asp>. Acesso em: 11/04/2013.

SOUZA, Ricson Rocha de. **Ensaaios não destrutivos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Grupo de Mecânica Aplicada, 2010.

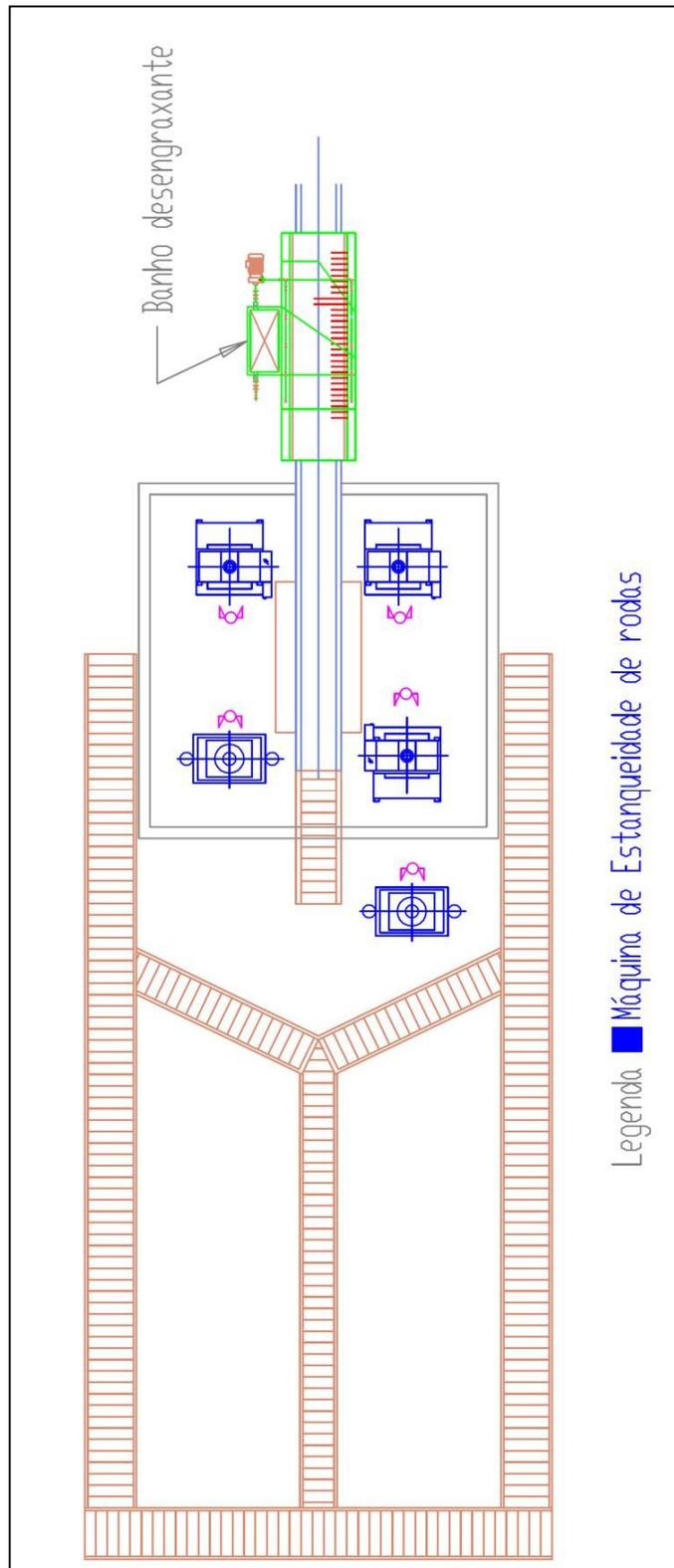
SPRINGER, Hugo. **Antena Temática nº2, A problemática do uso da água e impactos na formação profissional**. Editora GETEP, 2002.

TETRALON. Disponível em: <<http://www.tetralon.com.br/hidrosta1.htm>>. Acesso em: 17/06/2013.

