

MARCELO MADSEN BARBOSA

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA
CARREGAMENTO RODOVIÁRIO
TOP LOAD DE COMBUSTÍVEIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: José Manoel Fernandes, PhD

Curitiba 2011

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Cid e Cida

Aos meus filhos Hyago, Hynara, Isabelle, Gabrielle

Ao grande amigo Fernando Wagner de Abreu Duarte (*in memoriam*)

AGRADECIMENTO

A Deus, pela benção e proteção.

EPIGRAFE

“O homem mais rico do mundo, é aquele que tem menos necessidades e o homem mais sábio do mundo, é aquele que cumpre com o seu dever.”

Francisco Cândido Xavier

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de perturbações causadas por elementos de processo, que podem, ou não, quando corrigidas, viabilizar a utilização de transmissor de vazão ultrassônico para transferência de custódia de hidrocarbonetos combustíveis comuns e álcool combustível comum em sistemas de carregamento. Avaliar essa viabilidade é importante, pois, a característica de ausência de elementos mecânicos dentro do elemento primário de vazão e também a sua permissividade de carregamento em velocidades de 150m³/h em tubulação de 3", propicia uma confiabilidade maior ao processo e um aumento de desempenho no carregamento, que pode ser observado do ponto de vista econômico no que se refere, a baixo custo de manutenção, calibração, ganho de desempenho e maior controle do volume carregado.

Palavras Chave: Transferência de custódia, Transmissor de vazão ultrassônico, sistema de carregamento de combustíveis.

ABSTRACT

This paper presents a study of disturbances caused by process elements, which may or may not, when corrected, enable the use of ultrasonic flow transmitter for custody transfer of common hydrocarbon fuels and common alcohol fuel in loading systems. Assess the viability is important, because the characteristic of the absence of mechanical components inside the primary flow element, and also their permissiveness load at speeds of 150m³/h in 3" pipe, provides greater reliability to the process and a performance increase in loading, that can be observed from the economic point of view in regard to low maintenance costs, calibration, performance and gain greater control of the volume loaded.

Keywords: Transfer of custody, ultrasonic flow transmitter, fuel loading system

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema mecânico do sistema Alfa utilizado com Gasolina	11
Figura 2 - Esquema mecânico do sistema Alfa utilizado com Diesel S1800.....	12
Figura 3 - Esquema mecânico do sistema Alfa utilizado com Álcool Hidratado	12
Figura 4 - Esquema mecânico do sistema Alfa utilizado com Álcool Anidro	12
Figura 5 - Desenho comparando a sessão antes e depois do vetor "A" mostrando a teoria da equação de continuidade.....	16
Figura 6 - Fluxo Laminar na tubulação	18
Figura 7 - Fluxo Turbulento na tubulação	18
Figura 8 - Parábola do fluído na tubulação em função da velocidade.....	19
Figura 9 - Parábola do fluído na tubulação em função da rugosidade do tubo.....	19
Figura 10 - Fluxo na zona de transição entre fluxo laminar e fluxo turbulento.....	20
Figura 11 - Número de Reynolds em função da característica construtiva da tubulação	21
Figura 12 - Corretor de fluxo tipo Pitot	22
Figura 13 - Corretor de fluxo tipo Nozzle	23
Figura 14 - Corretor de fluxo tipo Orifício Concêntrico.....	23
Figura 15 - Corretor de fluxo do tipo Orifício Excêntrico	24
Figura 16 - Transmissor de vazão do tipo Pitot por diferencial de pressão.....	24
Figura 17 - Esquema de um tubo de Pitot.....	25
Figura 18 - Transmissor de vazão Coriolis	25
Figura 19 - Transmissor de vazão ultra-sônico.....	26
Figura 20 - Transmissor de vazão de Deslocamento Positivo	26
Figura 21 - Transmissores de vazão de canal aberto	27
Figura 22 - Válvula solnóide em posição estanque	48
Figura 23 - Válvula solenóide com o primeiro estágio atuado.....	49
Figura 24 - Válvula solenóide com o segundo estágio atuado.....	50
Figura 25 - Esquema mecânico do sistema Beta utilizado com Gasolina "A"	54
Figura 26 - Esquema mecânico do sistema Beta utilizado com Diesel S1800.....	54
Figura 27 - Esquema mecânico do sistema Beta utilizado com Álcool Hidratado	55
Figura 28 - Esquema mecânico do sistema Beta utilizado com Álcool Anidro	55
Figura 29 - Sistema de carregamento Gama - Gasolina A - 250m ³ /h.....	92
Figura 30 - Sistema de carregamento Gama - Diesel S1800 - 180m ³ /h.....	92
Figura 31 - Sistema de carregamento Gama - Álcool Hidratado - 120m ³ /h	93
Figura 32 - Sistema de carregamento Gama - Álcool Anidro - 90m ³ /h.....	93
Figura 33 - Apêndice A - Plataforma de exploração de petróleo	117
Figura 34 - Apêndice A - Refinaria de petróleo	118
Figura 35 - Apêndice A - Base primária de carregamento	118
Figura 36 - Apêndice A - Plantação de cana	119
Figura 37 - Apêndice A - Usina de Álcool	119
Figura 38 - Apêndice A - Transporte rodoviário.....	120
Figura 39 - Apêndice A - Plataforma de carregamento de uma base primária.....	121
Figura 40 - Apêndice A - Plataforma de carregamento <i>top load</i>	122
Figura 41 - Apêndice A - Plataforma de carregamento <i>botton load</i>	123

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Fluxograma da metodologia aplicada	7
Fluxograma 2 - Lógica do Sistema de Carregamento Alfa.....	11
Fluxograma 3 - Lógica do Sistema de Carregamento Beta com a primeira evolução aplicada ..	76
Fluxograma 4 - Lógica do Sistema de Carregamento SCG	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequência em função da velocidade da bomba	34
Tabela 2 - Experimento 1 - Gasolina A - 250m ³ /h	36
Tabela 3 - Experimento 1 - Diesel S1800 - 180m ³ /h	39
Tabela 4 - Experimento 1 - Álcool Hidratado - 120m ³ /h	42
Tabela 5 - Experimento 1 - Álcool Anidro - 90m ³ /h	45
Tabela 6 - Experimento 2 - Gasolina A - 250m ³ /h	58
Tabela 7 - Experimento 2 - Diesel S1800 - 180m ³ /h	61
Tabela 8 - Experimento 2 - Álcool Hidratado - 120m ³ /h	64
Tabela 9 - Experimento 2 - Álcool Anidro - 90m ³ /h	67
Tabela 10 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre os experimentos 1 e 2 na gasolina "A" utilizando a distribuição t-student unicaudal	70
Tabela 11 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 1 e 2 no Diesel S1800 utilizando a distribuição t-student unicaudal	71
Tabela 12 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 1 e 2 no Alcool Hidratado utilizando a distribuição t-student unicaudal	72
Tabela 13 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 1 e 2 no Alcool Anidro utilizando a distribuição t-student unicaudal	73
Tabela 14 - Experimento 3 - Gasolina A - 250m ³ /h	78
Tabela 15 - Experimento 3 - Diesel S1800 - 180m ³ /h	81
Tabela 16 - Experimento 3 - Álcool Hidratado	84
Tabela 17 - Experimento 3 - Álcool Anidro - 90m ³ /h	87
Tabela 18 - Experimento 4 - Gasolina A – 250m ³ /h	95
Tabela 19 - Experimento 4 - Diesel S1800 - 180m ³ /h	98
Tabela 20 - Experimento 4 - Álcool Hidratado - 120m ³ /h	101
Tabela 21 - Experimento 4 - Álcool Anidro - 90m ³ /h	104
Tabela 22 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 3 e 4 na Gasolina "A" utilizando a distribuição t-student unicaudal	108
Tabela 23 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 3 e 4 no Diesel S1800 utilizando a distribuição t-student unicaudal	109
Tabela 24 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 3 e 4 no Álcool Hidratado utilizando a distribuição t-student unicaudal	110
Tabela 25 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 3 e 4 no Álcool Anidro utilizando a distribuição t-student unicaudal	111
Tabela 26 - Unidades de conversão de pressão	139

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Erro do Transmissor de Vazão Ultra-sônico	30
Gráfico 2 - Experimento 1 - Gasolina A - Pulsos em função da vazão média.....	37
Gráfico 3 - Experimento 1 - Gasolina A - Pulsos em função da temperatura do produto	37
Gráfico 4 - Experimento 1 - Gasolina A - Pulsos em função da frequência.....	38
Gráfico 5 - Experimento 1 - Diesel S1800 - Pulsos em função da vazão média	40
Gráfico 6 - Experimento 1 - Diesel S1800 - Pulsos em função da temperatura do produto.....	40
Gráfico 7 - Experimento 1 - Diesel S1800 - Pulsos em função da frequência	41
Gráfico 8 - Experimento 1 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da vazão média.....	43
Gráfico 9 - Experimento 1 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da temperatura do produto	43
Gráfico 10 - Experimento 1 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da frequência.....	44
Gráfico 11- Experimento 1 - Álcool Anidro - Pulsos em função da vazão média	46
Gráfico 12 - Experimento 1 - Álcool Anidro - Pulsos em função da temperatura do produto....	46
Gráfico 13 - Experimento 1 - Álcool Anidro - Pulsos em função da frequência	47
Gráfico 14 - Experimento 2 - Gasolina A - Pulsos em função da vazão média.....	59
Gráfico 15 - Experimento 2 - Gasolina A - Pulsos em função da temperatura do produto	59
Gráfico 16 - Experimento 2 - Gasolina A - Pulsos em função da frequência.....	60
Gráfico 17 - Experimento 2 - Diesel S1800 - Pulsos em função da vazão média	62
Gráfico 18 - Experimento 2 - Diesel S1800 - Pulsos em função da temperatura do produto.....	62
Gráfico 19 - Experimento 2 - Diesel S1800 - Pulsos em função da frequência	63
Gráfico 20 - Experimento 2 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da vazão média.....	65
Gráfico 21 - - Experimento 2 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da temperatura do produto	65
Gráfico 22 - Experimento 2 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da frequência.....	66
Gráfico 23 - Experimento 2 - Álcool Anidro - Pulsos em função da vazão média	68
Gráfico 24 - Experimento 2 - Álcool Anidro - Pulsos em função da temperatura média do produto	68
Gráfico 25 - Experimento 2 - Álcool Anidro - Pulsos em função da frequência	69
Gráfico 26 - Experimento 3 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o carregamento.....	79
Gráfico 27 - Experimento 3 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o shut-up .	79
Gráfico 28 - Experimento 3 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o shut-down	80
Gráfico 29 - Experimento 3 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o carregamento.....	82
Gráfico 30 - Experimento 3 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o shut-up	82
Gráfico 31 - Experimento 3 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média duranet o shut- down.....	83
Gráfico 32 - Experimento 3 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o carregamento.....	85

Gráfico 33 - Experimento 3 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o shut-up	85
Gráfico 34 - Experimento 3 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o shut-down.....	86
Gráfico 35 - Experimento 3 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o carregamento.....	88
Gráfico 36 - Experimento 3 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o shut-up	88
Gráfico 37 - Experimento 3 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o shut-down.....	89
Gráfico 38 - Experimento 4 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o carregamento.....	96
Gráfico 39 - Experimento 4 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o shut-up .	96
Gráfico 40 - Experimento 4 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o shut-down	97
Gráfico 41 - Experimento 4 - Gasolina A - Erro em função do escorregamento da válvula.....	97
Gráfico 42 - Experimento 4 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o carregamento.....	99
Gráfico 43 - Experimento 4 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o shut-up	99
Gráfico 44 - Experimento 4 - Erro em função da vazão média durante o shut-down	100
Gráfico 45 - Experimento 4 - Diesel S1800 - Erro em função do escorregamento da válvula ..	100
Gráfico 46 - Experimento 4 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o carregamento.....	102
Gráfico 47 – Experimento 4 – Álcool Hidratado – Erro em função da vazão média durante o shut-up	102
Gráfico 48 - Experimento 4 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o shut-down.....	103
Gráfico 49 - Experimento 4 - Álcool Hidratado - Erro em função do escorregamento da válvula	103
Gráfico 50 - Experimento 4 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o carregamento.....	105
Gráfico 51 - Experimento 4 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o shut-up	105
Gráfico 52 - Experimento 4 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o shut-down.....	106
Gráfico 53 - Experimento 4 - Álcool Anidro - Erro em função do escorregamento da válvula .	106
Gráfico 54 –Quantidade de óleo Diesel consumido no Brasil em 2008.....	131
Gráfico 55 - Quantidade de Gasolina C consumida no Brasil em 2008.....	132

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - equação geral da vazão	14
Equação 2 - Equação da continuidade	16
Equação 3 – Cálculo do percentual da vazão instântanea	28
Equação 4 - Cálculo do percentual da vazão total	28
Equação 5 - Cálculo do percentual da máxima pressão diferencial.....	28
Equação 6 - Cálculo do percentual da vazão instantânea aplicado ao exemplo	29
Equação 7 - Cálculo do percentual da vazão total aplicada ao exemplo	30
Equação 8 - Cálculo da velocidade da vazão em área média do transmissor de vazão ultra-sônico	56
Equação 9 - Cálculo de erro do volume carregado	77
Equação 10 - Cálculo de conversão da pressão	138
Equação 11 - Cálculo da Densidade	142

SUMÁRIO

Capítulo I - Introdução	1
Capítulo II – Distribuição de combustíveis e Transferência de custódia.....	3
Capítulo III – Objetivos do Trabalho.....	4
3.1 Objetivo Geral	4
3.2 Objetivos Específicos.....	4
3.3 Justificativa	4
Capítulo IV - Metodologia	6
Capítulo V - Estado da arte.....	8
Capítulo VI - Sistema automatizado de carregamento utilizado nos experimentos.....	10
6.1 Sistema de Carregamento Alfa (SCA):	10
Capítulo VII – Características físico químicas	13
Capítulo VIII - Conceitos de vazão	14
8.1 A equação da continuidade.....	16
8.2 Teorema de Bernoulli.....	17
8.3 Número de Reynolds.....	18
8.4 Controlando a característica do fluxo na tubulação	21
Capítulo IX - Qualidade na medição	28
Capítulo X - Experimentos	31
10.1 Experimento 1 – Análise do sistema existente.	31
10.1.1 Experimento utilizando carregamento de Gasolina A – 250m ³ /h	36
10.1.2 Experimento utilizando carregamento de Diesel S1800 – 180m ³ /h	39
10.1.3 Experimento utilizando carregamento de Alcool Hidratado – 120m ³ /h	42
10.1.4 Experimento utilizando carregamento de Alcool Anidro – 90m ³ /h.....	45
10.1.5 Conclusão do Experimento 1	52
10.2 Experimento 2 – Busca por pulsos ou vazão instantânea linear.....	54
10.2.1 Experimento utilizando carregamento de Gasolina A – 250m ³ /h	58
10.2.2 Experimento utilizando carregamento de Diesel S1800 – 180m ³ /h.....	61
10.2.3 Experimento utilizando carregamento de Alcool Hidratado – 120m ³ /h	64
10.2.4 Experimento utilizando carregamento de Alcool Anidro – 90m ³ /h.....	67
10.2.5 Conclusão do Experimento 2	74
10.3 Experimento 3 – Identificando falhas no processo.....	75

10.3.1 Experimento utilizando carregamento de Gasolina A – 250m ³ /h	78
10.3.2 Experimento utilizando carregamento de Diesel S1800 – 180m ³ /h	81
10.3.3 Experimento utilizando carregamento de Alcool Hidratado – 120m ³ /h	84
10.3.4 Experimento utilizando carregamento de Alcool Anidro – 90m ³ /h.....	87
10.3.5 Conclusão do Experimento 3	90
10.4 Experimento 4– Válvula de controle de abertura proporcional, válvula de retenção silenciosa e escorregamento da válvula de controle	91
10.4.1 Experimento utilizando carregamento de Gasolina A – 250m ³ /h	95
10.4.2 Experimento utilizando carregamento de Diesel S1800 – 180m ³ /h	98
10.4.3 Experimento utilizando carregamento de Alcool Hidratado – 120m ³ /h	101
10.4.4 Experimento utilizando carregamento de Alcool Anidro – 90m ³ /h.....	104
11.4.5 Conclusão do Experimento 4	107
Capítulo XII - Conclusão.....	112
REFERÊNCIAS Bibliográficas	115
APÊNDICE A – Distribuição de combustíveis.....	117
2.1 Seqüência dos derivados.....	117
2.2 Sequencia dos Biocombustíveis	119
2.3 Carregamento Top Load.....	121
2.4 Carregamento Botton Load.....	122
Apêndice b - Transferência de custódia	124
3.1 Precisão normativa.....	128
apêndice – Impacto Financeiro	131
apêndice d - Conceitos	134
1 Sensoriamento	134
2 Aquisição e tratamento das informações de campo	134
3 Características físico-químicas dos fluidos do fluidos utilizados nos experimentos.....	135
3.1 Condutividade Eletrica	136
3.2 Condutividade Sonica.....	136
3.3 Pressão	137
3.4 Temperatura.....	139
3.5 Gravidade Específica	142
3.6 Densidade.....	142
3.7 Viscosidade.....	143

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Observando as características da vida moderna atual, não é necessário uma pesquisa aprofundada ou especializada, para tornar possível fazer uma afirmação lógica de que o principal meio de exploração de energia no mundo, levando em consideração a sua demanda de consumo, investimento tecnológico no que se refere a pesquisa e desenvolvimento, e recurso investido na infra-estrutura da exploração do mesmo, é a exploração de petróleo.

O petróleo é considerado uma fonte de energia não renovável, de origem fóssil e é matéria prima da indústria petrolífera e petroquímica. O petróleo bruto possui em sua composição uma cadeia de hidrocarbonetos, cujas frações leves formam os gases, e as frações pesadas o óleo cru. A distribuição destes percentuais de hidrocarbonetos é que define os diversos tipos de petróleo existentes no mundo.

É difícil determinar alguma coisa que não dependa direta ou indiretamente do petróleo. Os solventes, óleos combustíveis, gasolina, óleo diesel, querosene, gasolina de aviação, lubrificantes, asfalto, plástico entre outros são os principais produtos obtidos a partir do petróleo.

Apesar do petróleo ser, a fonte de energia mais explorada no mundo, as tendências ambientalistas que promovem uma preocupação constante com relação ao fato do petróleo ser uma fonte de energia não renovável e também com a sua pré-disposição poluente, iniciou-se a pesquisa sobre biocombustíveis.

A história dos biocombustíveis no Brasil começa a partir de testes pioneiros realizados, entre os anos de 1905 e 1925, com o álcool combustível. Na década de 60, a descoberta de extensas reservas petrolíferas no Oriente Médio diminui um possível interesse mundial por biocombustíveis. Porém, com a primeira crise mundial do petróleo, em 1973, a procura por novas fontes de energia ressurgiu. Em 1975, o Brasil lança o Programa

Nacional do Álcool (ProÁlcool). Dois anos depois, o professor Expedito Parente, da Universidade Federal do Ceará, descobre o biodiesel a partir do óleo de algodão e, em 1980, ele registra a primeira patente mundial de biodiesel, hoje de domínio público. No mundo inteiro, com o passar dos anos e as intermitentes crises de energia, associadas à maior demanda por combustíveis fósseis, surgem novos e fortes estímulos para o desenvolvimento de tecnologias de produção tanto do etanol quanto do biodiesel.

A utilização de combustíveis de um ponto de vista social, sejam eles provenientes da exploração de petróleo ou provenientes de biomassas, é fundamental, devido as condições da vida moderna e dos confortos e necessidades que o ser humano desenvolveu no decorrer de sua evolução sócio-intelectual. É difícil imaginar um cenário onde não haja comercialização de combustíveis.

CAPÍTULO II – DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS E TRANSFERÊNCIA DE CUSTÓDIA

O ciclo da distribuição de combustíveis no Brasil (Apêndice A), é compreendido basicamente por:

1. Extração da matéria prima (petróleo e biomassa)
2. Processamento da matéria prima
3. Armazenamento do combustível pronto na unidade fabril seja a refinaria no caso dos hidrocarbonetos, seja a usina no caso dos álcoois.
4. Bombeamento para as distribuidoras através de base primária de carregamento.

Um vez que a distribuidora vende o combustível para o cliente final ou simplesmente transfere para uma base secundária, é necessário que o caminhão, vagão de trem ou balsa se coloque na base primária de carregamento para que o combustível saia do tanque de armazenagem da base primária para o tanque que o combustível será transportado, esse movimento é denominado transferência de custódia (Apêndice B).

A transferência de custódia no Brasil é regulamentada pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) através da Portaria Inmetro N° 064, de 11 de abril de 2003 que faz referência direta a norma da OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale – Organização Internacional de Metrologia Legal) R117 – 95e.

De acordo com as normas de transferência de custódia o sistema automatizado para carregamento rodoviário *top load* de combustíveis proposto, tem o seu erro normativo permissivo em no máximo $\pm 0,3\%$ do volume carregado.

O erro permissivo, tendo em vista a movimentação de combustível no Brasil no ano de 2009 (Apêndice C), gerou, somente neste ano

uma incerteza na movimentação de combustíveis no país em torno de quatrocentos milhões de reais.

CAPÍTULO III – OBJETIVOS DO TRABALHO

3.1 Objetivo Geral

O objetivo é identificar os principais fatores que podem influenciar na precisão de um sistema automatizado de carregamento rodoviário *top load* e desenvolver um sistema com um erro inferior a $\pm 0,1\%$ utilizando um transmissor de vazão do tipo velocimétrico de princípio ultrassônico.

3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são identificar:

- A. Se é possível utilizar transmissor de vazão ultrassônico na solução.
- B. Quais são os fatores relevantes para a utilização do transmissor de vazão ultrassônico.
- C. Uma faixa de valores para esses fatores, buscando atingir um erro inferior a $\pm 0,1\%$ do volume carregado.

3.3 Justificativa

Os sistemas de carregamento utilizados atualmente, possuem os seus erros baseados nas normas. Esses erros geram uma grande perda no que se refere ao volume de combustível carregado e também geram um problema de controle de estoque. Desenvolver um sistema onde o erro seja inferior a $\pm 0,1\%$ considerando que o permissivo por norma é $\pm 0,3\%$, geraria uma economia para as companhias distribuidoras de aproximadamente 66%. Essa economia somente no de 2008 é representada por cerca de duzentos e sessenta milhões de reais, e uma sobra de produto significativa para as bases

primárias de carregamento. Essa economia gerada e o controle de perda e sobre a base de carregamento é o que justifica a pesquisa realizada.

CAPÍTULO IV - METODOLOGIA

Apesar da grande quantidade de combustível comercializada no mundo, a maneira como esses combustíveis são carregados difere de um país para outro de acordo com a particularidade de cada um, seja ela ambiental, climática, sócio-tecnológica e etc.

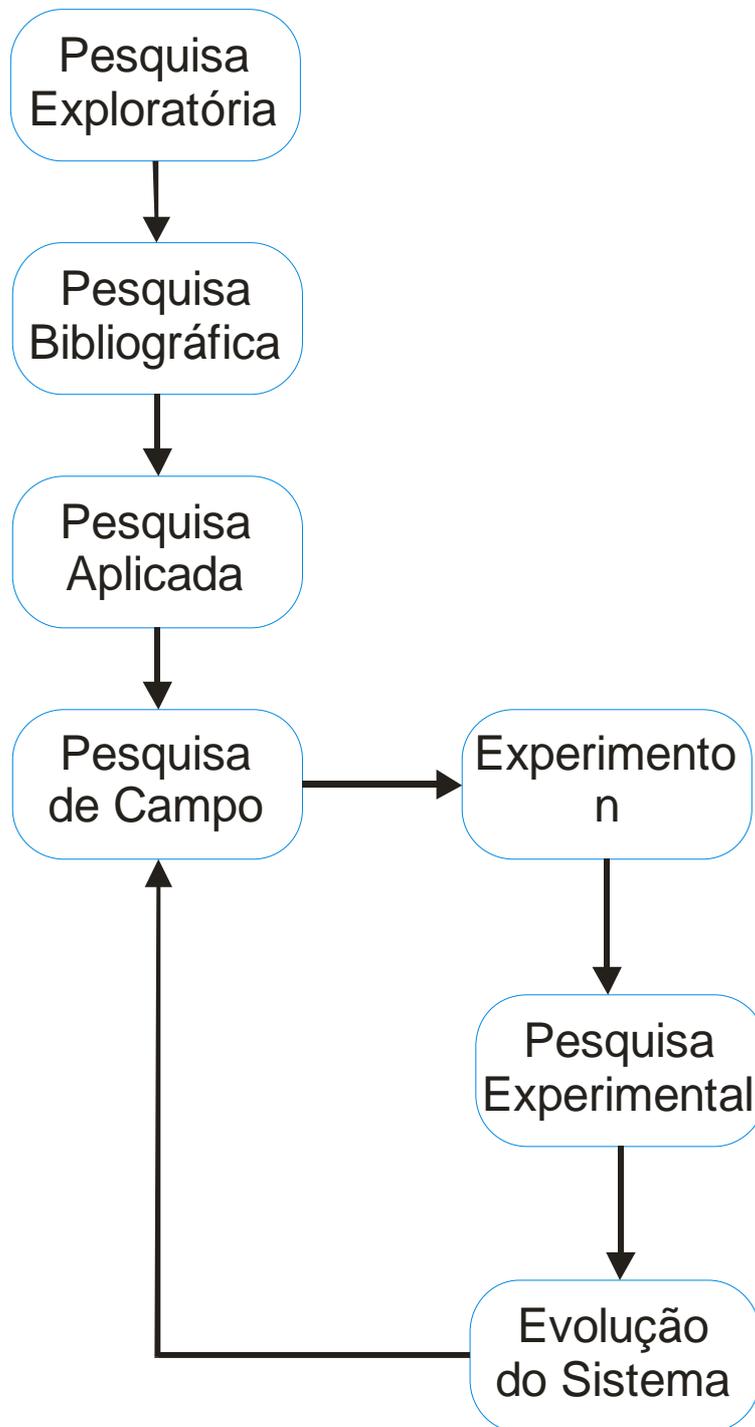
O investimento em tecnologia e o estudo e monitoramento da aplicação de procedimentos operacionais nessas bases primárias de carregamento nem sempre são a melhor possível. Ao menos no Brasil e em muitos países do mundo não existe nenhuma regra que obrigue as bases a utilizarem sistemas automatizados de carregamento. Sendo assim, não existe um procedimento que determine como esses sistemas devem ser, apenas existem regras que determinam o erro tolerável ou permissivo. Essa situação alavanca uma grande pobreza bibliográfica para a referencia deste assunto, toda via, existe em considerada abundância, bibliografias que tratam separadamente dos equipamentos que podem fazer parte de um sistema automatizado de carregamento.