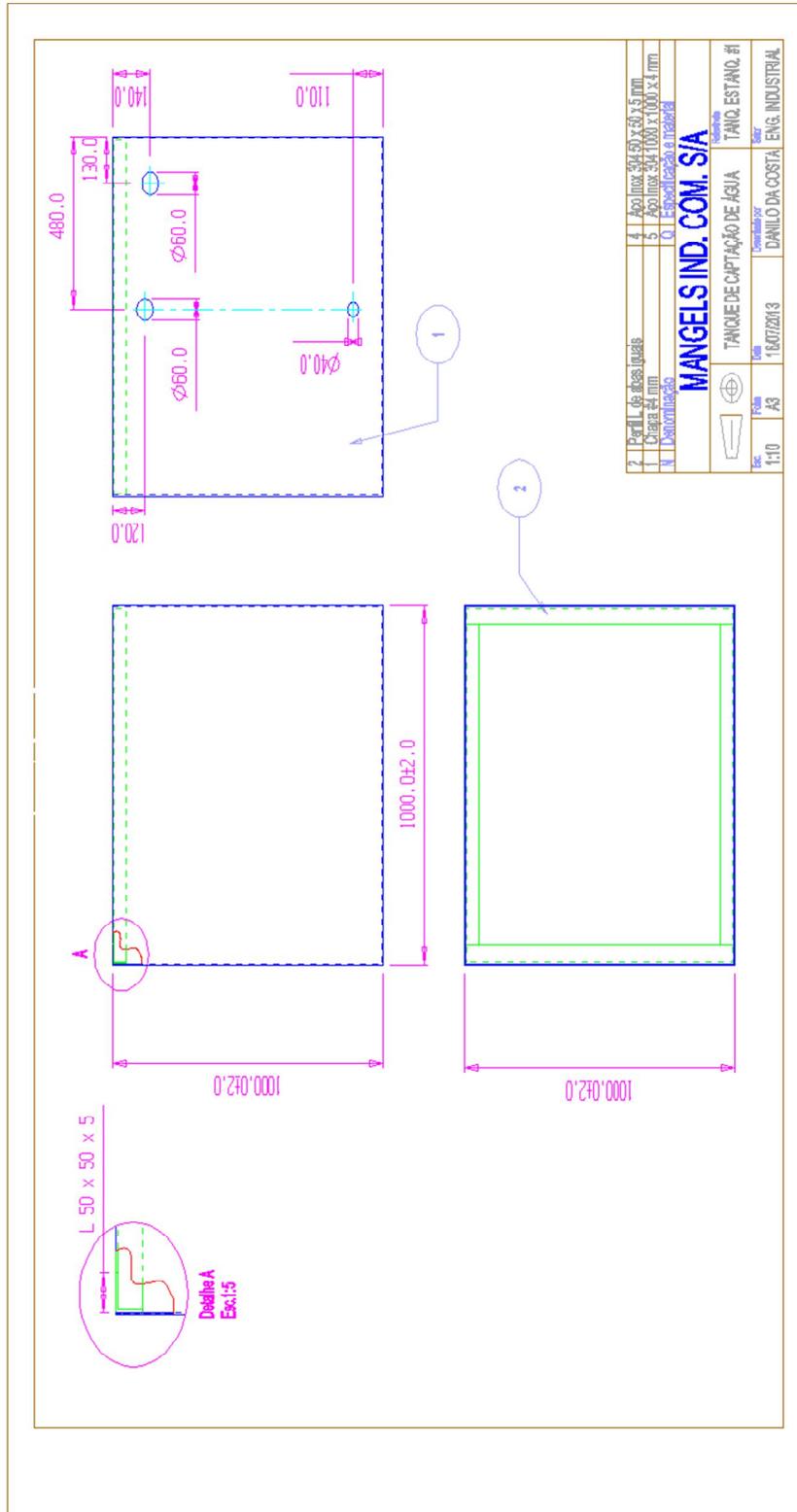
TUDOR, Raiciu. **History of the Wheel, 2009**. Autoevolution. Disponível em:
<<http://www.autoevolution.com/news/history-of-the-wheel-7334.html>>. Acesso em: 03/09/2013.