Observando as definições, segue:

- Pesquisa Exploratória – o principal objetivo é caracterizar inicialmente o problema.
- Pesquisa Aplicada – objetiva investigar, comprovar ou rejeitar hipóteses sugeridas pelos modelos teóricos.
- Pesquisa de Campo – observa os fatos tal como ocorrem, não permite isolar e controlar as variáveis, mas perceber e estudar as relações estabelecidas.
- Pesquisa Bibliográfica – Recupera o conhecimento acumulado sobre o problema.
- Pesquisa Experimental : objetiva criar condições para interferir no aparecimento ou na modificação dos fatos

para poder explicar o que ocorre com os fenômenos correlacionados.

A metodologia da pesquisa seguiu conforme fluxograma:



Fluxograma 1 - Fluxograma da metodologia aplicada

CAPÍTULO V - ESTADO DA ARTE

De acordo com o SINDICOM – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de combustíveis e de Lubrificantes, através dos textos “*História da distribuição de combustíveis no Brasil*” e “*Estatísticas de distribuição de combustíveis no Brasil*”, a história da distribuição de combustíveis segue o histórico:

- 1912 – Tem início distribuição sistemática de derivados de petróleo, no Brasil realizada em latas e tambores.
- 1938 – Criado o Conselho Nacional do Petróleo, pelo Decreto-Lei nº 395, de 29 de abril de 1938, com o objetivo de regular e fiscalizar as atividades de exploração, refino, importação, distribuição e comercialização de petróleo e derivados. Nesta época se utilizava o processo industrial com bombeamento e operação com válvulas manuais e iniciou-se a utilização de transmissores de vazão mecânicos.
- 1953 – Criada a Petrobrás de acordo com a Lei nº 2004 de 3 de outubro de 1953. Iniciou-se a busca por processos mais automatizados, utilizando transmissor de vazão eletrônico.
- 1975 – É lançado o Programa Nacional do Alcool (ProAlcool). As distribuidoras começam a adaptar suas instalações e bombas para o novo produto combustível. Nessa época começaram a surgir as primeiras operações com transmissores de vazão eletrônico e válvulas elétricas e pneumáticas.

- 1988 – Consagrado o monopólio da União sobre o petróleo e seus derivados, através da constituição promulgada em 5 de outubro de 1988. Terminais de carregamento com comunicação com o mercado externo começaram a utilizar os primeiros sistemas automatizados com pré-determinador, transmissor de vazão eletrônico e válvula de duplo estágio.

Hoje, 90% das bases que utilizam algum sistema automatizado de carregamento, segue as seguintes características:

Transmissor de vazão - turbina ou deslocamento positivo – com gerador de pulso ou sinal analógico de vazão instantânea;

Válvula automática - Válvula duplo estágio, válvula com dois níveis de abertura atuado por dois solenóides de forma independente ou válvula diafragmática com dois solenóides que controlam uma faixa de abertura conforme a vazão configurada.

Pré-determinador - Sistema eletrônico, que conta os pulsos gerados ou interpreta a vazão instantânea gerado pelo transmissor de vazão, e comanda a válvula quando necessário.

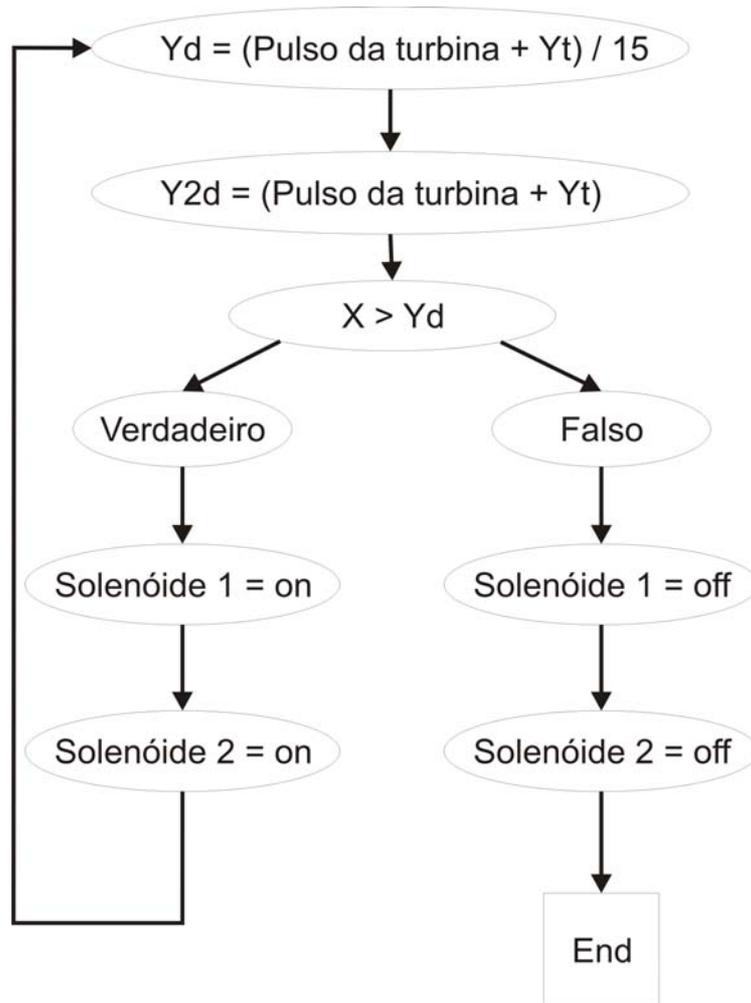
CAPÍTULO VI - SISTEMA AUTOMATIZADO DE CARREGAMENTO UTILIZADO NOS EXPERIMENTOS

O sistema automatizado utilizado no experimento foi chamado na sua primeira versão de sistema de carregamento Alfa, onde foi evoluindo com os resultados até chegar em uma versão que demonstrou os melhores resultados.

6.1 Sistema de Carregamento Alfa (SCA):

A arquitetura do sistema foi baseado em um CLP(Central Lógica Programável) da linha WEG modelo TP02 conectado a dois relés com bobina de 220V, esses conectados aos solenóides da válvula de duplo estágio. A turbina foi conectada a uma entrada com capacidade de leitura de frequência até 1kHz.

Ao programar um endereço de memória X com o volume desejado para carregamento, esse era comparado com o endereço de memória $Y2d$, essa comparação era de forma cíclica em um tempo de ciclo de 1 segundo e o endereço Yd e $Y2d$ eram incrementados com a contagem dos pulsos gerados pela turbina (Yt) a cada ciclo. A turbina foi calibrada para 15 pulsos por litro, assim, o endereço Yd mostraria o valor em litros e o endereço $Y2d$ mostraria a quantidade de pulsos gerados. Uma vez satisfeita a condição de maior o CLP(Central lógica programável) comandava a válvula para o fechamento, como mostra o fluxograma a seguir:



Fluxograma 2 - Lógica do Sistema de Carregamento Alfa

O sistema foi aplicado a uma arquitetura mecânica de acordo com as figuras abaixo:

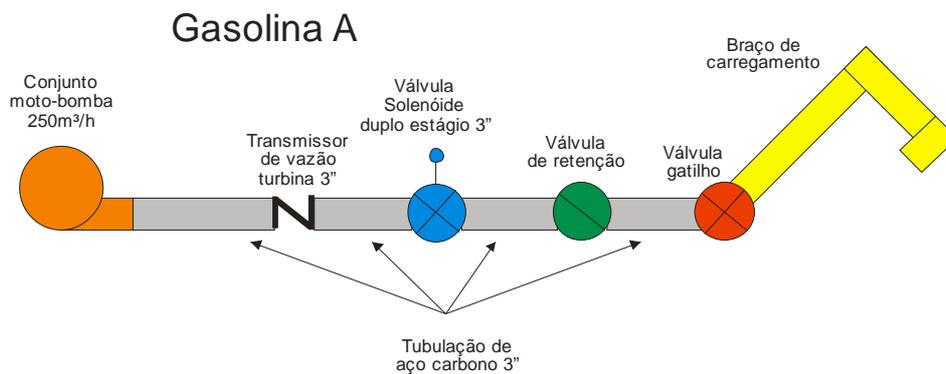


Figura 1 - Esquema mecânico do sistema Alfa utilizado com Gasolina

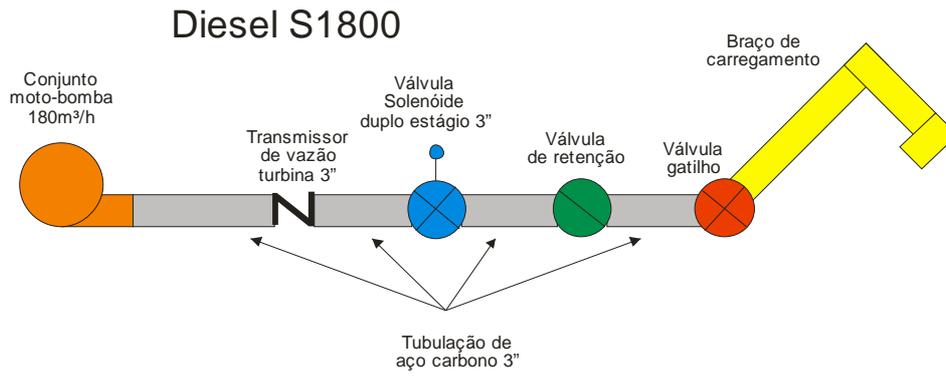


Figura 2 - Esquema mecânico do sistema Alfa utilizado com Diesel S1800

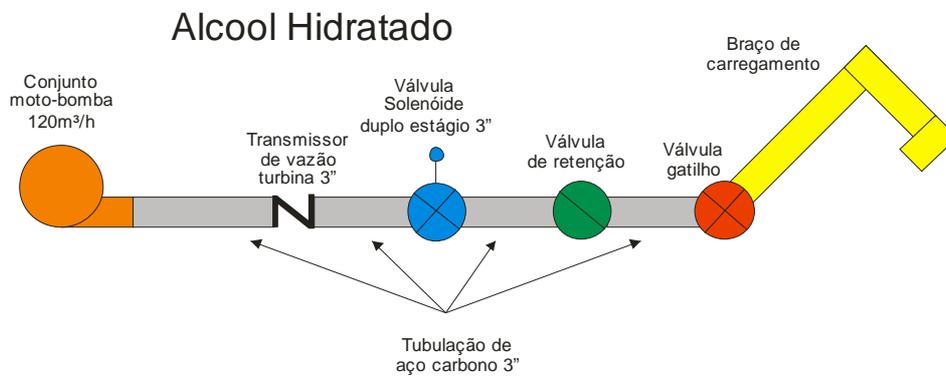


Figura 3 - Esquema mecânico do sistema Alfa utilizado com Álcool Hidratado

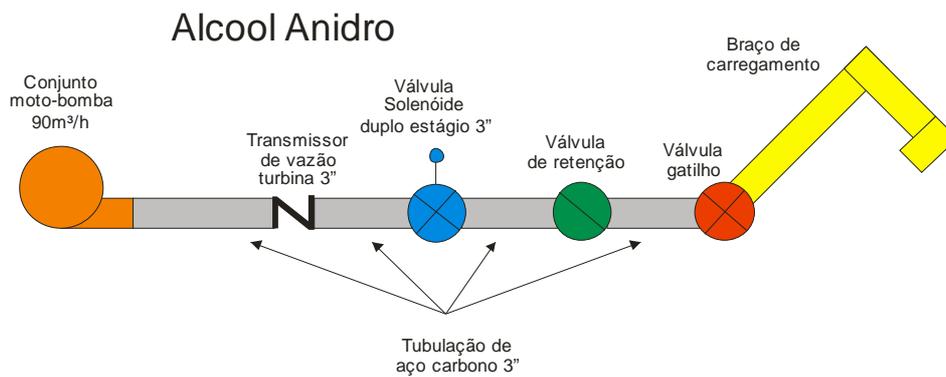


Figura 4 - Esquema mecânico do sistema Alfa utilizado com Álcool Anidro

CAPÍTULO VII – CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS

Os sistemas automatizados de carregamento, precisam ser sintonizados nas formas de sensoriamento, aquisição e tratamento de dados e características físico químicas do fluido (Apêndice D). No processo de carregamento de combustíveis, as principais características físico químicas do fluido a serem observadas são:

- Condutividade elétrica
- Condutividade sônica
- Densidade
- Viscosidade

CAPÍTULO VIII - CONCEITOS DE VAZÃO

Medição de vazão é a medição de uma substância em movimento. Resumidamente pode-se afirmar que a vazão é um determinado volume que atravessa uma determinada seção em um determinado espaço de tempo, sendo:

$$Q = V / t$$

Equação 1 - equação geral da vazão

Onde:

Q: Vazão

V Volume

t espaço de tempo

O entendimento de uma medição de vazão se dá pelo entendimento do equilíbrio entre as características dos fluídos medidos e os seus respectivos movimentos. Pode-se afirmar que a medição da vazão é uma medição dinâmica. A qualidade dessa tarefa é condicionada sob condições que podem fazer com que um entendimento sobre o equilíbrio da vazão dependa dos movimentos do fluído na tubulação e também dos efeitos da tubulação nesses movimentos. Em verdade temos, que, quanto mais o fluído se comportar de forma uniforme dentro de uma tubulação mais facilitada será a medição de vazão.

Voltando para as premissas básicas da medição de vazão, já foi dito que a medição de vazão é a medição de substâncias em movimento. Essas substâncias ocorrem de três formas conhecidas que são os estados sólido, líquido e gasoso. A medição de vazão se dá usualmente medindo o movimento de uma substância em um desses estágios, porém, as vezes, considerando condições normais de operação enfrenta-se situações incomuns nesse movimento, onde passam a existir sólidos em líquidos, gases em

líquidos, sólidos em gases, líquido em gases, sólidos e gases em líquidos e sólidos e líquidos em gases. Nesse momento inicia-se os problemas com a medição de vazão, pois além da preocupação com a uniformidade do comportamento do fluido em uma tubulação, existirá também a preocupação dos sólidos e dos gases no líquidos pertinentes. Essa mistura de sólidos e gases nos líquidos é chamado de “multi-fase”.

Por se tratar de substâncias em movimento é importante abordar três assuntos distintos, sendo:

- A equação da continuidade
- Teorema de Bernoulli
- Trabalho de Osborne Reynolds

8.1 A equação da continuidade

O volume da vazão (Q) que passa por um ponto é igual para a seção (A) ao longo do escoamento multiplicado pela velocidade média na seção (V_m), como mostrado na figura abaixo:

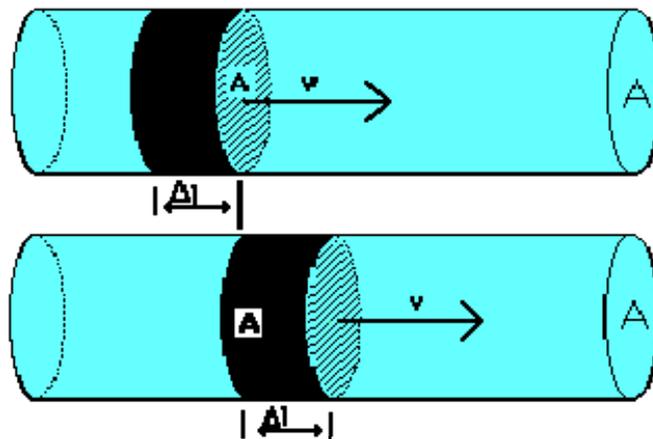


Figura 5 - Desenho comparando a sessão antes e depois do vetor "A" mostrando a teoria da equação de continuidade

Assim sendo temos a equação:

$$Q = A \cdot v_m$$

Equação 2 - Equação da continuidade

A equação da continuidade serve para calcular a vazão onde a seção altera o seu diâmetro, ou seja, o volume de uma determinada área não é igual em virtude da alteração do diâmetro da tubulação ao longo do escoamento. Essa característica foi desprezada nos experimentos, uma vez que o transmissor de vazão ultra-sônico, tem uma seção uniforme onde o volume é igual para toda a seção que compreende o transmissor de vazão.

8.2 Teorema de Bernoulli

A equação de continuidade mostra a relação entre a área e a velocidade média para obter a vazão. O trabalho de Daniel Bernoulli no século XVIII reconheceu que a variação da velocidade tem relação com uma conversão de energia (*head*) da velocidade *head* (energia cinética) para a pressão *head* (energia potencial). Em outras palavras, se a energia é constante, uma variação na velocidade resultará em uma variação inversa na pressão. A aplicação ou observação desse teorema foi desprezado nos experimentos.

8.3 Número de Reynolds

No século XIX, mais exatamente no ano de 1883, Osborne Reynolds injetou um corante em um fluido escoante e observou mudanças significativas no modo em que o corante se movia. Em baixas vazões ele observou que o corante traçava uma linha reta do ponto de injeção ao longo do escoamento. Ele chamou essa condição de fluxo direto, atualmente conhecido como fluxo laminar, pois o fluido se move como se fosse composto por lâminas, como mostra a figura abaixo:



Figura 6 - Fluxo Laminar na tubulação

Quando ele aumentou a velocidade e a condição do corante deixou de ser uma linha reta e começou a se tornar uma linha sinuosa, e Reynolds observou que quanto mais aumentava a velocidade mais sinuosa ficava a linha do corante. Reynolds chamou essa condição de fluxo sinuoso, hoje conhecido como fluxo turbulento. Como na figura abaixo:

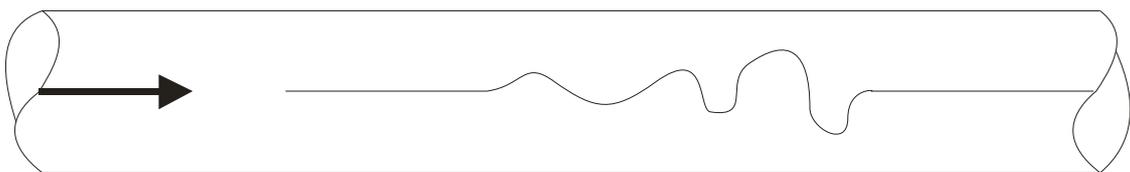


Figura 7 - Fluxo Turbulento na tubulação

O trabalho de Reynolds mostrou que quando o fluido está sob um regime laminar a força que domina o comportamento do fluido é a força da viscosidade (fricção interna do fluido), e analisando esse comportamento, a velocidade, e a tubulação, percebe-se que é definida uma parábola em função da velocidade do fluido, e no centro da tubulação o fluido está duas vezes a frente. Como na figura abaixo:

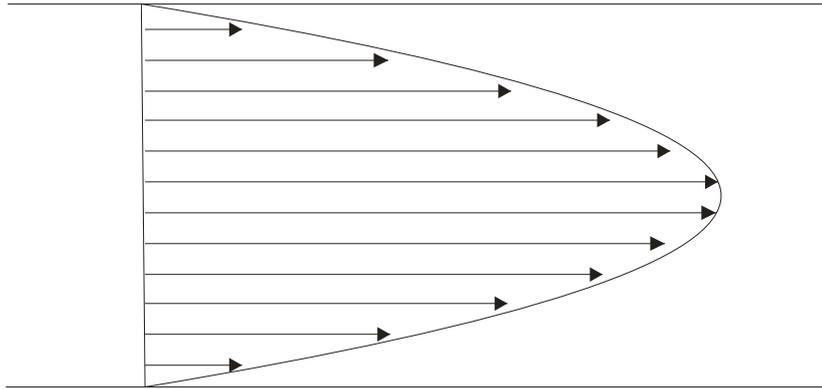


Figura 8 - Parábola do fluido na tubulação em função da velocidade

Já no regime de turbulência a força que domina o comportamento do fluido é a força de inércia (força dinâmica), foi observado que a lateral e a força transversa causam a imediata dispersão do fluido. Essas forças laterais causaram uma mistura do corante utilizado no fluido e o resultado no contorno desta vazão tinha relativamente pequenas mudanças na velocidade em certos pontos da tubulação, e esses pontos eram próximos a parede do tubo. Essa característica é em função da propriedade do fluido e da rugosidade do tubo. Como mostra a figura abaixo:

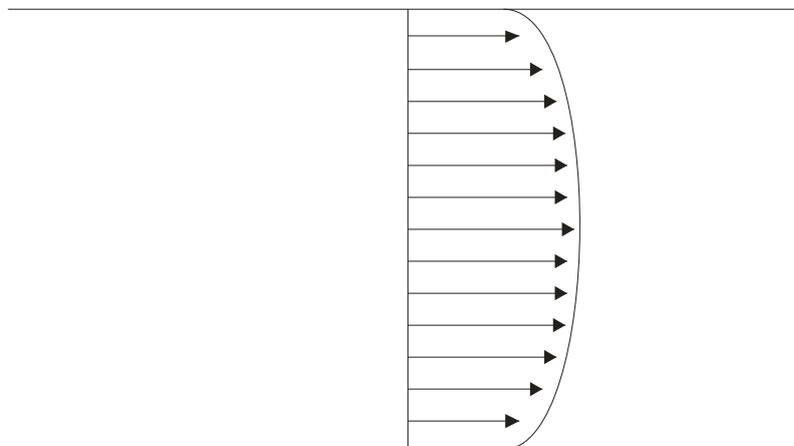


Figura 9 - Parábola do fluido na tubulação em função da rugosidade do tubo.

Reynolds concluiu que somente existem dois aspectos do comportamento da vazão do fluido, sendo eles, fluxo laminar e fluxo turbulento e entre esses dois há apenas uma zona de transição. Nessa zona de transição, o fluido pode se comportar hora com um fluxo laminar hora com um fluxo turbulento e ainda pode apresentar alguns “saltos” em condições aleatórias. Essas aleatoriedades são causadas por perturbações obscuras no fluxo. A

maioria dos transmissores de vazão tem uma repetibilidade muito pobre se operando nessa zona de fluxo. Como na figura abaixo:

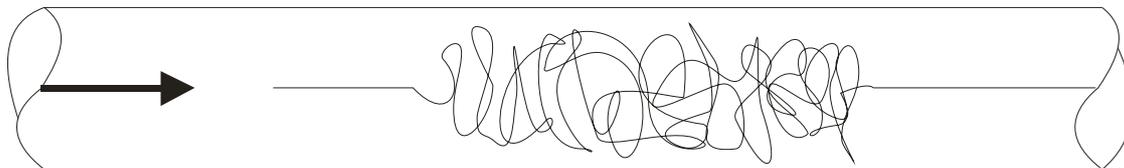


Figura 10 - Fluxo na zona de transição entre fluxo laminar e fluxo turbulento

8.4 Controlando a característica do fluxo na tubulação

Foi mostrado que a característica do fluxo em uma tubulação é definida pelo número de Reynolds e pela rugosidade interna da tubulação. Além disso, o fluxo pode ser influenciado devido às características da tubulação no que se refere a curvas, trechos retos e até mesmo alterações de diâmetros. Por exemplo como mostrado na figura abaixo.