ZAPCARROS. Disponível em: <<http://www.zap.com.br/revista/carros/tag/benz-patent-motorwagen/>>. Acesso em: 16/09/2013.

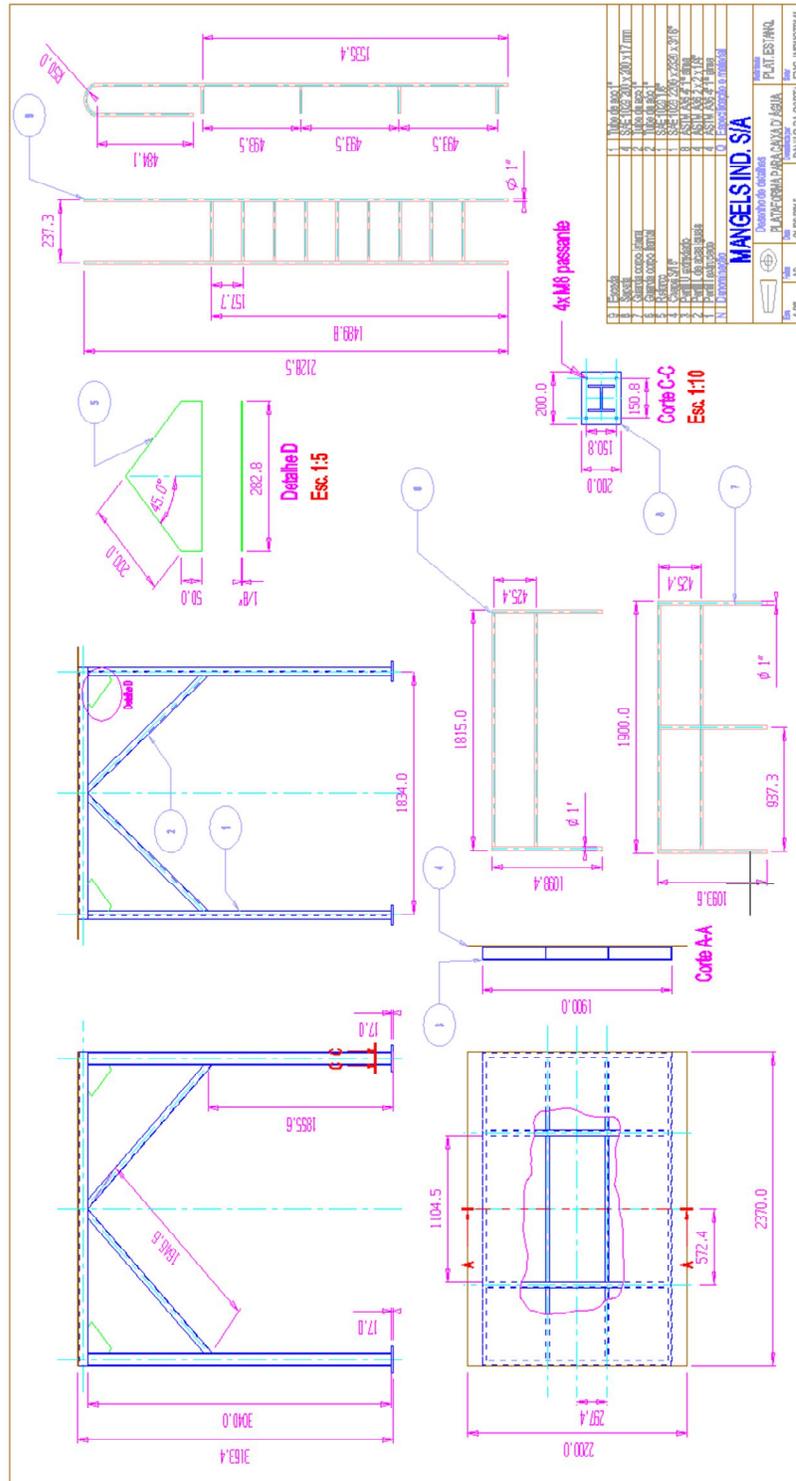
APÊNDICE A – Layout da Estanqueidade



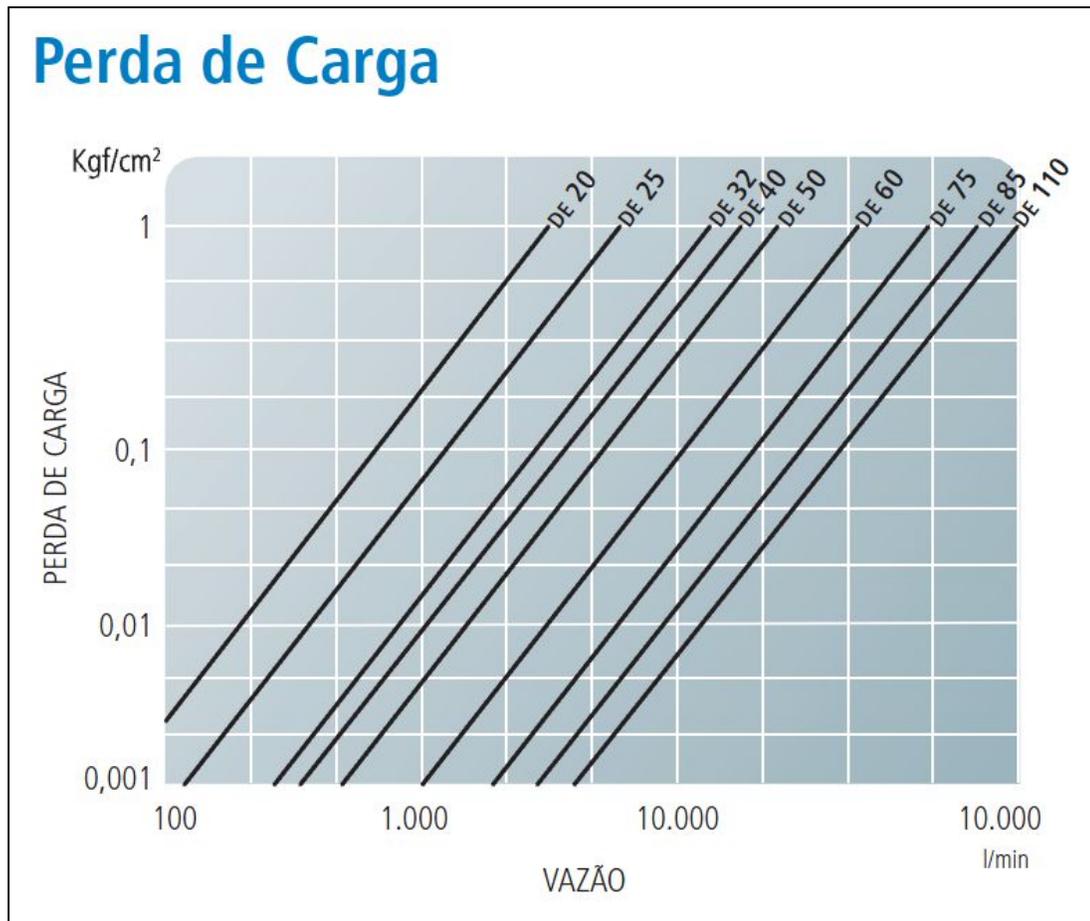
APÊNDICE C – Tanque de Captação de água



APÊNDICE E – Projeto da Plataforma

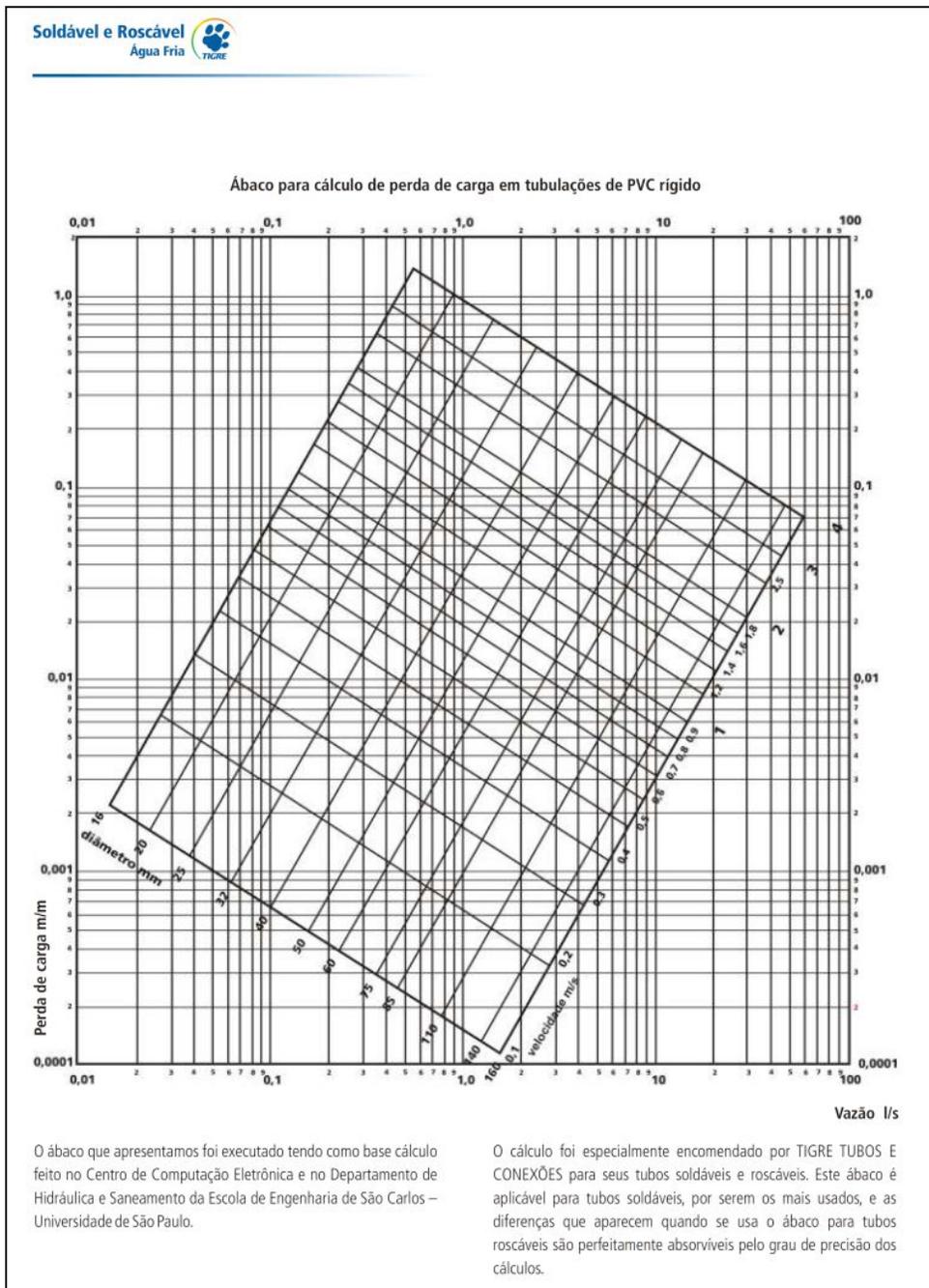


ANEXO A – Perda de carga em válvulas VS duas portas



Fonte: Catálogo Água fria – Registros, 2013.

ANEXO B – Ábaco para cálculo de perda de carga em tubulações de PVC rígido



Fonte: Catálogo Predial Água Fria, 2013.