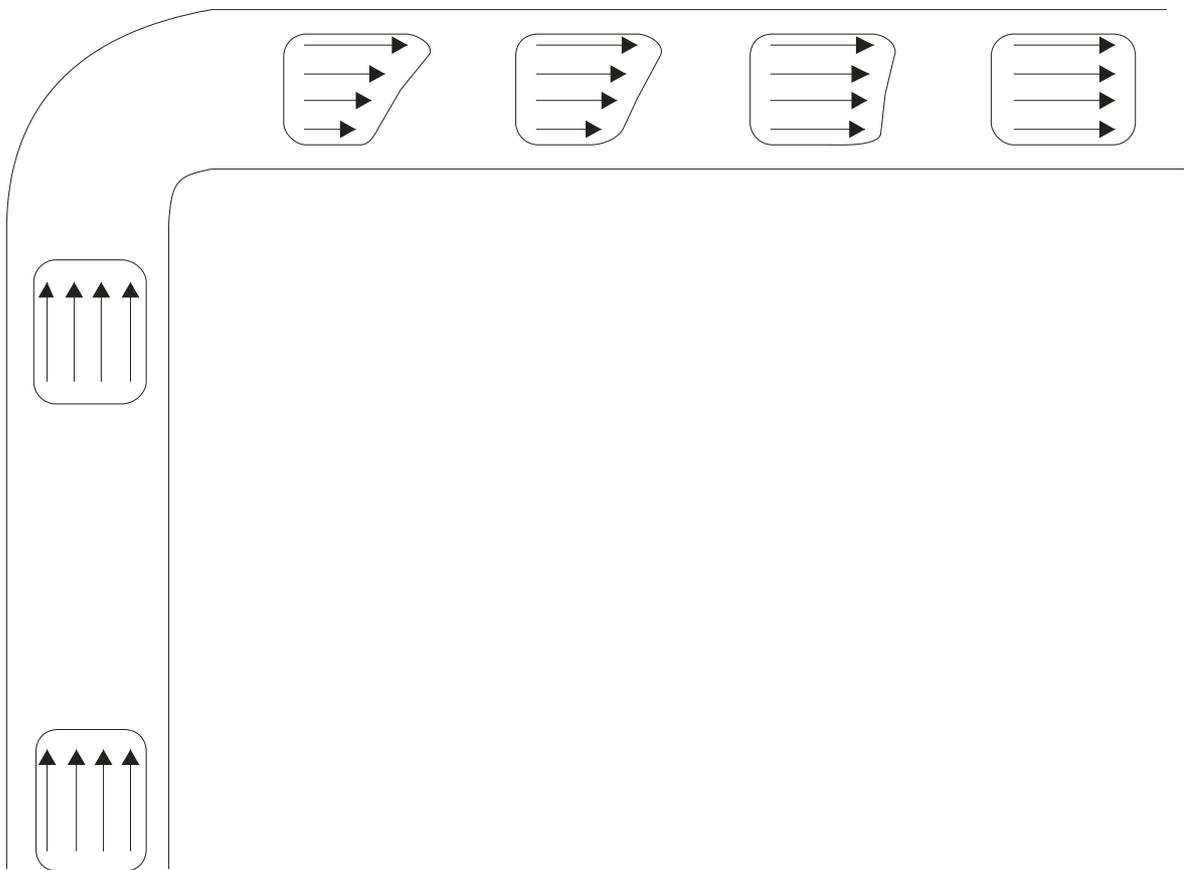


Figura 11 - Número de Reynolds em função da característica construtiva da tubulação

As características ideais do fluxo podem ser restauradas com o artifício da utilização de corretores de fluxo. Como o movimento do fluido dentro da tubulação tem influencia nos transmissores de vazão, abaixo é mostrado uma pequena lista de transmissores cujo o número de Reynolds

influencia no seu desempenho, juntamente com cada tipo de corretor de fluxo indicado:

Transmissor de vazão por diferencial de pressão é recomendado a utilização de um corretor de fluxo tipo Pitot como mostra a figura 12:



Figura 12 – Corretor de fluxo tipo Pitot

Transmissor de vazão tipo turbina é recomendado a utilização de um corretor de fluxo tipo Nozzle como mostra a figura 13:



Figura 13 - Corretor de fluxo tipo Nozzle

Transmissor de vazão tipo Ultrassom por Doppler é recomendado a utilização de um corretor de fluxo do tipo Orifício Concêntrico como mostra a figura 14:



Figura 14 - Corretor de fluxo tipo Orifício Concêntrico

Transmissor de vazão tipo Ultrassom por Tempo de transito do fluído é recomendado a utilização de um corretor de fluxo do tipo Orifício Excêntrico como mostra a figura 15:



Figura 15 - Corretor de fluxo do tipo Orifício Excêntrico

O fluxo influencia a qualidade da medição dos transmissores de vazão, porém existem alguns tipos de medidores cujo essa questão não influencia. Os grupos de medidores de vazão são basicamente quatro: Geradores de diferencial de pressão, medidores lineares, medidores volumétricos e medidores de canais abertos:

Como exemplo de transmissor de diferencial de pressão é possível apresentar o tubo de pitot:



Foto de um tubo de Pitot geralmente colocado sob as asas dos aviões

Figura 16 - Transmissor de vazão do tipo Pitot por diferencial de pressão

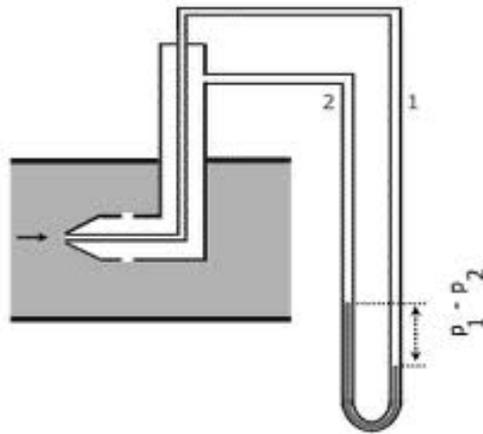


Figura 17 - Esquema de um tubo de Pitot

Como exemplo ao transmissor de vazão linear é possível apresentar os de princípio mássico com o transmissor de vazão coriolis (figura 18) e ultra-sônico (figura 19):



Figura 18 - Transmissor de vazão Coriolis



Figura 19 - Transmissor de vazão ultra-sônico

Como exemplo ao transmissor de vazão volumétrico é possível apresentar o transmissor de vazão de palheta ou comumente conhecido como “Deslocamento positivo” (figura 20):



Figura 20 - Transmissor de vazão de Deslocamento Positivo

Como exemplo de transmissor de vazão de canais abertos é mostrado na figura 21 um exemplo de medidor e sua aplicação:

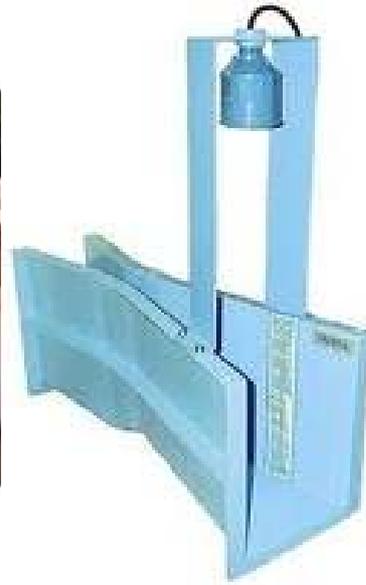


Figura 21 - Transmissores de vazão de canal aberto

Os transmissores de vazão do tipo mássico e do tipo volumétrico, não necessariamente estão sujeitos as interferências com relação ao número de Reynolds, porém a viscosidade do fluido influencia no dimensionamento desses dois tipos.

CAPÍTULO IX - QUALIDADE NA MEDIÇÃO

A habilidade do transmissor de vazão fazer uma medição é chamada de “Acuracidade” do inglês “Accuracy”. Os transmissores de vazão tem a sua acuracidade expressa em:

- 1) Percentual ou vazão instantânea
- 2) Percentual da vazão total
- 3) Percentual da máxima pressão diferencial.

A equação para definir o primeiro é:

$$\% = \pm \frac{\text{Incerteza da medição}}{\text{Vazão instantânea}} \cdot 100$$

Equação 3 – Cálculo do percentual da vazão instantânea

A equação que define a segunda expressão é:

$$\% \text{ da vazão total} = \pm \frac{\text{Incerteza da medição}}{\text{escala total da vazão}} \cdot 100$$

Equação 4 - Cálculo do percentual da vazão total

A equação que define a terceira é;

$$\% \text{ do máximo dP} = \pm \frac{\text{Incerteza da dP}}{\text{Máxima dP}} \cdot 100$$

Equação 5 - Cálculo do percentual da máxima pressão diferencial

Onde dP significa diferencial de pressão.

A expressão “por pressão diferencial” é utilizada somente para os transmissores de vazão deste princípio.

Para melhor entendimento da acuracidade de um transmissor de vazão observe uma prévia característica operacional dos experimentos realizados:

A capacidade de medição do transmissor de vazão, ou seja a vazão máxima de trabalho é de 180m³/h . A condição de vazão da operação ao qual está aplicado está entre 15m³/h e 150m³/h onde a incerteza do transmissor de vazão utilizado, de acordo com o relatório de calibração que o acompanha, é de ±0,03% para vazões entre 120 e 150m³/h, ±0,08% para vazões entre 50 e 120m³/h e de ±0,12% para vazões entre 5 e 50m³/h para obter o gráfico da acuracidade desse instrumento aplicado ao processo tem-se:

Percentual o vazão instantânea:

$$\% = \pm \frac{\text{Incerteza da medição}}{\text{Vazão Instantânea}} \cdot 100$$

Equação 6 - Cálculo do percentual da vazão instantânea aplicado ao exemplo

Para 150m³/h:

$$\% = \pm (0,03 / 150\text{m}^3/\text{h}) \cdot 100 = \pm 0,020\%$$

Para 100m³/h:

$$\% = \pm (0,08 / 100\text{m}^3/\text{h}) \cdot 100 = \pm 0,080\%$$

Para 75m³/h:

$$\% = \pm (0,08\% / 75\text{m}^3/\text{h}) \cdot 100 = \pm 0,106\%$$

Para 50m³/h:

$$\% = \pm (0,12\% / 50\text{m}^3/\text{h}) \cdot 100 = \pm 0,240\%$$

Para 25m³/h:

$$\% = \pm (0,12\% / 25\text{m}^3/\text{h}) \cdot 100 = \pm 0,480\%$$

Para 15m³/h:

$$\% = \pm (0,12\% / 15\text{m}^3/\text{h}) \cdot 100 = \pm 0,800\%$$

Percentual da vazão total

$$\% \text{ da vazão total} = \pm \frac{\text{Incerteza da medição}}{\text{escala total da vazão}} \cdot 100$$

Equação 7 - Cálculo do percentual da vazão total aplicada ao exemplo

$$\% = \pm (0,03 / 180) \cdot 100 = \pm 0,016\%$$

Com as informações obtidas, o gráfico 1 mostra a acuracidade do transmissor de vazão ultra-sônico aplicado ao experimento é apresentado:

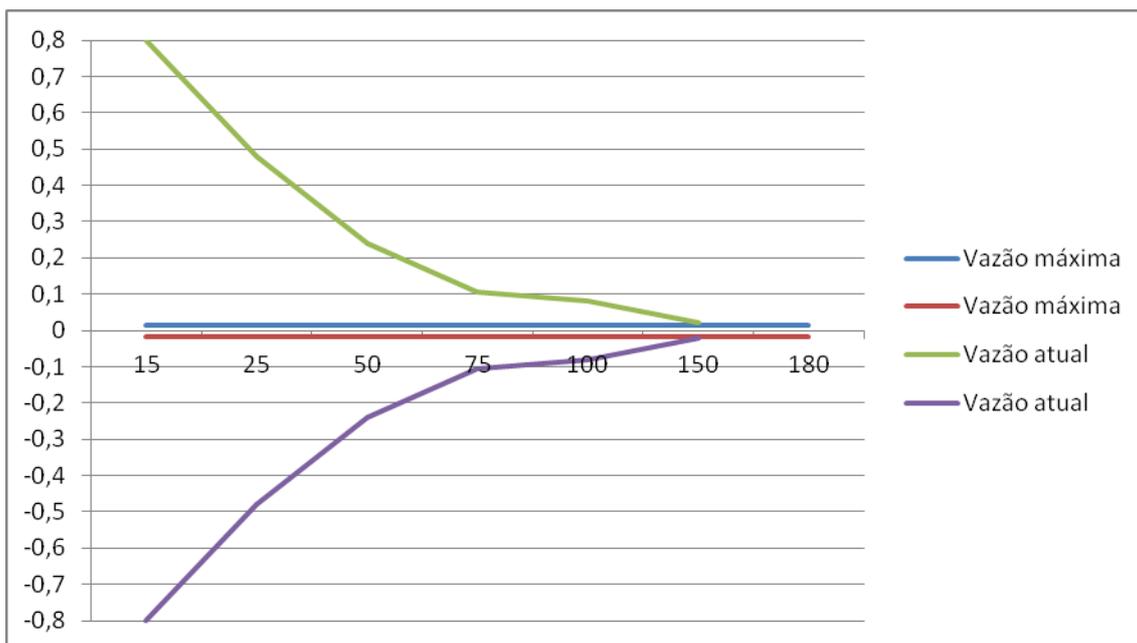


Gráfico 1 - Erro do Transmissor de Vazão Ultra-sônico

CAPÍTULO X - EXPERIMENTOS

10.1 Experimento 1 – Análise do sistema existente.

O sistema utilizado para o experimento 1 foi o SCA (Sistema de Carregamento Alfa), onde o transmissor de vazão utilizado foi do tipo Turbina, e esse experimento tem por principal objetivo testar a funcionalidade e confiabilidade da turbina no que se refere a geração de pulsos e uniformidade do valor pulsos/litro.

Foi utilizado no experimento 1, uma medida padrão de 2000 litros calibrada, e, ainda foram monitoradas as temperaturas ambiente e do produto. Os elementos filtrantes, foram utilizados os comuns do processo no *mesh* (capacidade de filtragem do filtro) pré determinado para cada tipo de produto e tamanho de linha de distribuição, para criar o ambiente mais real possível.

O procedimento de carregamento foi com a abertura total da válvula solenóide instantaneamente e o fechamento total da válvula solenóide instantaneamente, onde o volume faltante ou que sobrou era completado ou retirado com pipeta calibrada e seu volume era descontado ou acrescentado ao cálculo para sempre ter o volume de exatos 2000 litros.

A bomba somente foi ligada após a abertura da total válvula.

Os cabos utilizados para a transmissão dos pulsos da turbinas foram cabos independentes especialmente utilizados para os experimentos utilizando par de condutores trançados de 1,5mm e *shield*.

1 – Como funciona a turbina?

A turbina consiste de um rotor montado em um rolamento fixado em um eixo dentro de um tubo. Este tubo seguia o diâmetro da linha do

processo, onde as turbinas utilizadas nos experimentos tinha o diâmetro DN80 ou 3". O fluido é medido em sua passagem através do tubo, causando a rotação do rotor em velocidade proporcional a velocidade da vazão do fluido dentro do medidor. O sensor que detecta a rotação do rotor pode ser mecânico, através de uma engrenagem com um passo conhecido fixado ao eixo do medidor ou eletrônico que detecta a passagem de cada lâmina do rotor gerando um pulso. A velocidade rotacional do eixo e a frequência dos pulsos é proporcional ao volume da vazão que passa através do medidor.

O primeiro problema observado é com relação ao balanceamento das lâminas no rotor que podem induzir uma não proporcionalidade entre a volume da vazão e o acionamento do eixo.

O segundo problema observado é com relação ao travamento do eixo, em virtude de uma partícula sólida em suspensão ou até mesmo fragmentos sólidos em suspensão por motivo da falha do elemento filtrante da linha.

2 – Qual a característica do pulso da turbina?

Os sensores de princípio mecânico são instalados somente em algumas turbinas cujo a sua velocidade de rotação é limitada a uma determinada faixa. Um sensor mecânico usualmente consiste de um eixo que é guiado por uma engrenagem. Esse eixo é conectado ao dispositivo como se fosse um velocímetro automotivo. Alguns desses indicadores são capazes de mostrar duas informações sobre a vazão, sendo elas a instantânea e a totalizada, enquanto outros são configurados somente para totalizar a vazão.

Os sensores eletrônicos, usualmente chamados de "*pickoffs*", são usualmente manufaturados para as fábricas de medidores tipo turbina. Desse tipo existem 3 tipos de *pickoffs* sendo:

- a) Magnético indutivo
- b) Relutância magnética
- c) Frequência portadora modulada

O *pickoff* do tipo magnético indutivo necessita que um magneto embarcado em cada lamina do rotor. Uma simples bobina ou um arranjo de bobinas no final do *pickoff*, é usado para produzir um pulso elétrico na passagem de cada lâmina (magneto) sob o *pickoff*. O sinal produzido por esse tipo de *pickoff* é usualmente uma onda senoidal que tem sua frequência de um pulso por lâmina em que a amplitude varia de alguns milivolts em baixas frequências para centenas de milivolts em alta frequência. Esse sinal não pode ser amplificado, somente pode ser transmitido a curta distância, tipicamente em torno de 6 metros e o condutor deve ser cabo par trançado.

O *pickoff* do tipo relutância magnética contém um magneto dentro do próprio *pickoff*. Esse tipo de sensor requer que o rotor seja composto de material que tenha alguma permeabilidade magnética. Esse não precisa ser altamente magnético, mas tem que ser suficientemente magnético para que o *pickoff* consiga enxergar o rotor. As características do sinal produzido por esse tipo de *pickoff* são iguais as produzidas pelo tipo de magnético indutivo.

O *pickoff* do tipo frequência portadora modulada, contem uma bobina de ferrite e núcleo com uma bobina envolta dele. Um amplificador de acompanhamento contem um circuito eletronicamente oscilante com a indutância da bobina do *pickoff*. A frequência do oscilador é muito maior que a frequência da passagem das lâminas e age como uma portadora, ao qual é modulada pela passagem das lâminas do rotor. A frequência portadora é filtrada fora do amplificador, deixando somente a frequência da passagem das lâminas do rotor. Uma vez que a frequência resultante é produzida em um amplificador, a saída do amplificador é usualmente transformada em pulsos de ondas quadradas em uma voltagem constante, usualmente 5 ou 10 volts pico-a-pico. A alimentação externa é usualmente 24Vcc ou 110Vac, e é usado para operar o amplificador.

A turbina utilizada no sistema analisado utiliza o *pickoff* do tipo frequência portadora modulada.

A calibração deste tipo de *pickoff* é de normalmente 5 a 25 pulsos por litro, onde a sua variação dependerá do tipo do processo, no caso do experimento analisado as turbinas eram aferidas para 15 pulsos por litro.

A velocidade do fluído na linha era proporcional ao valor da bomba menos a perda de carga em virtude da característica mecânica do processo. No experimento analisado as bombas tinham valores entre 90m³/h e 250m³/h. A frequência dos pulsos gerado pela turbina é em função da velocidade da bomba conforme tabela abaixo:

Bomba	Calibração	Frequência máxima
90m ³ /h	15 pulsos por litro	375 Hz
120m ³ /h	15 pulsos por litro	500 Hz
180m ³ /h	15 pulsos por litro	750 Hz
250m ³ /h	15 pulsos por litro	1042 Hz

Tabela 1 - Frequência em função da velocidade da bomba

Porém conforme a descrição do experimento 1, a turbina é de 3", ou seja, a sua vazão dificilmente passaria dos 80m³/h em virtude da perda de carga que a turbina gera, em virtude das suas características mecânicas.

3 - Todos os pulsos gerados chegam ao CLP(Central Lógica Programável)?

No sistema analisado haviam turbinas cujo os pulsos que ela gerava chegavam integralmente ao pré-determinador e outras que não, ou seja, considerando que é um circuito amplificado uma distância segura para a contagem dos pulsos sem a interferência da resistência do cabo seria um cabo par trançado com condutor de 1,5mm na distância máxima de 30m. Se for considerando a interferência eletromagnética ao qual o sistema está suscetível em virtude da característica ambiente, observando que nesse ambiente é comum esse tipo de equipamento estar misturado com equipamentos de alta potência e consumo, é importante que o cabo tenha uma malha de *shield* para ser aterrada a fim de minimizar tais interferências.

Outra interferência visualizada, foi a questão da qualidade de instalação dos cabos, pois haviam cabos que estavam mergulhados em água as vezes prejudicando a capacitância que deve haver entre os condutores gerando assim ruído no cabo prejudicando a leitura dos pulsos.

4 - A turbina gera constantemente a mesma quantidade de pulsos por litro?

Nas turbinas testadas no experimento foram observadas variações conforme as tabelas de referência de produto X bomba, onde o preenchimento das tabelas foi feito com carregamento em medida padrão aferida em 2000 litros.

As linhas e bombas utilizadas foram as mesmas do processo.

10.1.1 Experimento utilizando carregamento de Gasolina A – 250m³/h

Índice	Valor carregado 	Vazão Média m ³ /h	Pulsos totalizados	Pulsos por litro	Temperatura do produto °C	Temperatura ambiente °C	Frequência Hz
01	2000	72	28960	14,480	28	18	289,600
02	2000	80	29830	14,915	29	18	331,444
03	2000	80	29995	14,997	29	18	333,267
04	2000	74	26983	13,491	28	18	277,315
05	2000	75	29948	14,974	28	18	311,958
06	2000	78	29636	14,818	29	24	321,057
07	2000	80	26962	13,481	29	24	299,578
08	2000	76	29878	14,939	29	24	315,379
09	2000	80	29985	14,992	29	24	333,156
10	2000	75	29898	14,949	30	24	311,438
11	2000	62	28952	14,476	31	28	246,309
12	2000	68	29963	14,981	32	28	282,974
13	2000	75	29961	14,980	31	28	312,083
14	2000	80	27992	13,996	31	28	311,022
15	2000	78	29939	14,969	32	28	324,328
16	2000	72	28646	14,323	25	19	286,460
17	2000	56	29988	14,994	24	19	233,240
18	2000	79	29990	14,995	25	19	329,057
19	2000	76	30006	15,003	26	19	316,730
20	2000	52	29984	14,992	18	19	216,551
21	2000	74	28990	14,495	17	22	297,953
22	2000	72	29862	14,931	16	22	298,620
23	2000	76	29958	14,979	18	22	316,223
24	2000	78	27899	13,949	17	22	302,228
25	2000	80	29962	14,981	21	22	332,911

Tabela 2 - Experimento 1 - Gasolina A - 250m³/h

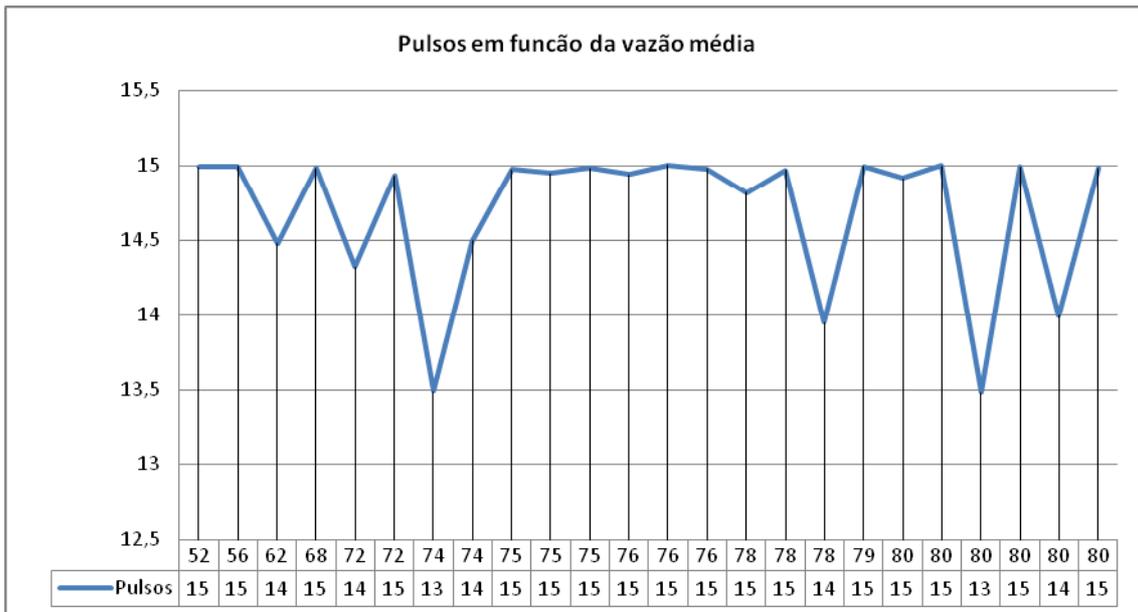


Gráfico 2 - Experimento 1 - Gasolina A - Pulsos em função da vazão média

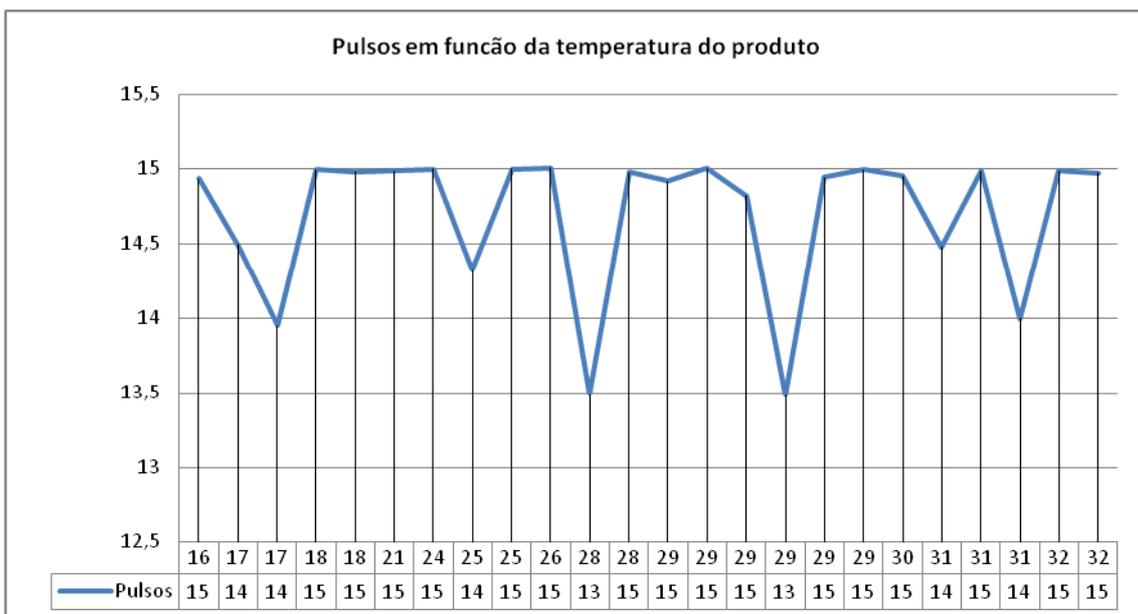


Gráfico 3 - Experimento 1 - Gasolina A - Pulsos em função da temperatura do produto

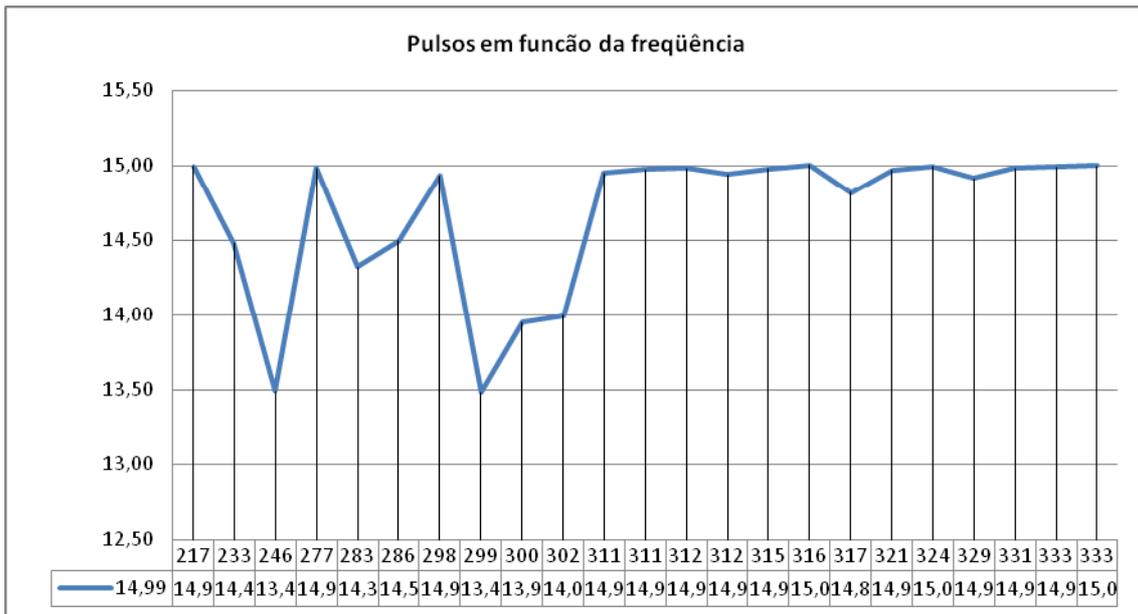


Gráfico 4 - Experimento 1 - Gasolina A - Pulsos em função da frequência

10.1.2 Experimento utilizando carregamento de Diesel S1800 – 180m³/h

Índice	Valor carregado 	Vazão Média m ³ /h	Pulsos totalizados	Pulsos por litro	Temperatura do produto °C	Temperatura ambiente °C	Frequencia Hz
01	2000	78	28960	14,480	34	18	313,733
02	2000	76	28889	14,444	35	18	304,929
03	2000	71	29003	14,501	34	18	285,992
04	2000	70	29688	14,844	34	18	288,633
05	2000	78	29655	14,827	35	18	321,252
06	2000	77	28696	14,348	35	21	306,888
07	2000	77	27653	13,826	36	21	295,723
08	2000	80	28889	14,444	36	20	320,978
09	2000	79	28558	14,279	34	21	313,345
10	2000	57	29964	14,982	34	20	237,215
11	2000	62	29945	14,972	35	26	257,851
12	2000	63	28755	14,377	34	26	251,598
13	2000	62	28698	14,349	34	25	247,122
14	2000	58	26541	13,270	35	25	213,794
15	2000	60	26885	13,442	35	25	224,033
16	2000	75	28868	14,434	31	16	300,708
17	2000	77	29135	14,567	30	16	311,572
18	2000	78	29633	14,816	31	16	321,013
19	2000	75	29996	14,998	32	16	312,458
20	2000	79	30052	15,026	32	17	329,373
21	2000	80	29998	14,999	29	18	333,311
22	2000	72	29986	14,993	28	18	299,860
23	2000	76	26324	13,162	28	18	277,864
24	2000	68	29985	14,992	28	18	283,182
25	2000	63	30123	15,061	28	19	263,568

Tabela 3 - Experimento 1 - Diesel S1800 - 180m³/h



Gráfico 5 - Experimento 1 - Diesel S1800 - Pulsos em função da vazão média

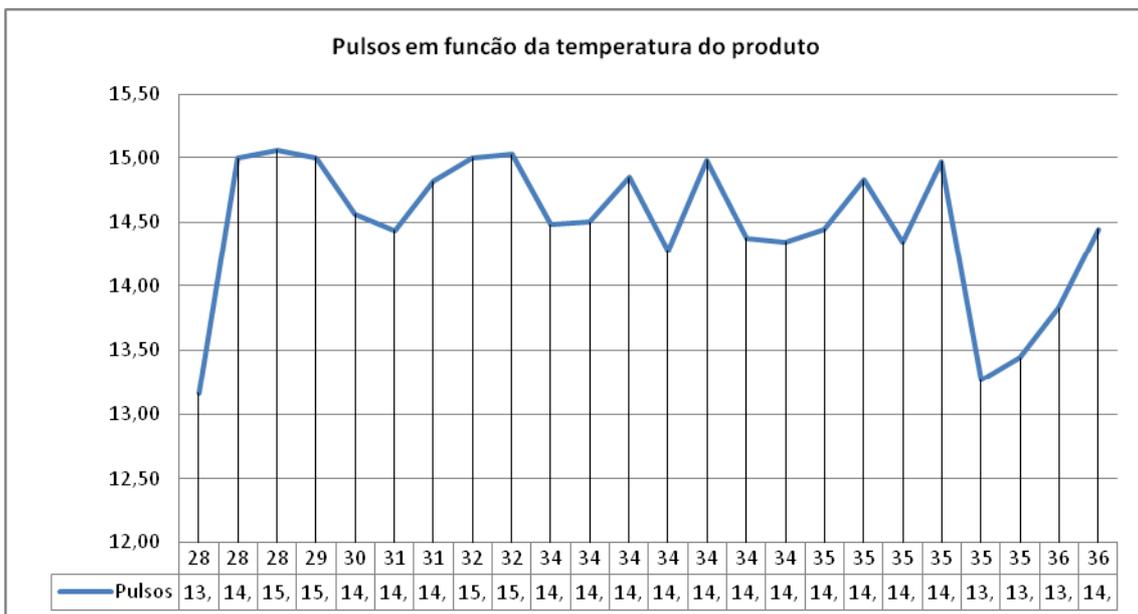


Gráfico 6 - Experimento 1 - Diesel S1800 - Pulsos em função da temperatura do produto

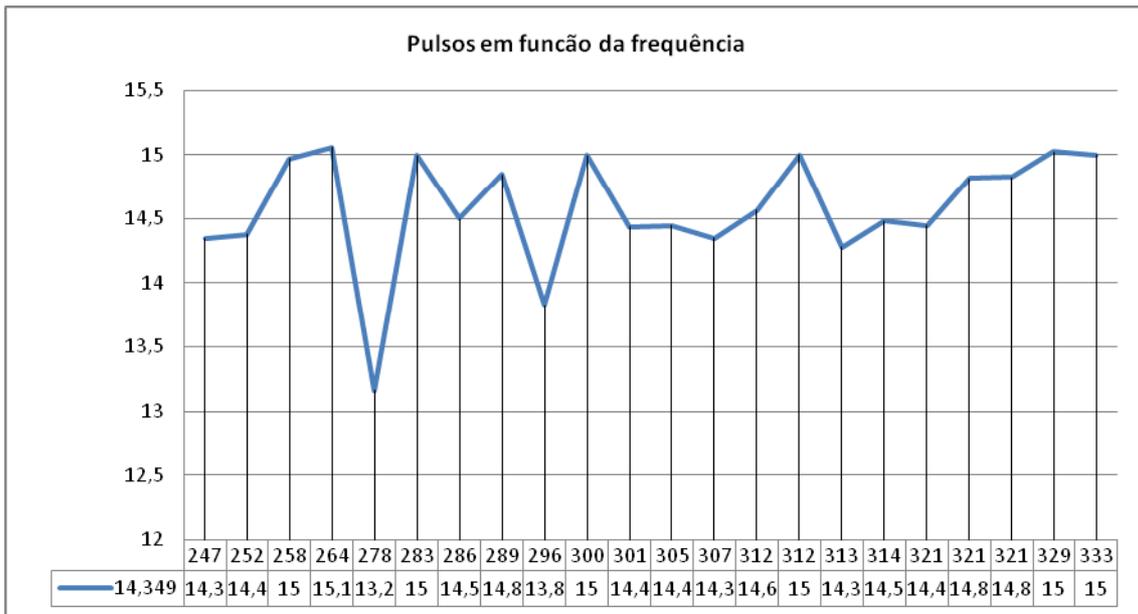


Gráfico 7 - Experimento 1 - Diesel S1800 - Pulsos em função da frequência

10.1.3 Experimento utilizando carregamento de Alcool Hidratado – 120m³/h

Índice	Valor carregado 	Vazão Média m ³ /h	Pulsos totalizados	Pulsos por litro	Temperatura do produto °C	Temperatura ambiente °C	Frequencia Hz
01	2000	79	26535	13,2675	16	21	291,147
02	2000	75	27986	13,993	16	21	291,521
03	2000	60	29658	14,829	15	21	247,150
04	2000	80	29124	14,562	15	21	323,600
05	2000	80	29376	14,688	16	21	326,400
06	2000	75	26993	13,4965	22	20	281,177
07	2000	80	26423	13,2115	21	20	293,589
08	2000	73	27856	13,928	22	20	282,429
09	2000	72	28965	14,4825	22	21	289,650
10	2000	79	27896	13,948	22	21	306,081
11	2000	80	29657	14,8285	14	20	329,522
12	2000	76	29333	14,6665	14	21	309,626
13	2000	79	27256	13,628	14	20	299,059
14	2000	80	26985	13,4925	15	21	299,833
15	2000	80	29998	14,999	15	22	333,311
16	2000	78	28896	14,448	15	28	313,040
17	2000	75	27125	13,5625	15	28	282,552
18	2000	70	27568	13,784	16	27	268,022
19	2000	72	28856	14,428	16	28	288,560
20	2000	78	28422	14,211	16	27	307,905
21	2000	70	29996	14,998	18	16	291,628
22	2000	65	28347	14,1735	18	17	255,910
23	2000	63	26987	13,4935	18	17	236,136
24	2000	70	26589	13,2945	17	16	258,504
25	2000	76	29868	14,934	18	17	315,273

Tabela 4 - Experimento 1 - Álcool Hidratado - 120m³/h

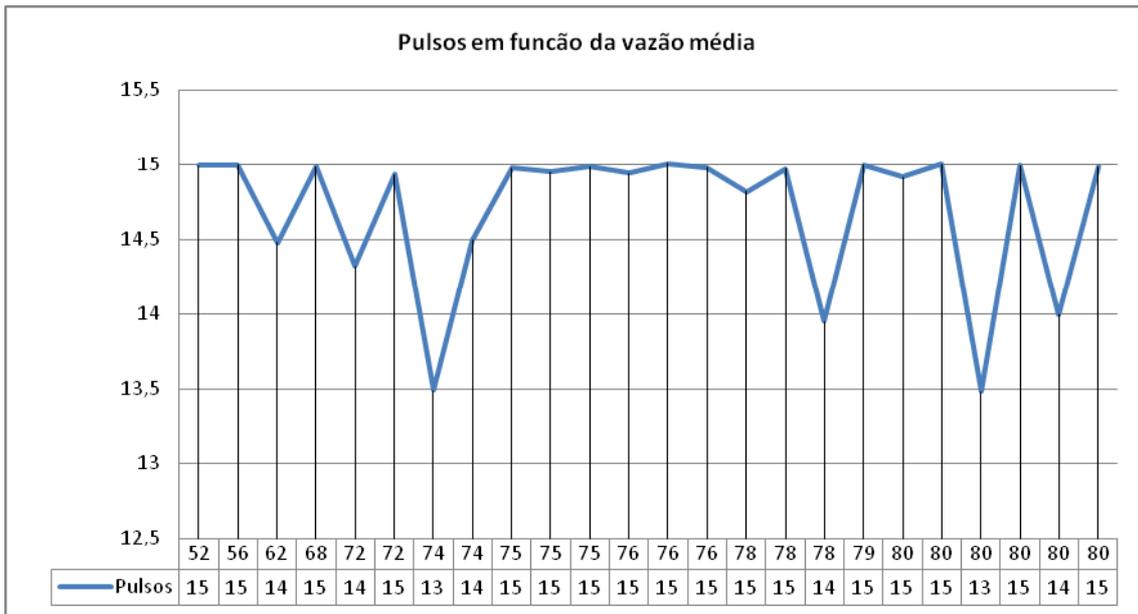


Gráfico 8 - Experimento 1 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da vazão média

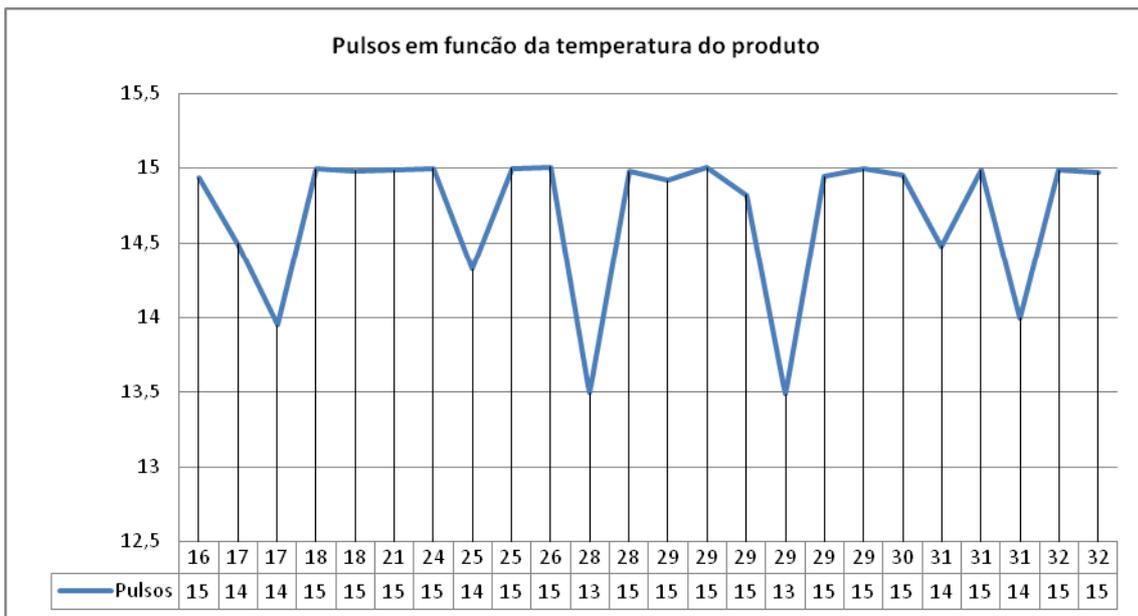


Gráfico 9 - Experimento 1 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da temperatura do produto

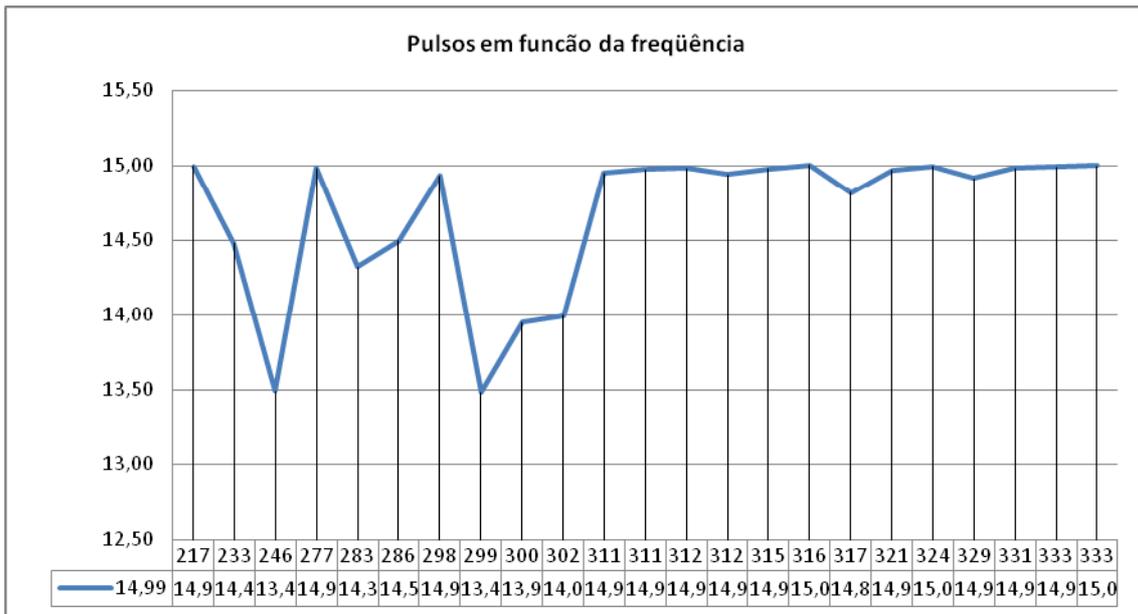


Gráfico 10 - Experimento 1 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da frequência

10.1.4 Experimento utilizando carregamento de Alcool Anidro – 90m³/h

Índice	Valor carregado 	Vazão Média m ³ /h	Pulsos totalizados	Pulsos por litro	Temperatura do produto °C	Temperatura ambiente °C	Frequencia Hz
01	2000	65	29856	14,928	20	18	269,533
02	2000	62	29866	14,933	20	18	257,179
03	2000	68	26489	13,244	20	17	250,164
04	2000	60	29896	14,948	21	18	249,133
05	2000	69	29862	14,931	20	18	286,177
06	2000	65	28745	14,372	21	23	259,494
07	2000	60	27888	13,944	20	22	232,400
08	2000	58	29774	14,887	20	22	239,846
09	2000	71	29332	14,666	20	22	289,246
10	2000	70	26124	13,062	19	22	253,983
11	2000	58	29998	14,999	19	23	241,650
12	2000	60	26387	13,193	19	23	219,883
13	2000	67	26985	13,492	20	23	251,101
14	2000	63	29988	14,994	20	23	262,395
15	2000	64	29999	14,999	20	23	266,648
16	2000	68	29968	14,984	21	18	283,031
17	2000	65	29914	14,957	19	18	270,056
18	2000	72	29745	14,872	19	17	297,440
19	2000	70	29632	14,816	19	17	288,088
20	2000	68	28422	14,211	19	17	268,430
21	2000	73	26347	13,173	19	17	267,119
22	2000	69	26398	13,199	19	17	252,980
23	2000	78	29873	14,936	18	17	323,613
24	2000	65	29254	14,627	18	18	264,098
25	2000	67	29478	14,739	18	18	274,309

Tabela 5 - Experimento 1 - Álcool Anidro - 90m³/h

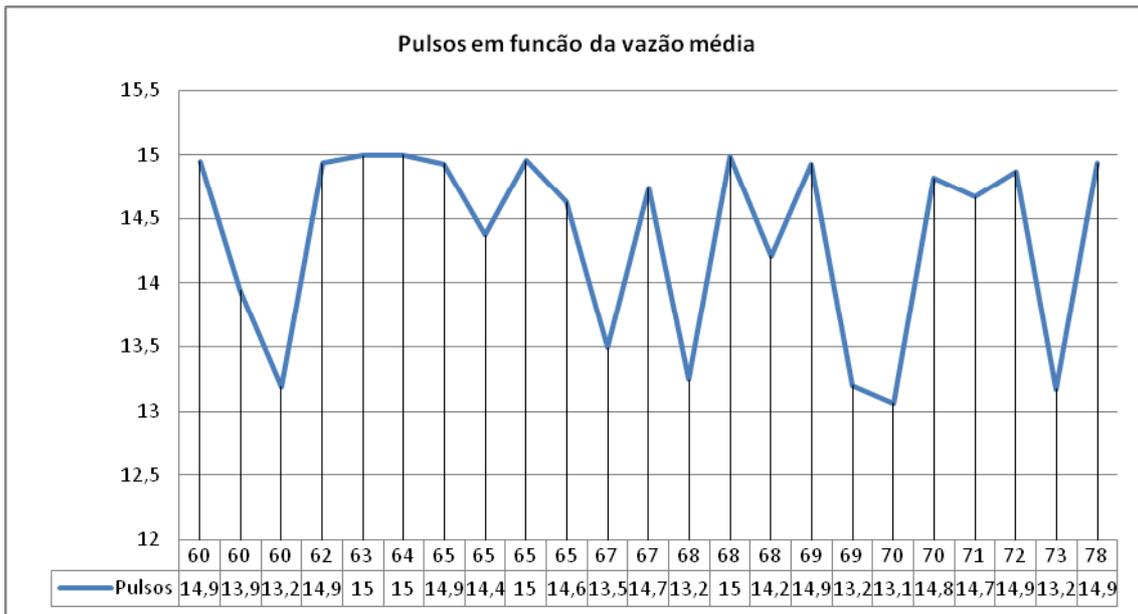


Gráfico 11- Experimento 1 - Álcool Anidro - Pulsos em função da vazão média

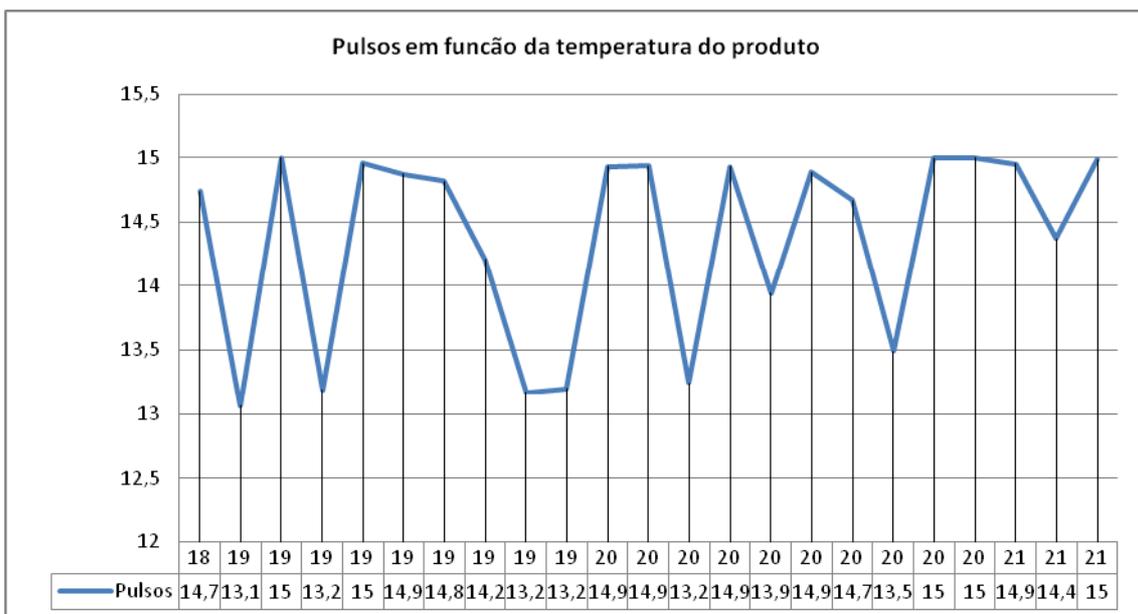


Gráfico 12 - Experimento 1 - Álcool Anidro - Pulsos em função da temperatura do produto

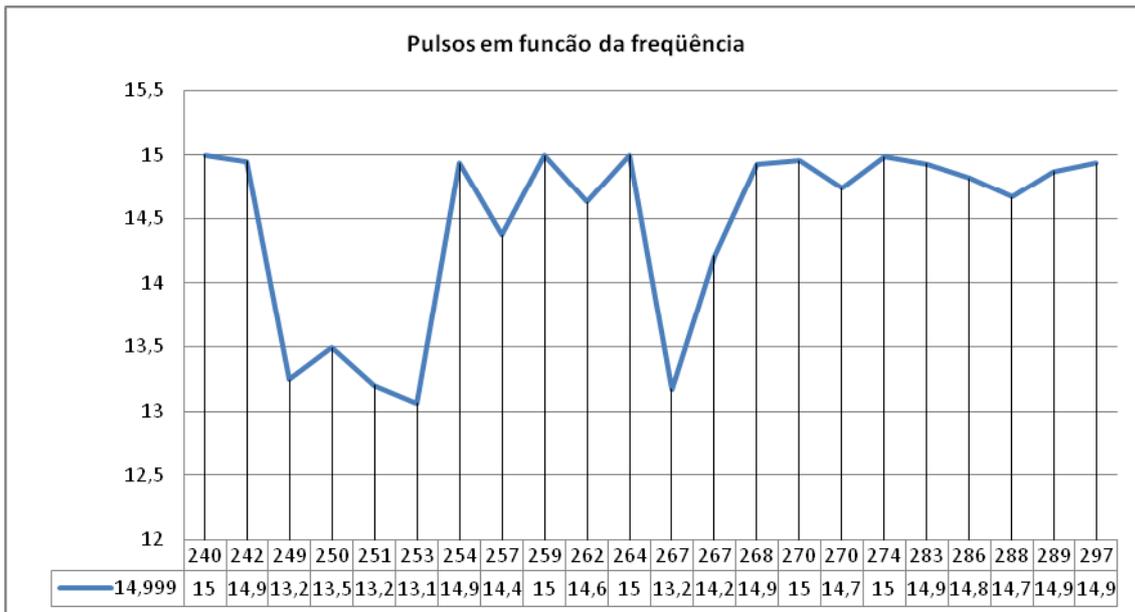


Gráfico 13 - Experimento 1 - Álcool Anidro - Pulsos em função da frequência

Analisando as tabelas e gráficos do experimento 1, é possível observar, a ausência de co-relação entre os pulsos em função da vazão média, em função da temperatura do produto e em função da frequência submetida, conclui-se que as turbinas utilizadas no experimento, independentemente das suas condições laboratoriais de aferição, em campo, no processo propriamente dito, não enviam a mesma quantidade de pulsos por litro para o pré-determinador, fazendo com que a leitura de tal grandeza seja incerta e por consequência a totalização do produto tem um erro maior do que o erro objetivo.

5 - Como funciona a válvula de duplo estágio?

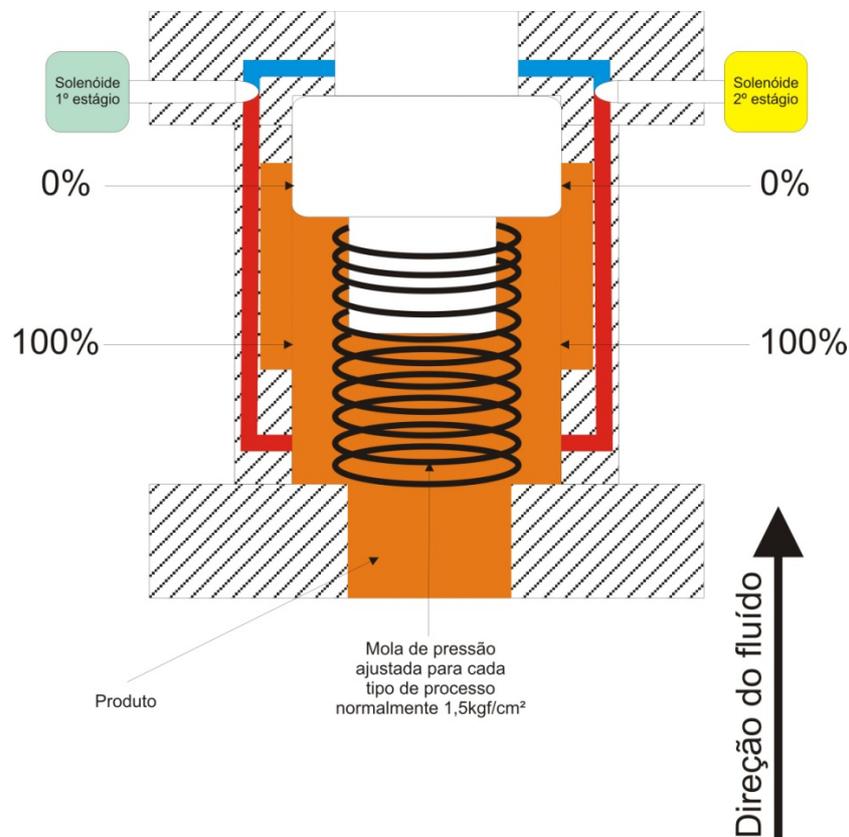


Figura 22 - Válvula solenóide em posição estanque

A válvula de duplo estágio é baseada em uma operação muito simples de trabalho de compensação entre a pressão amontante e pressão ajustante. Composta por um corpo normalmente de aço carbono com tamanhos que variam comumente entre 2" e 4", são mais facilmente encontradas com conexão flangeada.

A mesma possui um pistão com uma mola configurada para uma pressão normalmente de $1,5\text{kgf/cm}^2$. Para autorizar a passagem de produto pelos canais são utilizados dois solenóides que podem apresentar bobinas com tensão em 24Vcc, 110Vca ou 220Vca, e estas são de estado normalmente fechado.

Os solenóides quando estão interrompendo o canal para transmissão da pressão do lado amontante para o lado ajustante, utilizam a força da mola para manter o pistão em posição estanque.

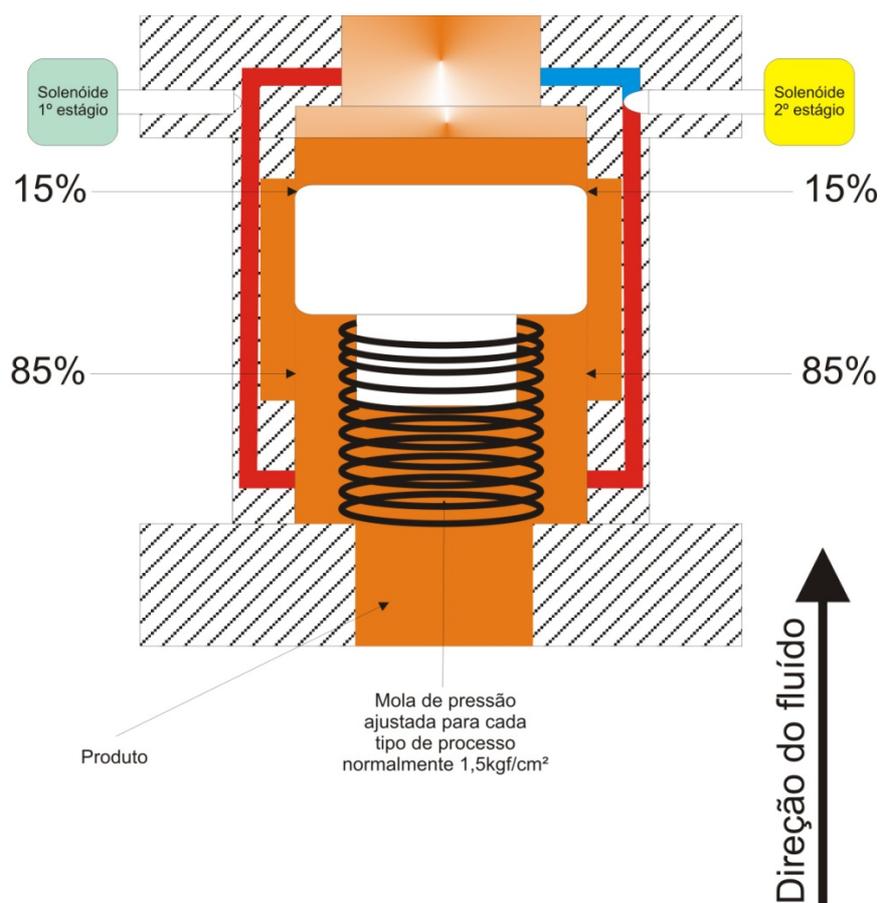


Figura 23 - Válvula solenóide com o primeiro estágio atuado

Quando o solenóide do 1º estágio é acionado, o mesmo libera o primeiro canal para transmissão do próprio produto que está na linha para transferir um pouco da pressão amontante para o lado ajustante, de forma suficientemente calculada, causando a compressão da mola e descendo o pistão o suficiente para liberar uma pequena proporção da vazão. A abertura, somente do primeiro estágio da válvula é comumente chamada de “Baixa”.

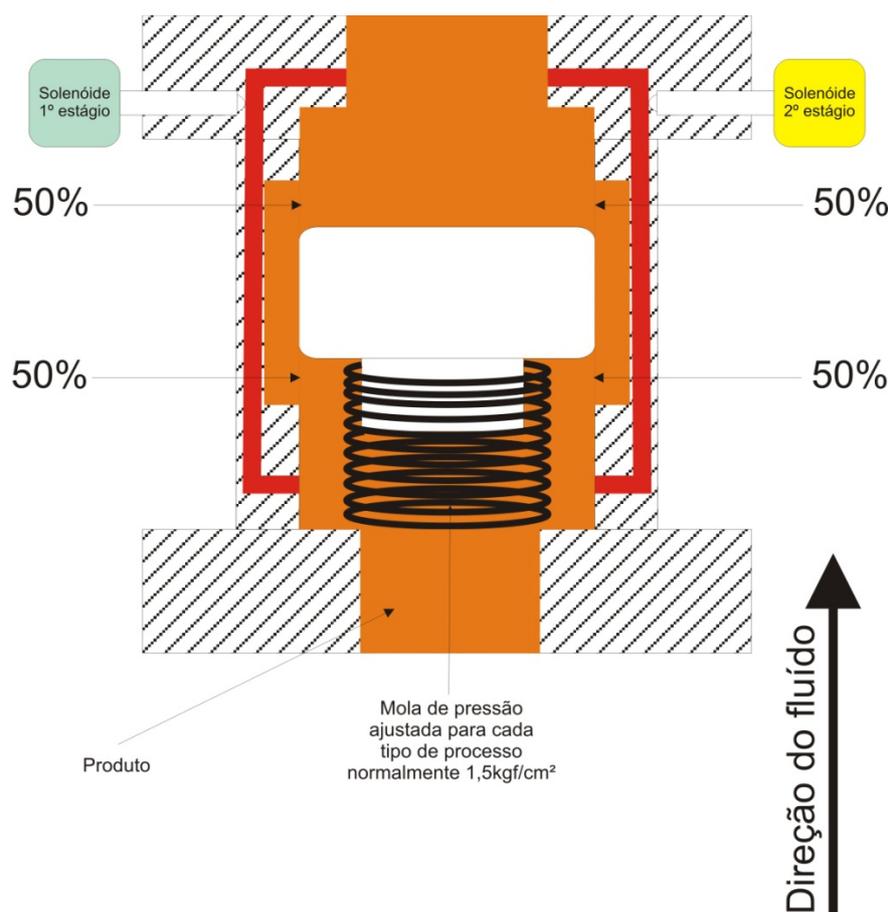


Figura 24 - Válvula solenóide com o segundo estágio atuado

Quando o solenóide do 2º estágio é acionado, o mesmo libera o segundo canal para transmissão do próprio produto que está na linha para transferir uma proporção maior da pressão amontante para o lado ajustante, de forma suficientemente calculada, causando a compressão ainda maior da mola e descendo o pistão o suficiente para liberar a vazão nominal da válvula. A abertura dos dois estágios da válvula é comumente chamada de “Alta”.

6 - O pré-determinador consegue identificar, se a válvula obedeceu ao comando de abertura ou fechamento?

Obsevando o funcionamento da válvula duplo estágio apresentado, apenas falta tomar o conhecimento de que para o solenóide ser acionado é necessário que o pré-determinador libere a tensão necessária para excitar a bobina de cada um dos solenóides. O único contato que o pré-determinador tem com a válvula é este, porém, se a pressão amontante é suficiente para a compensação que a válvula precisa para tensionar a pressão, se o pistão não está travado por algum motivo com sólidos suspensos ou até mesmo se o pistão realmente acionou quando a tensão foi enviada para a bobina, não é possível identificar, pois não existe nenhum sinal de saída ou indicador externo que mostra a atuação.

10.1.5 Conclusão do Experimento 1

O sistema analisado em teoria é um sistema simples e funcional, porém no que se compete a confiabilidade existem alguns pontos que devem ser observados, sendo eles:

- a) Variação no valor do pulso da turbina, gerando leitura inconsistente do volume;
- b) Confiabilidade reduzida no funcionamento da válvula pelo seu nível de dependência ao processo;
- c) Confiabilidade no comando de atuação da válvula em virtude da falta de monitoramento de estado da mesma;
- d) Alta susceptibilidade de falha no que se refere a manutenção preventiva do processo, em questão dos elementos filtrantes e outras possibilidades de sólidos suspensos.
- e) A pressão amontante e ajustante variam de acordo com as condições do processo, fazendo com que a válvula de duplo estágio se comporte de maneiras variáveis em determinadas condições.
- f) O princípio de funcionamento da turbina, na ocorrência de ar na linha, o rotor seria igualmente acionado causando uma leitura falsa do processo.

Observando essas considerações, torna-se necessário identificar um sistema onde:

- a) O transmissor de vazão garanta uma quantidade de pulsos por litro ou vazão instantânea, de forma constante e linear;
- b) Válvula de controle que tenha o seu princípio de funcionamento independente das variáveis do processo, principalmente sobre a questão da pressão amontante e ajustante do processo e suas variações;
- c) Válvula de controle que permita o monitoramento do seu estado de forma visual e eletrônica para permitir a tomada de decisão do sistema em caso de necessidade de controle ou

emergência, ou até mesmo, para monitoramento do status do processo para arquivamento em determinada janela de tempo.

d) Transmissor de vazão e válvula menos suscetíveis as possíveis faltas de manutenção preventiva do processo no que se refere a elementos filtrantes;

e) Utilizar um transmissor de vazão que possua alguma tolerância a presença de ar na tubulação.

10.2 Experimento 2 – Busca por pulsos ou vazão instantânea linear

O sistema utilizado para o experimento 2 foi o sistema SCB (Sistema de Carregamento Beta), onde o transmissor de vazão utilizado foi do tipo Ultra-sônico, e esse experimento tem por principal objetivo identificar se este tipo de transmissor de vazão tem a capacidade de fornecer uma linearidade confiável na correlação pulsos/litro.

O sistema de carregamento SCB é uma evolução do sistema SCA, onde a única alteração foi a substituição do transmissor de vazão tipo turbina pelo transmissor de vazão ultrassônico, permanecendo a mesma lógica utilizada no sistema SCA. A nova característica mecânica do processo ficou conforme as figuras que seguem:

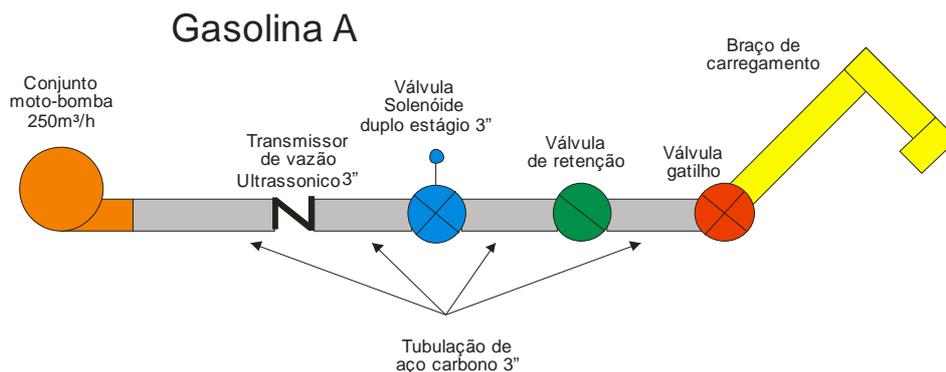


Figura 25 - Esquema mecânico do sistema Beta utilizado com Gasolina "A"

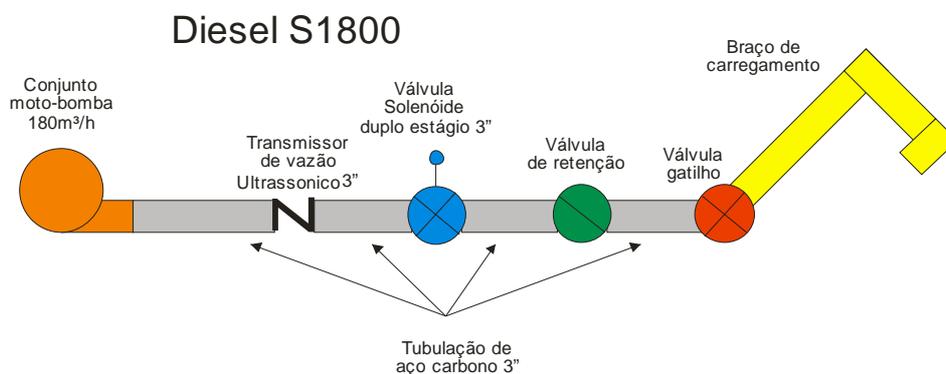


Figura 26 - Esquema mecânico do sistema Beta utilizado com Diesel S1800

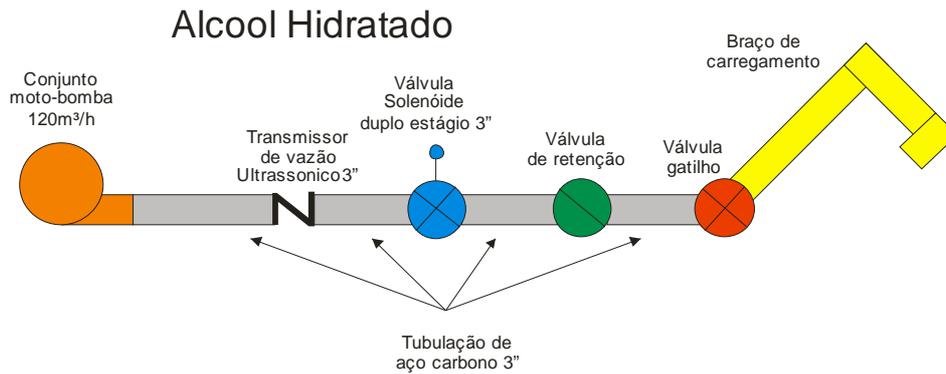


Figura 27 - Esquema mecânico do sistema Beta utilizado com Álcool Hidratado

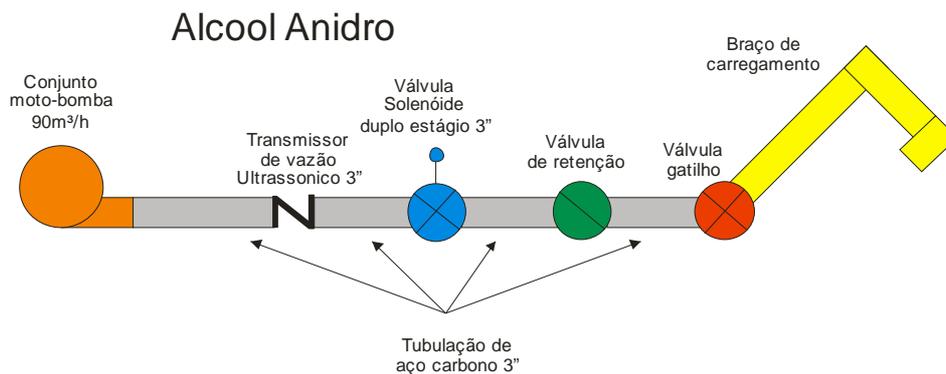


Figura 28 - Esquema mecânico do sistema Beta utilizado com Álcool Anidro

Foi utilizado no exeperimento 2, uma medida padrão de 2000litros devidamente calibrada e, ainda foram monitoradas as temperaturas ambiente e do produto. Os elementos filtrantes, foram utilizados os comuns do processo no *mesh* (capacidade de filtragem do filtro) pré determinado para cada tipo de produto e tambanho de linha de distribuição, para criar o ambiente mais real possível.

O procedimento do carregamento se deu com a abertura total da válvula solenóide instantaneamente e o fechamento total da válvula solenóide instantaneamente, onde o volume faltante ou que sobrou era completado ou retirado com pipeta calibrada e seu volume era descontado ou acrescentado ao cálculo para sempre ter o volume de exatos 2000 litros.

A bomba somente foi ligada após a abertura da total válvula.

Os cabos utilizados para a transmissão dos pulsos da turbinas foram cabos independentes especialmente utilizados para os experimentos utilizando par de condutores trançados de 1,5mm e *shield*.

1 – Como funciona o transmissor de vazão ultra-sônico?

O transmissor de vazão ultra-sônico do tipo tempo de trânsito utilizado no experimento, funciona basicamente entre dois transdutores onde o primeiro envia um pulso em direção do segundo transdutor e este assim que recebe o pulso grava o tempo de chegada, então o segundo transdutor envia um pulso em direção do primeiro transdutor e este assim que recebe o pulso grava o tempo de chegada. A diferença entre os dois tempos medidos provê informação do movimento do fluido dentro da tubulação. A equação para o calculo da Velocidade da vazão em área média (V_{avg}) se dá:

$$V_{AVG} = KV_{Path} = \frac{Kc^2 * (t_u - t_d)}{2L}$$

Equação 8 - Cálculo da velocidade da vazão em área média do transmissor de vazão ultra-sônico

Onde:

V_{path} = velocidade média da vazão ao longo do caminho do pulso ultra-sônico (com V_{path} assumindo um valor muito inferior a c)

c = é a velocidade do som no fluido

t_u = tempo de trânsito upstream (do transdutor 1 para o 2)

t_d = tempo de trânsito downstream (do transdutor 2 para o 1)

L = é a projeção axial do caminho da onda ultrassonica no fluido

K = Fator de calibração do medidor

Para esta equação ser válida no transmissor em questão o valor de $V_{path} \ll c$. Para a maioria dos fluídos principalmente os combustíveis em questão a velocidade do som no fluído é entre 1000m/s e 1600m/s e o valor de V_{path} é tipicamente $<10\text{m/s}$.

Em um primeiro momento o fator K pode parecer um inocente fator de calibração mas na verdade pode ser o fator de maior importância na equação. Esse fator de correção irá depender do caminho percorrido pelo fluxo do fluído, pelo número de Reynolds e pela rugosidade relativa do trecho. O fator K existe para diminuir os efeitos da dependência do número de Reynolds e dos efeitos de instalação como os cotovelos, os “T’s”, as válvulas e principalmente um grupo extremamente fundamental chamado “Barulho”. Este grupo pode ser subdividido em 4 categorias sendo elas:

Estacionário – quanto ao barulho em torno da tubulação.

Incoerente – gerado pela turbulência do fluído.

Acústico – barulho gerado pela válvula ou outro elemento mecânico do processo.

Randômico – causado por surtos elétricos.

2 – Qual a característica do pulso do transmissor de vazão ultra-sônico?

Uma vez que o volume é adquirido através de leituras de grandezas físicas constantes ou pouco variantes sem a intervenção de peças mecânicas, um circuito que controla a modulação dos semi condutores torna confiável e simples a tarefa, possibilitando ainda configurar no equipamento a quantidade de pulsos por litro desejado e ainda o comprimento do pulso.

As planilhas abaixo demonstram os resultados dos testes:

10.2.1 Experimento utilizando carregamento de Gasolina A – 250m³/h

ID	Valor carregado	Vazão média m ³ /h	Pulso/ Config.	Largura pulso ms	Pulsos totalizados	Pulso/ lido	Temp. do produto	Temp. ambiente	Frequencia HZ
01	2000	141	10	1	20002	10,001	31	22	391,705
02	2000	126	10	1	20000	10	31	22	350,000
03	2000	128	10	1	20000	10	31	22	355,555
04	2000	162	10	1	20000	10	30	21	450,000
05	2000	146	10	1	20000	10	30	21	405,555
06	2000	152	10	1	20000	10	25	16	422,222
07	2000	168	10	1	20000	10	25	16	466,660
08	2000	175	10	1	20000	10	24	23	486,111
09	2000	156	10	1	20001	10,0005	24	23	433,355
10	2000	179	10	1	20000	10	28	14	497,222
11	2000	123	10	1	20003	10,0015	28	14	341,717
12	2000	128	10	1	20000	10	28	14	355,555
13	2000	151	10	1	20000	10	28	14	419,444
14	2000	150	10	1	20000	10	28	14	416,666
15	2000	122	10	1	20000	10	28	16	338,888
16	2000	144	10	1	20000	10	21	18	400,000
17	2000	146	10	1	20000	10	21	18	405,555
18	2000	144	10	1	20000	10	21	19	400,000
19	2000	150	10	1	20002	10,001	21	19	416,708
20	2000	141	10	1	20000	10	32	21	391,666
21	2000	141	10	1	20004	10,002	32	21	391,745
22	2000	124	10	1	20004	10,002	32	22	344,513
23	2000	143	10	1	20004	10,002	32	22	397,301
24	2000	144	10	1	20004	10,002	32	23	400,080
25	2000	165	10	1	20000	10	32	22	458,333

Tabela 6 - Experimento 2 - Gasolina A - 250m³/h

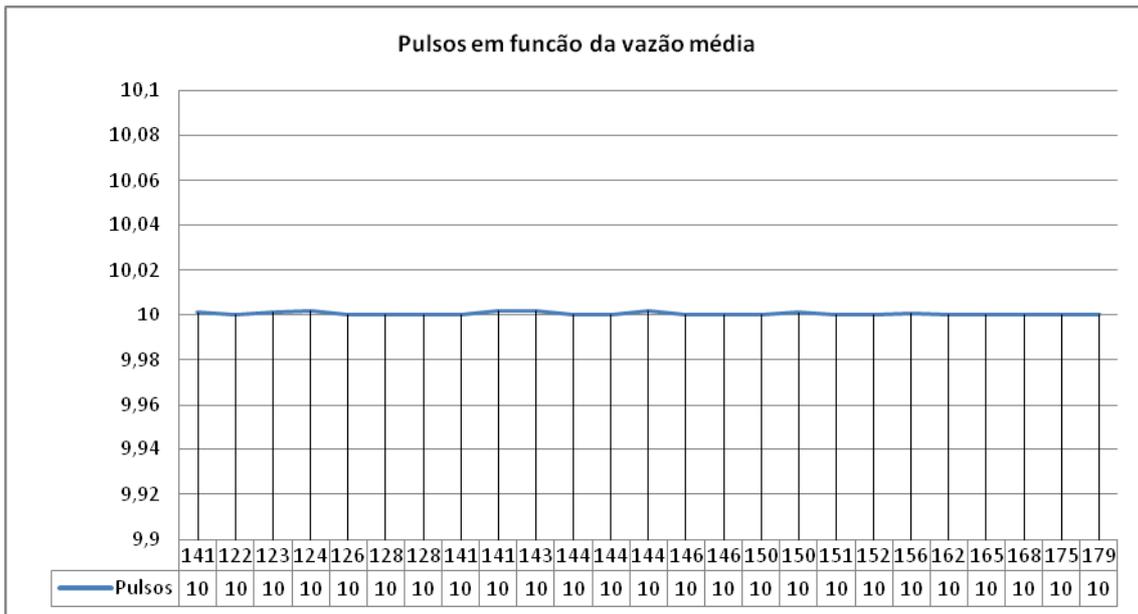


Gráfico 14 - Experimento 2 - Gasolina A - Pulsos em função da vazão média

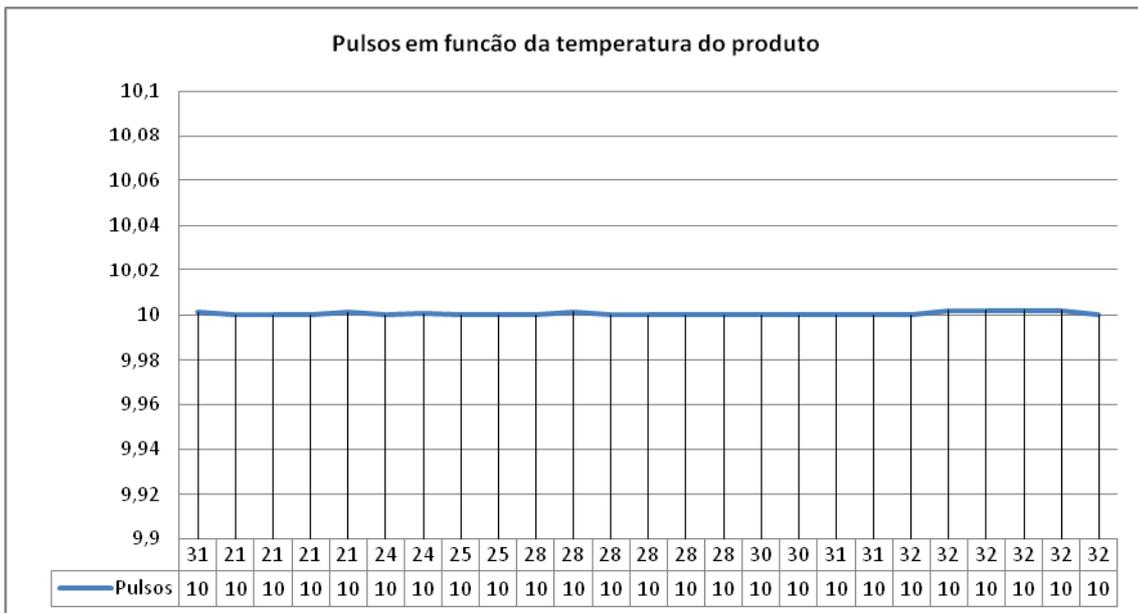


Gráfico 15 - Experimento 2 - Gasolina A - Pulsos em função da temperatura do produto

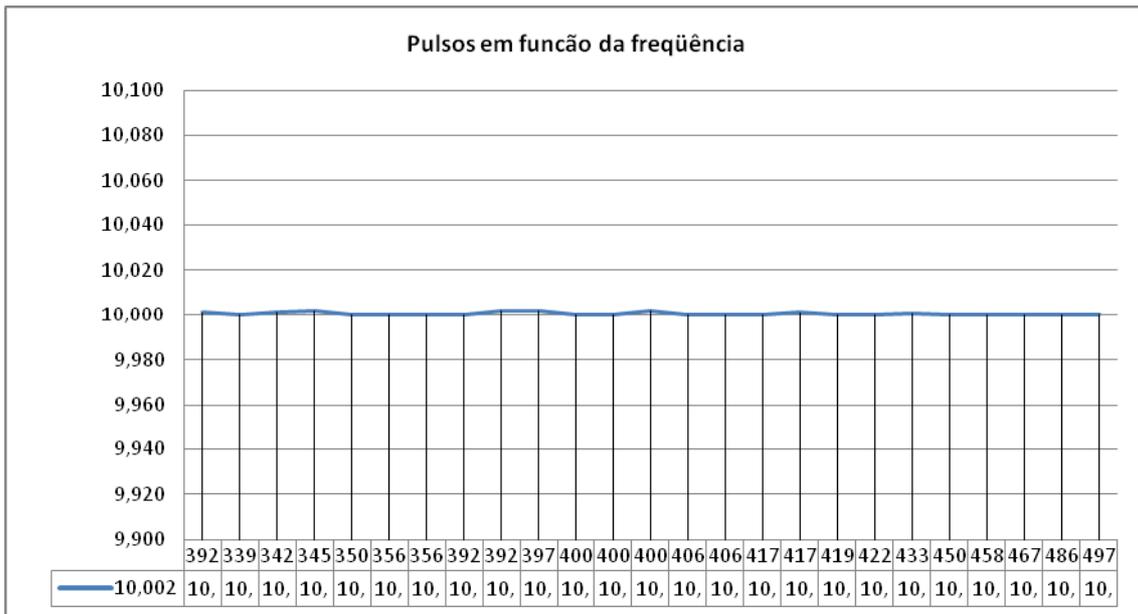


Gráfico 16 - Experimento 2 - Gasolina A - Pulsos em função da frequência

10.2.2 Experimento utilizando carregamento de Diesel S1800 – 180m³/h

ID	Valor carregado	Vazão média m ³ /h	Pulso/ Config.	Largura pulso ms	Pulsos totalizados	Pulso/ lido	Temp. do produto	Temp. ambiente	Frequencia HZ
01	2000	142	10	1	20000	10	34	20	
02	2000	140	10	1	20000	10	34	20	
03	2000	141	10	1	20000	10	33	21	
04	2000	123	10	1	20001	10,0005	34	20	
05	2000	140	10	1	20000	10	33	21	
06	2000	136	10	1	20000	10	33	20	
07	2000	133	10	1	20002	10,001	26	18	
08	2000	130	10	1	20000	10	26	18	
09	2000	130	10	1	20000	10	26	17	
10	2000	115	10	1	20000	10	22	18	
11	2000	110	10	1	20000	10	22	16	
12	2000	98	10	1	20000	10	22	16	
13	2000	135	10	1	20001	10,0005	31	15	
14	2000	140	10	1	20004	10,002	31	15	
15	2000	141	10	1	20000	10	30	15	
16	2000	140	10	1	20000	10	28	14	
17	2000	143	10	1	20001	10,0005	29	22	
18	2000	135	10	1	20002	10,001	29	21	
19	2000	136	10	1	20000	10	28	24	
20	2000	130	10	1	20000	10	21	19	
21	2000	124	10	1	20000	10	20	19	
22	2000	136	10	1	20002	10,001	20	18	
23	2000	141	10	1	20002	10,001	28	21	
24	2000	140	10	1	20001	10,0005	28	21	
25	2000	139	10	1	20002	10,001	28	20	

Tabela 7 - Experimento 2 - Diesel S1800 - 180m³/h

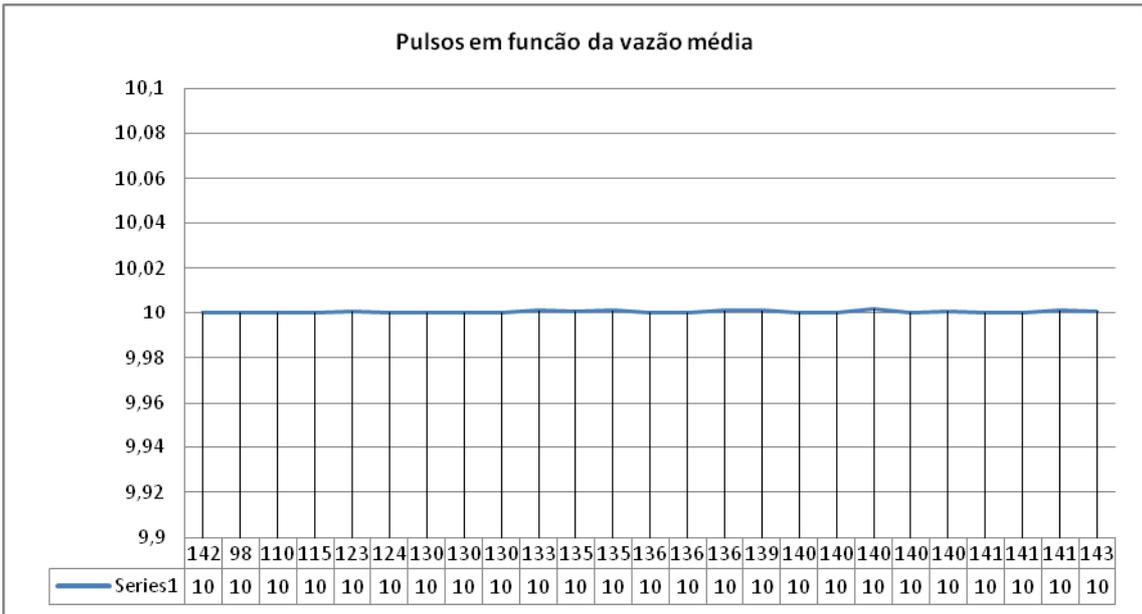


Gráfico 17 - Experimento 2 - Diesel S1800 - Pulsos em função da vazão média

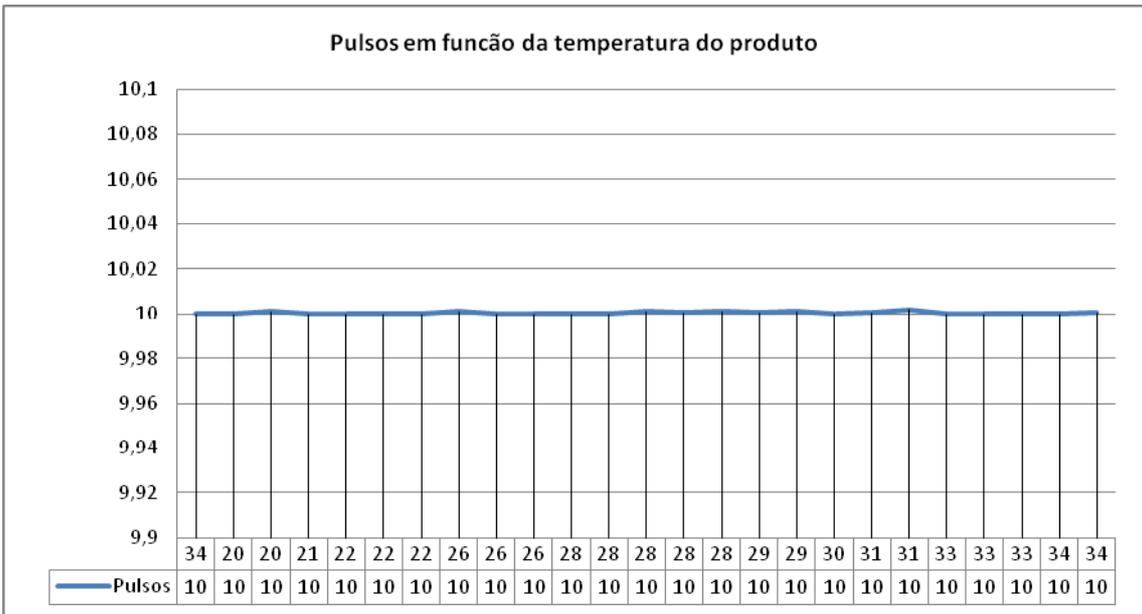


Gráfico 18 - Experimento 2 - Diesel S1800 - Pulsos em função da temperatura do produto

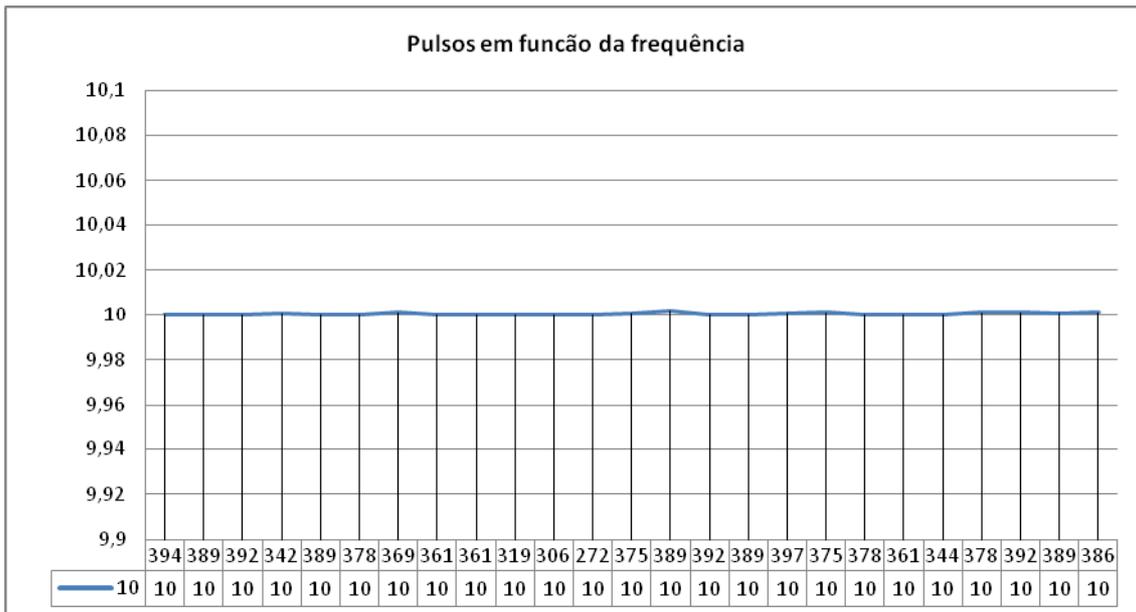


Gráfico 19 - Experimento 2 - Diesel S1800 - Pulsos em função da frequência

10.2.3 Experimento utilizando carregamento de Alcool Hidratado – 120m³/h

ID	Valor carregado	Vazão média m ³ /h	Pulso/ Config.	Largura pulso ms	Pulsos totalizados	Pulso/ lido	Temp. do produto	Temp. ambiente	Frequencia HZ
01	2000	111	10	1	20000	10	18	20	308,333
02	2000	105	10	1	20001	10,0005	18	21	291,681
03	2000	106	10	1	20000	10	16	21	294,444
04	2000	106	10	1	20000	10	16	21	294,444
05	2000	105	10	1	20000	10	12	16	291,666
06	2000	108	10	1	20000	10	12	16	300,000
07	2000	110	10	1	20000	10	12	16	305,555
08	2000	102	10	1	20001	10,0005	12	15	283,347
09	2000	98	10	1	20002	10,001	16	18	272,249
10	2000	98	10	1	20000	10	16	18	272,222
11	2000	103	10	1	20000	10	16	20	286,111
12	2000	112	10	1	20000	10	16	19	311,111
13	2000	110	10	1	20000	10	14	16	305,555
14	2000	105	10	1	20000	10	14	16	291,666
15	2000	114	10	1	20000	10	14	12	316,666
16	2000	102	10	1	20000	10	18	12	283,333
17	2000	100	10	1	20000	10	18	18	277,777
18	2000	102	10	1	20000	10	18	19	283,333
19	2000	102	10	1	20000	10	19	20	283,333
20	2000	101	10	1	20000	10	18	20	280,555
21	2000	104	10	1	20000	10	19	21	288,888
22	2000	104	10	1	20000	10	18	22	288,888
23	2000	105	10	1	20000	10	17	22	291,666
24	2000	104	10	1	20001	10,0005	15	18	288,903
25	2000	108	10	1	20000	10	15	18	300,000

Tabela 8 - Experimento 2 - Álcool Hidratado - 120m³/h



Gráfico 20 - Experimento 2 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da vazão média

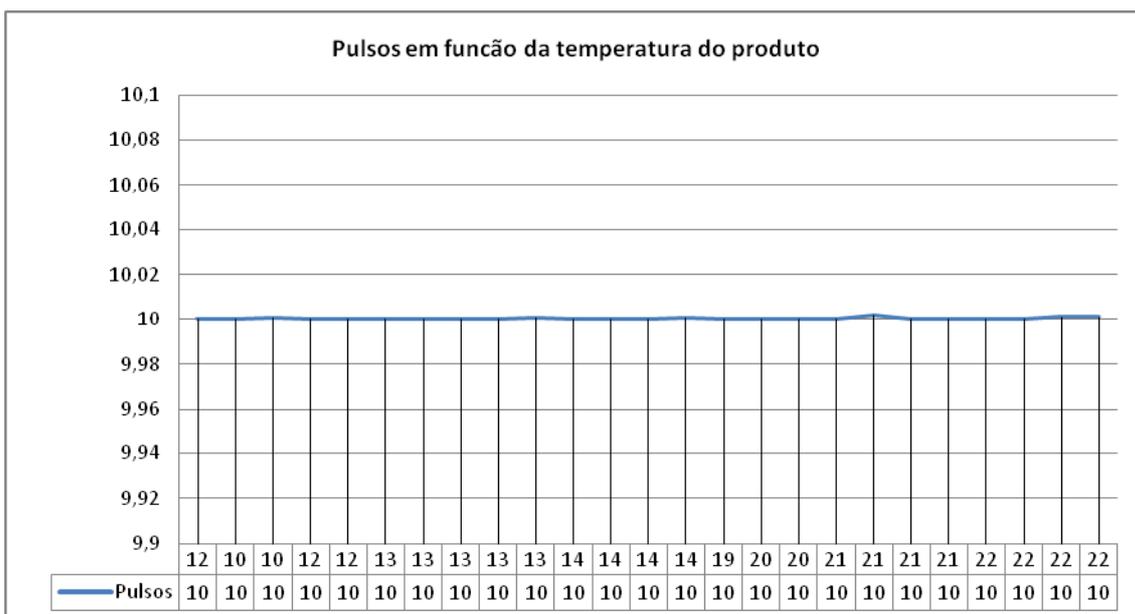


Gráfico 21 - - Experimento 2 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da temperatura do produto

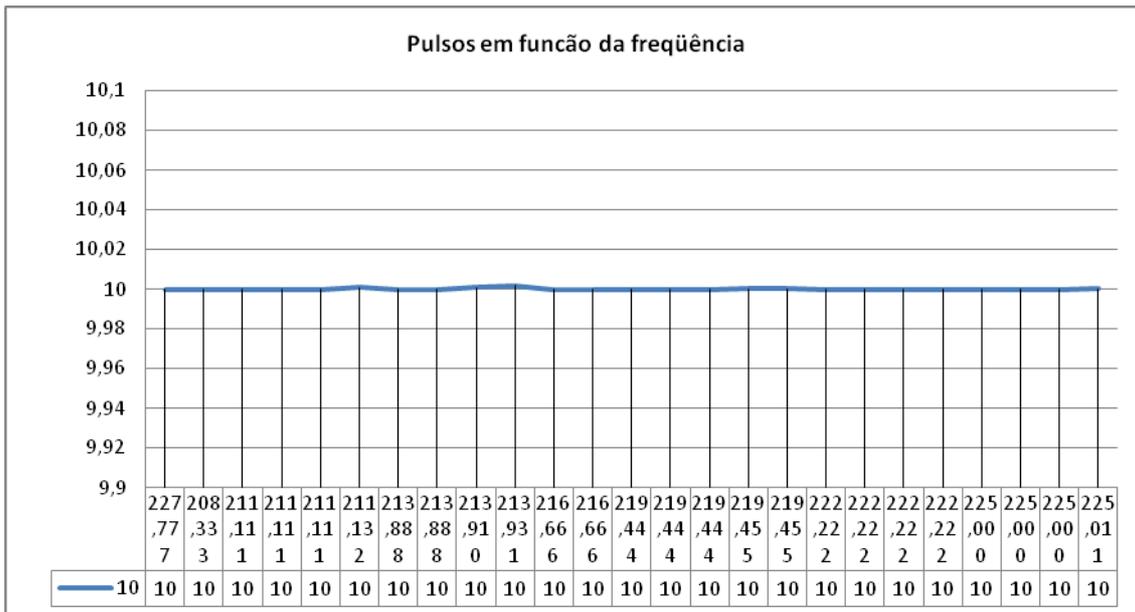


Gráfico 22 - Experimento 2 - Álcool Hidratado - Pulsos em função da frequência

10.2.4 Experimento utilizando carregamento de Alcool Anidro – 90m³/h

ID	Valor carregado	Vazão média m ³ /h	Pulso/ Config.	Largura pulso ms	Pulsos totalizados	Pulso/ lido	Temp. do produto	Temp. ambiente	Frequencia HZ
01	2000	82	10	1	20000	10	12	16	227,777
02	2000	75	10	1	20000	10	12	16	208,333
03	2000	76	10	1	20000	10	13	16	211,111
04	2000	81	10	1	20000	10	13	16	225,000
05	2000	80	10	1	20000	10	13	17	222,222
06	2000	79	10	1	20000	10	13	17	219,444
07	2000	79	10	1	20001	10,001	13	18	219,455
08	2000	78	10	1	20000	10	12	18	216,666
09	2000	80	10	1	20000	10	22	24	222,222
10	2000	81	10	1	20000	10	22	25	225,000
11	2000	76	10	1	20000	10	21	25	211,111
12	2000	77	10	1	20002	10,001	22	25	213,910
13	2000	76	10	1	20002	10,001	22	22	211,132
14	2000	77	10	1	20004	10,002	21	23	213,931
15	2000	77	10	1	20000	10	21	24	213,888
16	2000	77	10	1	20000	10	21	20	213,888
17	2000	76	10	1	20000	10	20	16	211,111
18	2000	81	10	1	20000	10	20	16	225,000
19	2000	80	10	1	20000	10	19	16	222,222
20	2000	80	10	1	20000	10	14	15	222,222
21	2000	79	10	1	20000	10	14	15	219,444
22	2000	79	10	1	20000	10	14	15	219,444
23	2000	81	10	1	20001	10,001	14	9	225,011
24	2000	78	10	1	20000	10	10	9	216,666
25	2000	79	10	1	20001	10,001	10	8	219,455

Tabela 9 - Experimento 2 - Álcool Anidro - 90m³/h

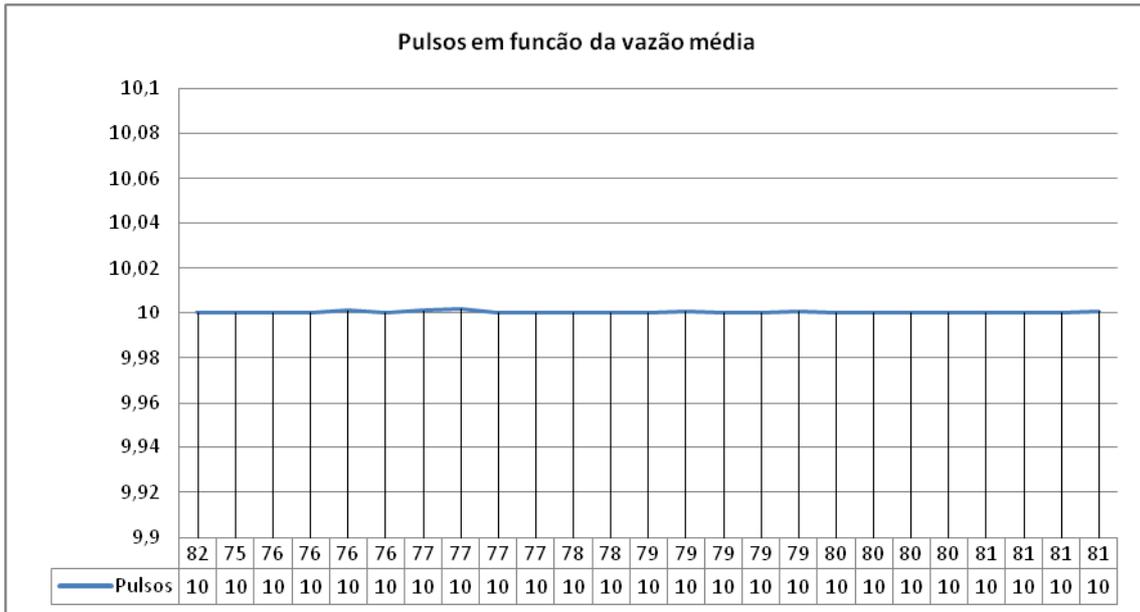


Gráfico 23 - Experimento 2 - Álcool Anidro - Pulsos em função da vazão média

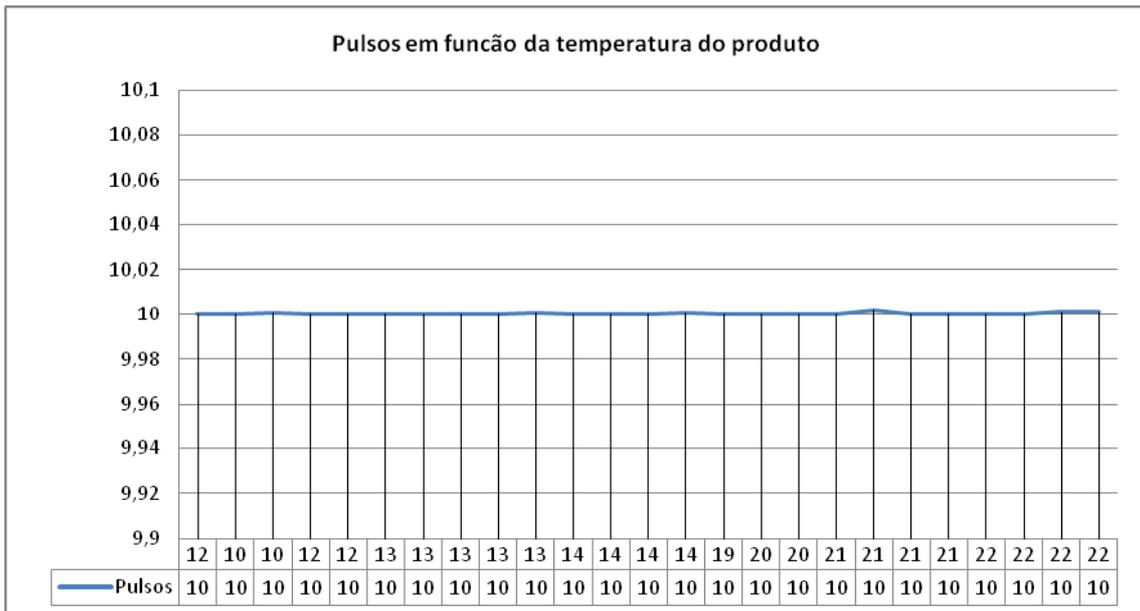


Gráfico 24 - Experimento 2 - Álcool Anidro - Pulsos em função da temperatura média do produto

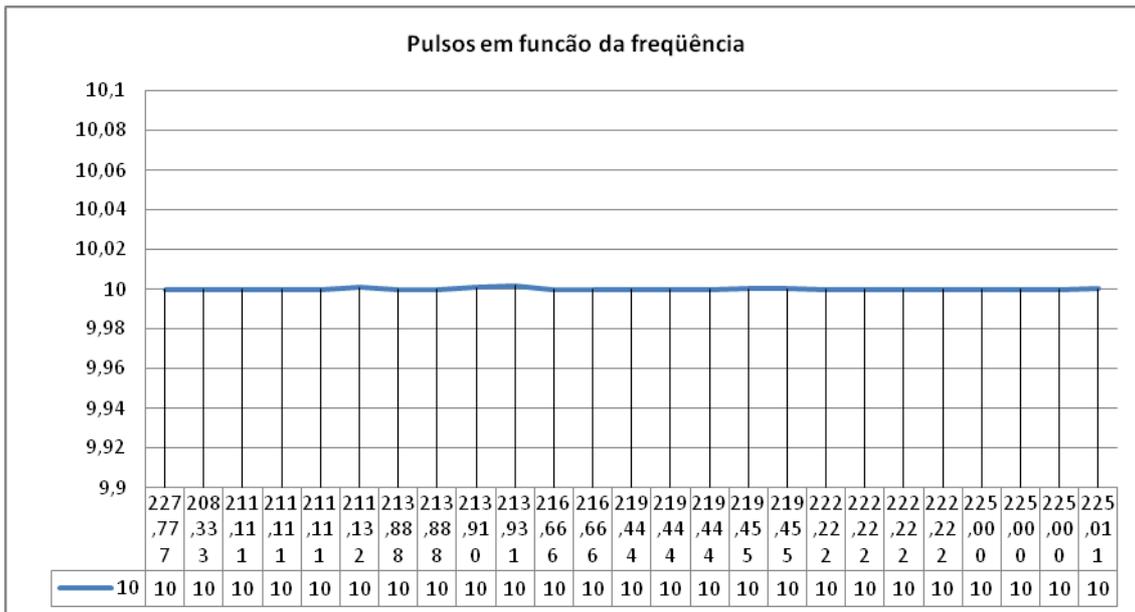


Gráfico 25 - Experimento 2 - Álcool Anidro - Pulsos em função da frequência

As tabelas e os gráficos do experimento 2, demonstram uma linearidade satisfatória na geração de pulsos por litro do transmissor de vazão ultra-sônico.

A linearidade pôde ser observada nas correlações com a temperatura, frequência e vazão, concluindo que essas variáveis não influenciaram ou influenciaram de forma irrelevante na performance do equipamento, porém, como a variação da vazão durante o carregamento dos experimentos foi muito baixa, esses, não são suficientes para concluir que uma grande variação de vazão durante o carregamento não influenciará na precisão do transmissor de vazão ultra-sônico.

A confiabilidade disponibilizada por esse transmissor no que se refere a correlação vazão-pulso, permite mapear com mais segurança outras variáveis aleatórias que possam influenciar na precisão do sistema de carregamento.

Na comparação entre o primeiro e o segundo experimento, a evolução aplicada foi a substituição do elemento primário de vazão. Utilizando a distribuição t-student unicaudal (tabelas 10 a 13) é possível concluir com 99,95% de certeza, que a evolução aplicada propiciou uma maior confiabilidade na correlação pulso por litro.

GRUPO 01 - GASOLINA A - 250m ³ /h	
Comparativo da melhora da informação de pulsos por litro	
Experimento 01	Experimento 02
pulsos por litro gerados pela turbina	pulsos por litro gerados pelo transmissor ultra-sônico
14,48	10,001
14,915	10
14,997	10
13,491	10
14,974	10
14,818	10
13,481	10
14,939	10
14,992	10,0005
14,949	10
14,476	10,0015
14,981	10
14,98	10
13,996	10
14,969	10
14,323	10
14,994	10
14,995	10
15,003	10,001
14,992	10
14,495	10,002
14,931	10,002
14,979	10,002
13,949	10,002
14,981	10
média da diferença	4,949
desvio padrão	528,186
t	5,2415
p	99,95%

Tabela 10 - Cálculo de certeza de melhora da evolução aplicada entre os experimentos 1 e 2 na gasolina "A" utilizando a distribuição t-student unicaudal

GRUPO 02 - DIESEL S1800 - 180m³/h	
Comparativo da melhora da informação de pulsos por litro	
Experimento 01	Experimento 02
pulsos por litro gerados pela turbina	pulsos por litro gerados pelo transmissor ultra-sônico
14,48	10
14,444	10
14,501	10
14,844	10,0005
14,827	10
14,348	10
13,826	10,001
14,444	10
14,279	10
14,982	10
14,972	10
14,377	10
14,349	10,0005
13,27	10,002
13,442	10
14,434	10
14,567	10,0005
14,816	10,001
14,998	10
15,026	10
14,999	10
14,993	10,001
13,162	10,001
14,992	10,0005
15,061	10,001
média da diferença	4,501
desvio padrão	491,824
t	5,214
p	99,95%

Tabela 11 - Cálculo de certeza de melhora da evolução aplicada entre o experimento 1 e 2 no Diesel S1800 utilizando a distribuição t-student unicaudal

GRUPO 03 - ALCOOL HIDRATADO - 120m³/h	
Comparativo da melhora da informação de pulsos por litro	
Experimento 01	Experimento 02
pulsos por litro gerados pela turbina	pulsos por litro gerados pelo transmissor ultra-sônico
13,2675	10
13,993	10,0005
14,829	10
14,562	10
14,688	10
13,4965	10
13,2115	10
13,928	10,0005
14,4825	10,001
13,948	10
14,8285	10
14,6665	10
13,628	10
13,4925	10
14,999	10
14,448	10
13,5625	10
13,784	10
14,428	10
14,211	10
14,998	10
14,1735	10
13,4935	10
13,2945	10,0005
14,934	10
média da diferença	4,173
desvio padrão	417,588
t	5,217
p	99,95%

Tabela 12 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 1 e 2 no Alcool Hidratado utilizando a distribuição t-student unicaudal

GRUPO 04 - ALCOOL ANIDRO - 90m ³ /h	
Comparativo da melhora da informação de pulsos por litro	
Experimento 01	Experimento 02
pulsos por litro gerados pela turbina	pulsos por litro gerados pelo transmissor ultra-sônico
14,928	10
14,933	10
13,244	10
14,948	10
14,931	10
14,372	10
13,944	10,0005
14,887	10
14,666	10
13,062	10
14,999	10
13,193	10,001
13,492	10,001
14,994	10,002
14,999	10
14,984	10
14,957	10
14,872	10
14,816	10
14,211	10
13,173	10
13,199	10
14,936	10,0005
14,627	10
14,739	10,0005
média da diferença	4,816
desvio padrão	473,35
t	5,255
p	99,95%

Tabela 13 - Cálculo de certeza de melhora da evolução aplicada entre o experimento 1 e 2 no Alcool Anidro utilizando a distribuição t-student unicaudal

10.2.5 Conclusão do Experimento 2

A proposta desse experimento era o de responder a questão “a” da conclusão do experimento 1 que era o de identificar um sistema onde:

a) O transmissor de vazão que garanta uma quantidade de pulsos por litro de forma constante e linear.

O transmissor de vazão ultra-sônico mostrou com 99,95% de certeza ser um equipamento apto a atender essa característica, porém ainda é preciso saber quais são as influências que esse transmissor irá sofrer em processo considerando as variações do fator K , como também observar outras variáveis relevantes para esse tipo de transmissor que para o transmissor antigo, a turbina, eram irrelevantes.

A linearidade da correlação pulsos por litro apresentado pelo instrumento foi satisfatória, com essa linearidade será possível observar outras variáveis aleatórias que possam influenciar no processo.

Analisando os gráficos do experimento 2, pode-se observar, porém não de forma conclusiva, que o transmissor de vazão ultra-sônico demonstrou uma melhor linearidade na geração de pulsos por litro, nos fluídos claros, o álcool anidro e o álcool hidratado, do que nos fluídos escuros, a gasolina e o diesel S1800.

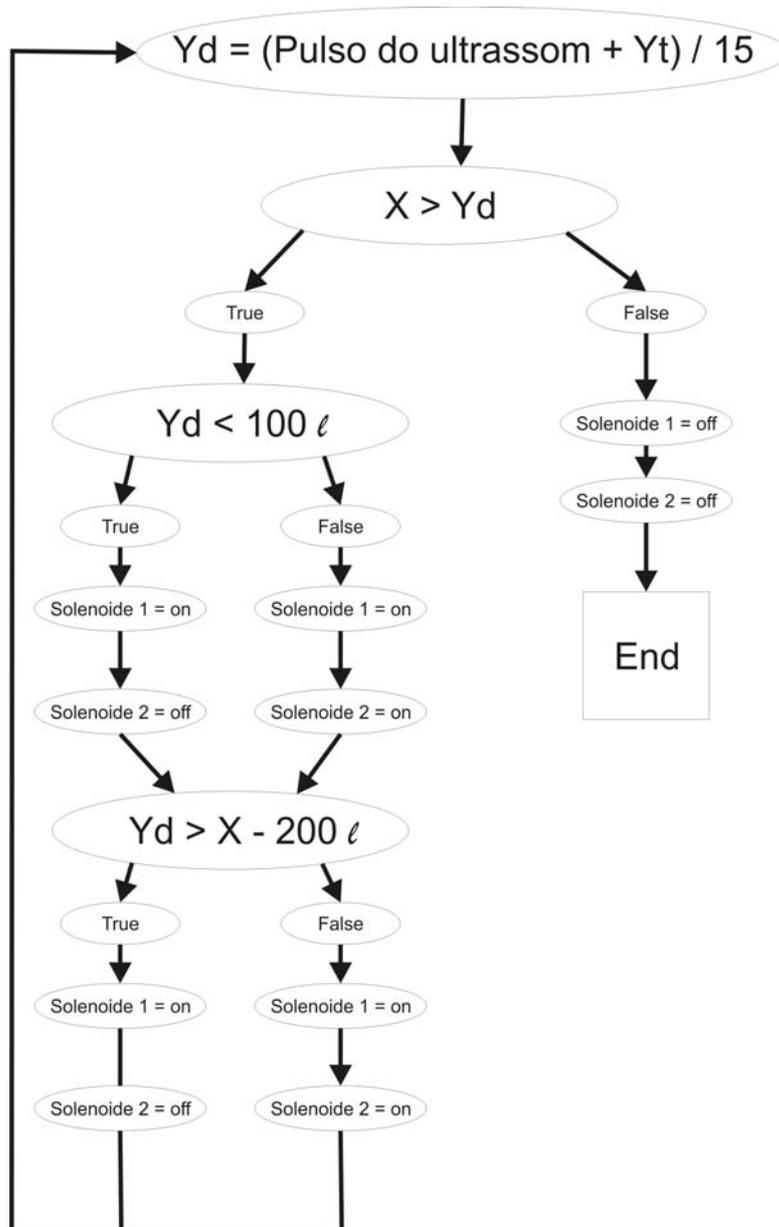
10.3 Experimento 3 – Identificando falhas no processo

O sistema utilizado para o experimento 3 foi o sistema SCB (Sistema de Carregamento Beta), onde o transmissor de vazão utilizado foi do tipo Ultra-sônico. Esse experimento tem por principal objetivo identificar uma possível solução para uma falha apresentada no experimento 2, onde quando a válvula de duplo estágio abria imediatamente e fechava imediatamente o equipamento acusava um erro na velocidade do som no fluido.

O sistema de carregamento SCB é uma evolução do sistema SCA, onde a única alteração foi a substituição do transmissor de vazão tipo turbina pelo transmissor de vazão ultrassônico, mantendo as características mecânicas do experimento 2.

Foi utilizado no experimento 3, uma medida padrão de 2000 litros devidamente calibrada e, ainda foram monitoradas as temperaturas ambiente e do produto. Os elementos filtrantes, foram utilizados os comuns do processo no *mesh* (capacidade de filtragem do filtro) pré determinado para cada tipo de produto e tamanho de linha de distribuição, para criar o ambiente mais real possível.

O procedimento do carregamento se deu com a abertura parcial da válvula solenóide. Após 100 litros de carregado o sistema comandava a abertura total da válvula solenóide e o fechamento parcial da válvula solenóide faltando 200 litros para concluir o carregamento. O fechamento total da válvula era comandado aos 0 litros para concluir o carregamento. O volume faltante ou que sobrou era mantido para verificar se havia erro, e se houvesse calcular o erro gerado no processo considerando a utilização da válvula solenóide, conforme fluxograma:



Fluxograma 3 - Lógica do Sistema de Carregamento Beta com a primeira evolução aplicada

A bomba foi ligada antes da abertura da válvula.

Os cabos utilizados para a leitura do valor de pulso das turbinas foram cabos independentes especialmente utilizados para os experimentos utilizando par condutores trançados de 1,5mm e *shield*.

Para os experimentos a seguir, o volume para abertura parcial da válvula será identificado como “*Shut-up*” e o volume configurado para fechamento da válvula como “*Shut-down*”, e quando a válvula estiver com sua abertura parcial será identificado como “*BAIXA*”, e quando estiver com sua abertura total será identificado como “*ALTA*”.

Os experimentos que seguem irão demonstrar os primeiros resultados com relação ao erro do volume carregado, este erro será calculado através da equação:

$$\text{Erro em \%} = (V_c - V_a) * 100 / V_a$$

Equação 9 - Cálculo de erro do volume carregado

10.3.1 Experimento utilizando carregamento de Gasolina A – 250m³/h

ID	Volume Carregado 	Vazão média antes do shut-up m ³ /h	Vazão média no carregamento m ³ /h	Vazão média depois do shut-down m ³ /h	Valor do shut-up 	Valor do shut-down 	Erro %
01	2012	25	140	32	100	200	0,60
02	2015	24	136	31	100	200	0,74
03	1996	25	138	30	100	200	-0,20
04	1998	25	140	30	100	200	-0,10
05	2012	25	125	30	100	200	0,60
06	2014	26	115	30	100	200	0,70
07	2016	25	134	28	100	200	0,79
08	2018	24	133	28	100	200	0,89
09	2019	26	130	31	100	200	0,94
10	2002	26	130	32	100	200	0,10
11	2026	28	128	30	100	200	1,25
12	1994	28	155	32	100	200	-0,30
13	2011	25	145	31	100	200	0,55
14	2014	26	144	30	100	200	0,70
15	2010	24	161	28	100	200	0,50
16	2005	25	135	29	100	200	0,25
17	2000	26	133	29	100	200	0,00
18	2016	24	152	29	100	200	0,79
19	2008	24	131	31	100	200	0,40
20	1998	24	132	31	100	200	-0,10

Tabela 14 - Experimento 3 - Gasolina A - 250m³/h

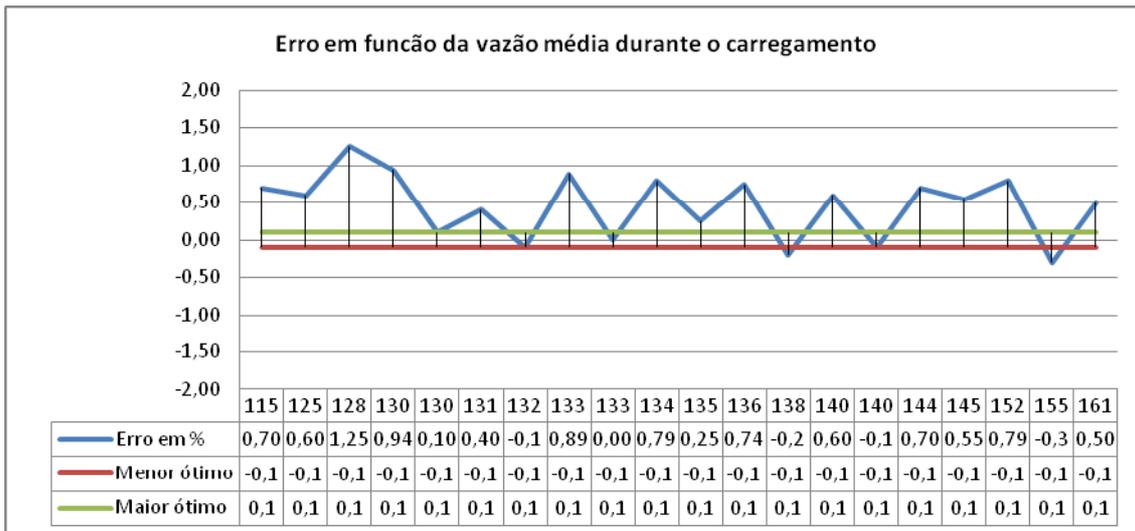


Gráfico 26 - Experimento 3 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o carregamento

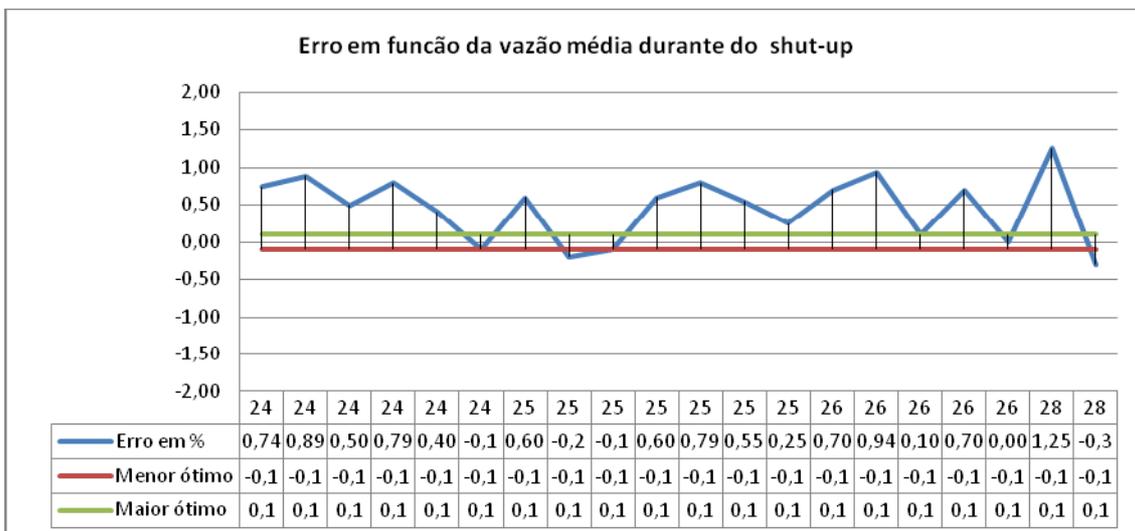


Gráfico 27 - Experimento 3 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o shut-up

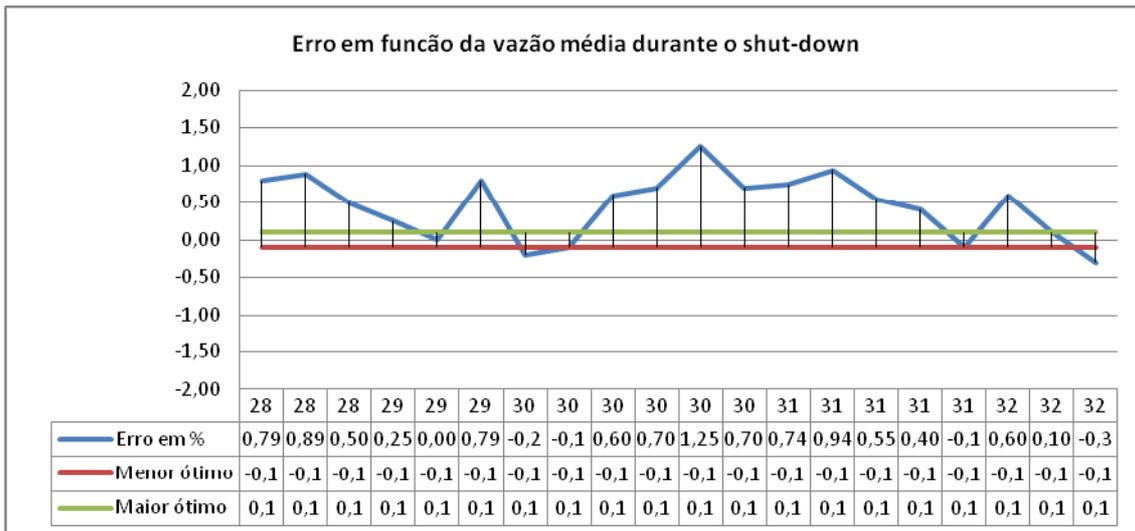


Gráfico 28 - Experimento 3 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o shut-down

10.3.2 Experimento utilizando carregamento de Diesel S1800 – 180m³/h

ID	Volume Carregado 	Vazão média antes do shut-up m ³ /h	Vazão média no carregamento m ³ /h	Vazão média depois do shut-down m ³ /h	Valor do shut-up 	Valor do shut-down 	Erro %
01	2031	21	126	34	100	200	1,53
02	2028	20	133	30	100	200	1,38
03	2015	23	145	33	100	200	0,74
04	2034	25	142	34	100	200	1,67
05	1986	22	143	30	100	200	-0,70
06	1982	20	144	30	100	200	-0,91
07	2031	22	145	30	100	200	1,53
08	2005	22	122	31	100	200	0,25
09	2008	23	105	32	100	200	0,40
10	2015	25	116	26	100	200	0,74
11	2013	24	112	28	100	200	0,65
12	1996	22	128	33	100	200	-0,20
13	2014	20	106	29	100	200	0,70
14	1999	21	98	28	100	200	-0,05
15	2036	21	106	28	100	200	1,77
16	2024	20	125	28	100	200	1,19
17	2022	24	146	27	100	200	1,09
18	2000	20	143	26	100	200	0,00
19	2012	22	132	31	100	200	0,60
20	1994	21	136	29	100	200	-0,30

Tabela 15 - Experimento 3 - Diesel S1800 - 180m³/h

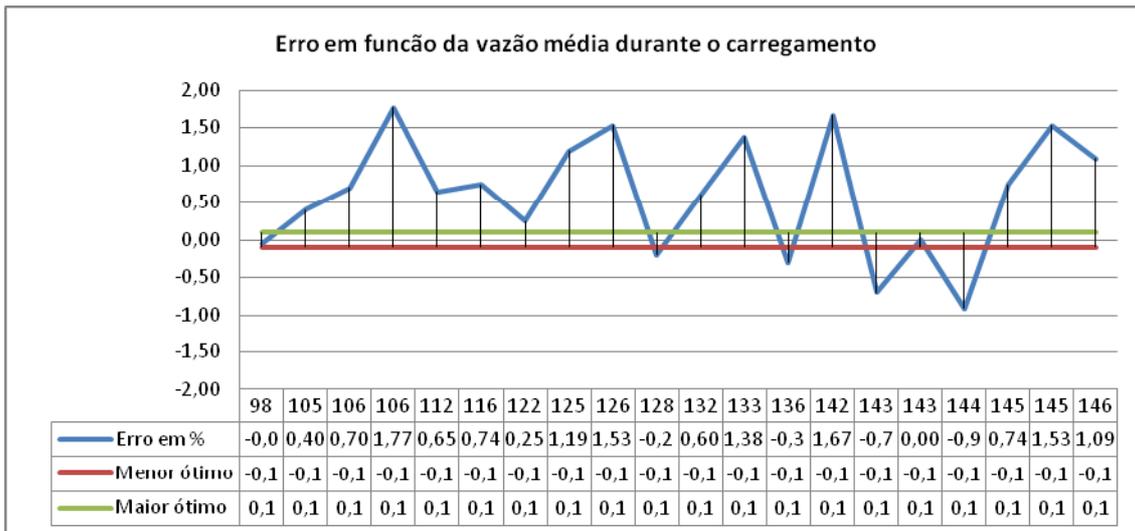


Gráfico 29 - Experimento 3 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o carregamento

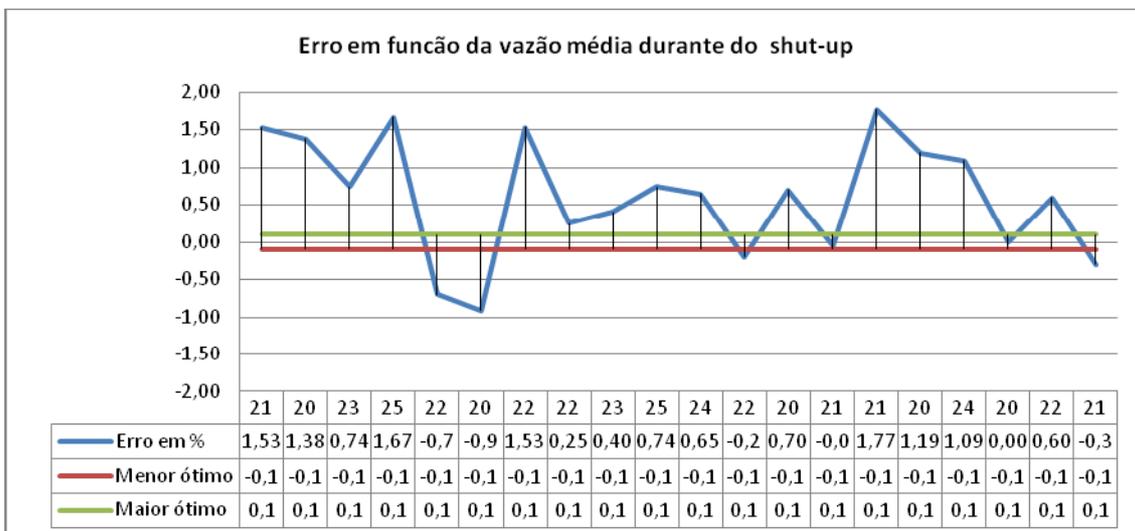


Gráfico 30 - Experimento 3 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o shut-up

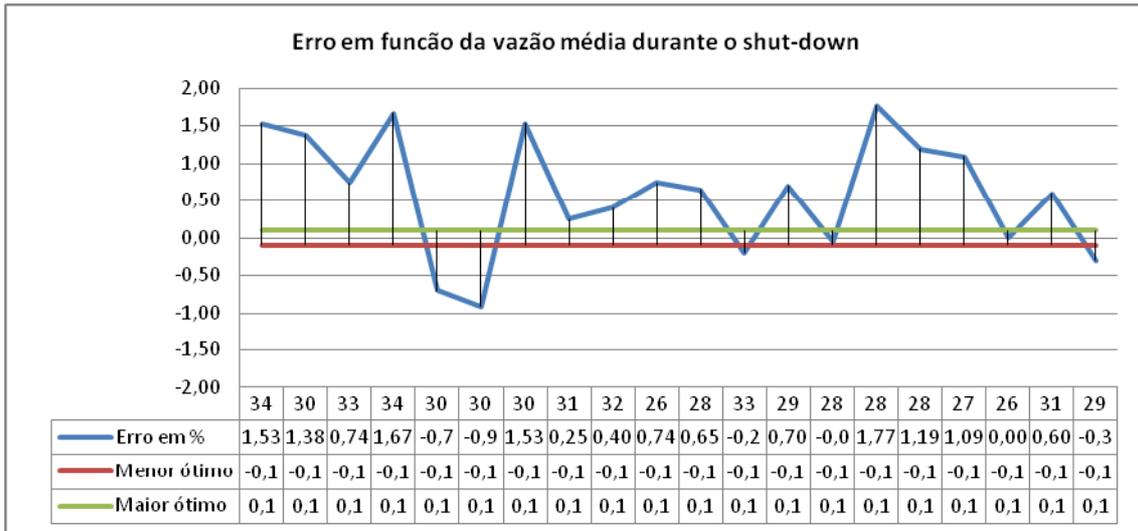


Gráfico 31 - Experimento 3 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o shut-down

10.3.3 Experimento utilizando carregamento de Alcool Hidratado – 120m³/h

ID	Volume Carregado 	Vazão média antes do shut-up m ³ /h	Vazão média no carregamento m ³ /h	Vazão média depois do shut-down m ³ /h	Valor do shut-up 	Valor do shut-down 	Erro %
01	2008	21	112	30	100	200	0,40
02	2006	22	95	32	100	200	0,30
03	2008	24	103	30	100	200	0,40
04	2012	22	105	30	100	200	0,60
05	2002	20	104	28	100	200	0,10
06	1999	21	105	28	100	200	-0,05
07	1998	23	104	29	100	200	-0,10
08	2003	25	103	30	100	200	0,15
09	1994	22	105	29	100	200	-0,03
10	2004	21	100	29	100	200	0,20
11	2000	22	96	28	100	200	0,00
12	2002	20	108	26	100	200	0,10
13	2012	23	110	29	100	200	0,60
14	2014	25	106	30	100	200	0,70
15	2008	26	110	31	100	200	0,40
16	2011	21	98	30	100	200	0,55
17	1996	20	99	30	100	200	-0,20
18	2002	25	106	28	100	200	0,10
19	2001	24	105	30	100	200	0,05
20	2006	23	109	32	100	200	0,30

Tabela 16 - Experimento 3 - Álcool Hidratado

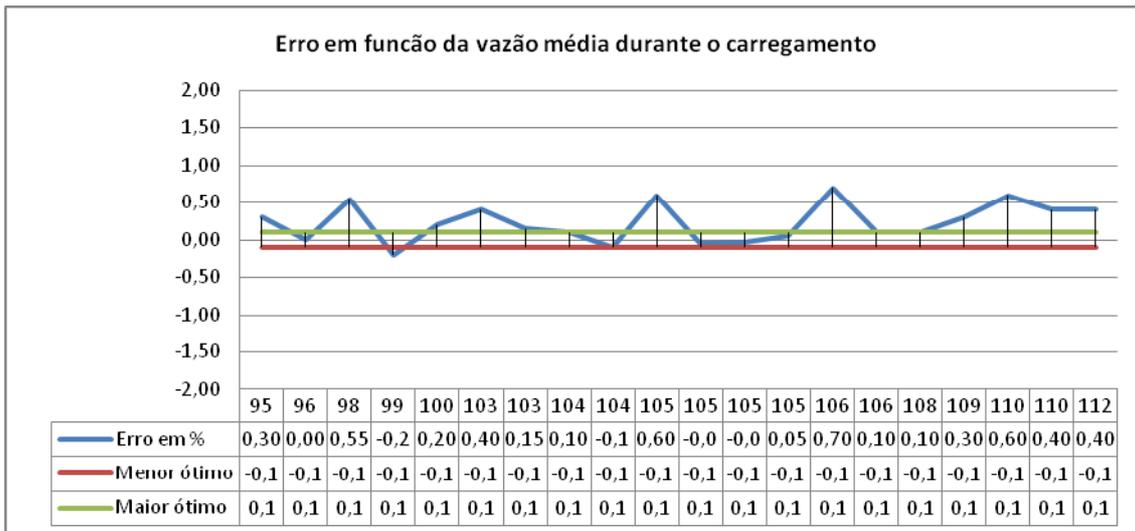


Gráfico 32 - Experimento 3 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o carregamento

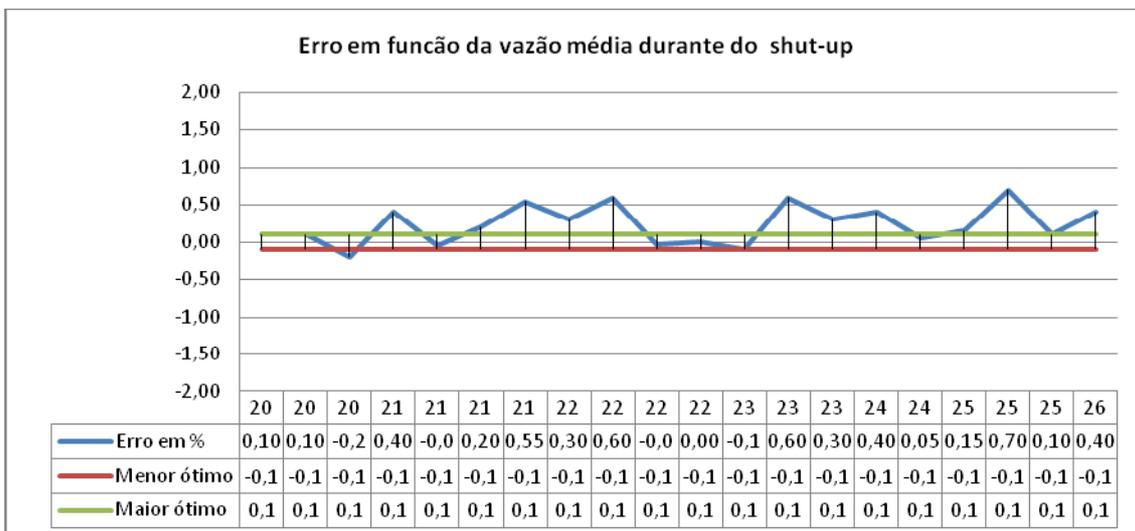


Gráfico 33 - Experimento 3 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o shut-up

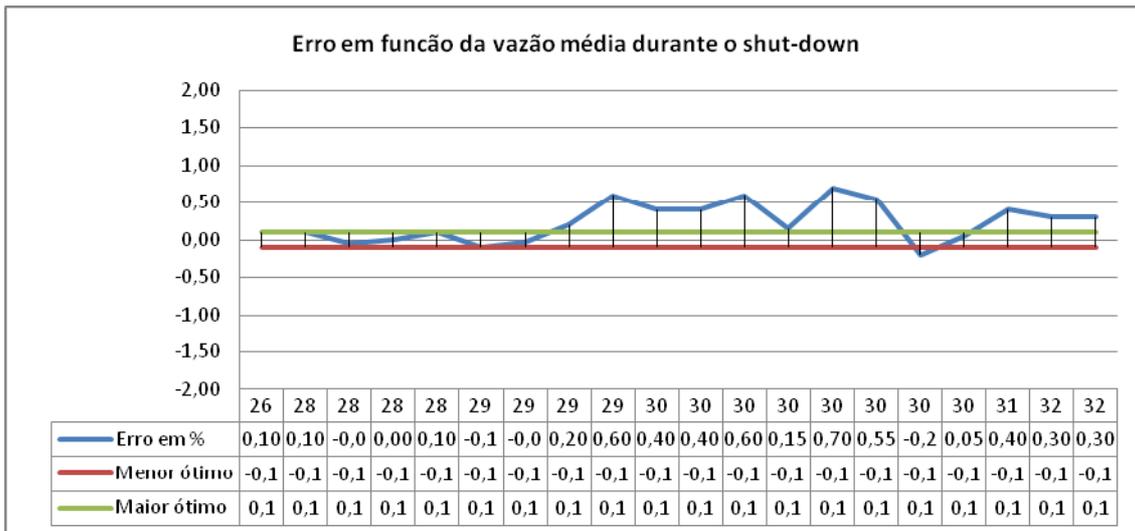


Gráfico 34 - Experimento 3 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o shut-down

10.3.4 Experimento utilizando carregamento de Alcool Anidro – 90m³/h

ID	Volume Carregado 	Vazão média antes do shut-up m ³ /h	Vazão média no carregamento m ³ /h	Vazão média depois do shut-down m ³ /h	Valor do shut-up 	Valor do shut-down 	Erro %
01	2002	22	86	29	100	200	0,10
02	2006	21	80	28	100	200	0,30
03	2003	22	81	28	100	200	0,15
04	1994	22	88	28	100	200	-0,30
05	2001	23	76	28	100	200	0,05
06	2003	21	82	29	100	200	0,15
07	2004	22	76	31	100	200	0,20
08	2003	20	76	30	100	200	0,15
09	2008	20	74	33	100	200	0,40
10	1996	23	75	31	100	200	-0,20
11	1992	21	79	30	100	200	-0,40
12	2004	22	80	29	100	200	0,20
13	2001	22	81	29	100	200	0,05
14	2003	20	84	27	100	200	0,15
15	2000	24	81	29	100	200	0,00
16	2000	21	79	28	100	200	0,00
17	2001	22	79	30	100	200	0,05
18	2004	19	75	30	100	200	0,20
19	2009	22	81	31	100	200	0,45
20	1998	21	86	29	100	200	-0,10

Tabela 17 - Experimento 3 - Álcool Anidro - 90m³/h

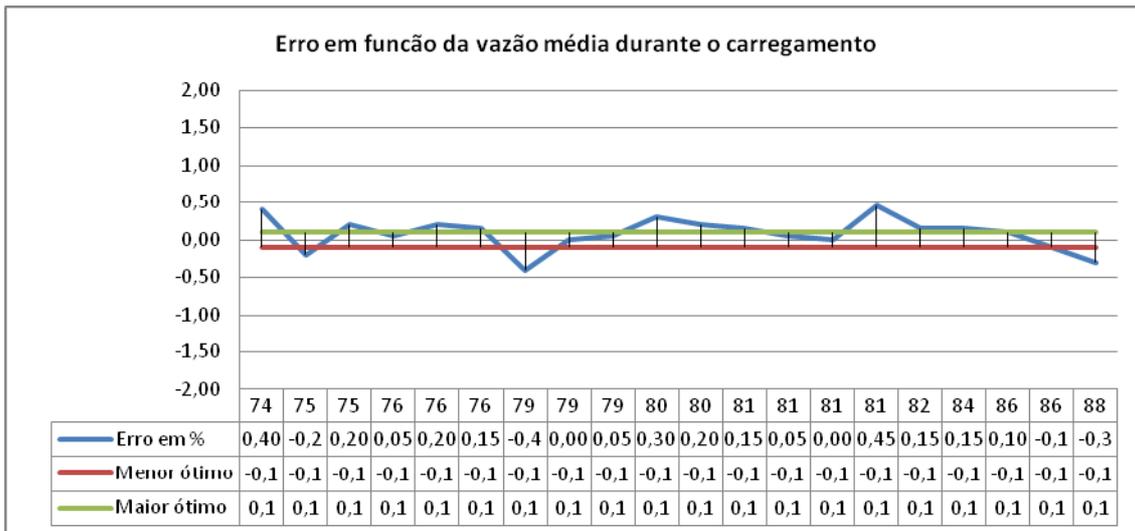


Gráfico 35 - Experimento 3 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o carregamento

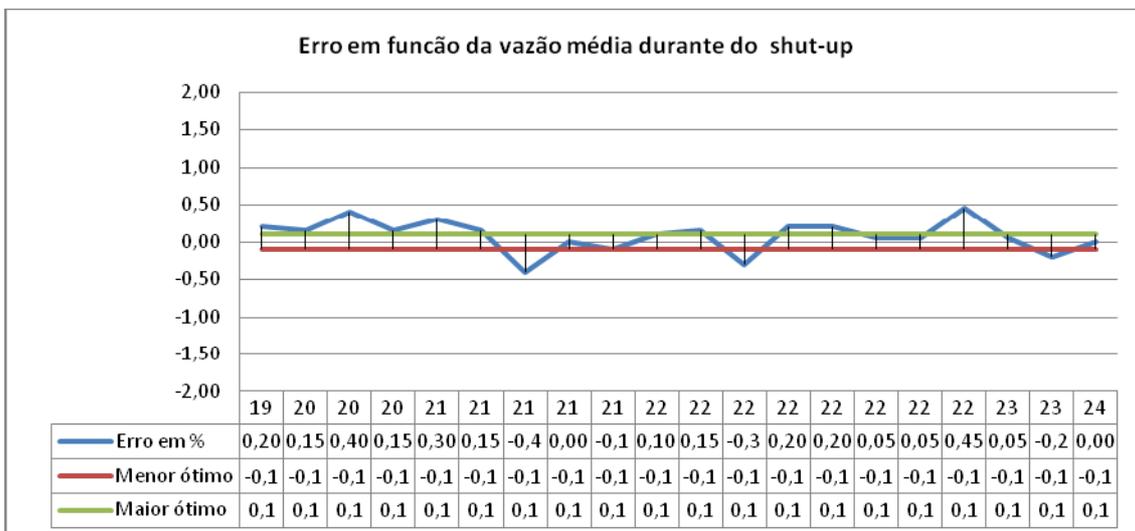


Gráfico 36 - Experimento 3 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o shut-up

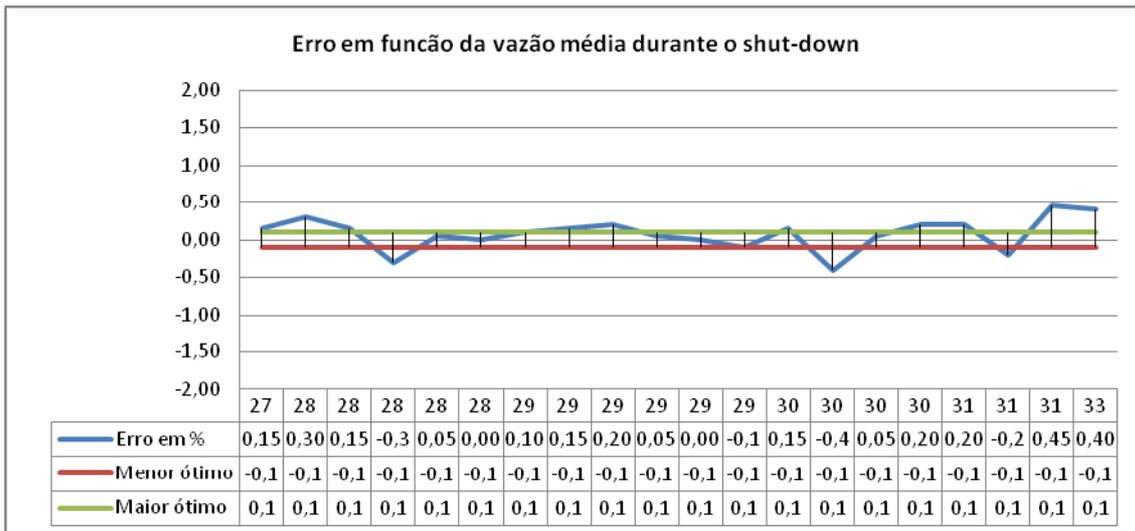


Gráfico 37 - Experimento 3 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o shut-down

Analisando as tabelas e os gráficos do experimento 3, pôde-se observar que a precisão do sistema de carregamento não foi satisfatória, ficando os seus erros acima dos esperados para o resultado de $\pm 0,1\%$.

Durante os experimentos foi possível perceber que na abertura parcial da válvula para iniciar o carregamento o transmissor de vazão acusava um breve erro na velocidade do som e na hora do fechamento da válvula no término do carregamento o mesmo erro aparecia. Analisando esse erro, foi possível observar que o tempo de abertura e fechamento das válvulas estava muito baixo, ou seja, a válvula estava abrindo e fechando muito rápido. Esta abertura e fechamento causava uma aceleração e uma desaceleração repentina no fluido, esses movimentos repentinos influenciam diretamente no número de Reynolds e por consequência no fator K da equação de velocidade de vazão utilizada pelo transmissor de vazão ultra-sônico.

Outra peculiaridade observada foi que em vazão abaixo dos $120\text{m}^3/\text{h}$ a válvula de retenção vazia um barulho excessivo em virtude da sua característica mecânica.

10.3.5 Conclusão do Experimento 3

Em virtude dos problemas apresentados pela abertura e fechamento da válvula solenóide, o experimento não poderia continuar com a utilização da mesma, sendo necessário a implantação de uma válvula de abertura proporcional e suave.

Outra característica também observada foi a necessidade de substituição da válvula de retenção utilizada, por uma válvula de retenção mais silenciosa, evitando assim o barulho interno na tubulação.

Considerando os equipamentos a serem substituídos, a arquitetura atual do sistema ou a arquitetura convencional utilizando “Pré-determinador” ou como comumente conhecido “Preset”, não mais é possível, pois com a implantação da válvula de abertura proporcional torna-se necessário um controle da proporção de abertura e proporção do fechamento bem como um controle sobre o escorregamento da válvula.

10.4 Experimento 4– Válvula de controle de abertura proporcional, válvula de retenção silenciosa e escorregamento da válvula de controle

O sistema utilizado para o experimento 4 foi o sistema SCG (Sistema de Carregamento Gama), onde o transmissor de vazão utilizado foi do tipo Ultra-sônico. Esse experimento tem por principal objetivo implementar uma válvula de abertura proporcional e uma válvula de retenção silenciosa para avaliar uma possível solução para os problemas com velocidade do som e barulho na tubulação identificados no experimento 3.

O sistema de carregamento SCG é uma versão diferente dos outros sistemas utilizados nos experimentos anteriores.

A arquitetura do sistema SCG foi baseado em um CLP(Central lógica programável) da linha Siemens modelo S7-414H conectado via rede profibus DP a uma unidade remota ET 200M, e essa conectada via barramento bus ativo aos cartões de contagem FM350-2, entrada digital SM321 DI 32xDC24V, saída digital SM322 DO 32xDC24V/0,5A, entrada analógica SM331 AI 8x13Bit e ao cartão de saída analógica SM332 AO 8x12Bit.

A nova lógica implementada ao CLP(Central lógica programável) foi:

Um endereço de memória X era programado com o volume desejado para carregamento menos o valor do endereço Z que continha a quantidade em litros do escorregamento da válvula, então, era comparado de forma cíclica com o endereço de memória Y, em um tempo de ciclo de aproximadamente 20ms e o endereço Y era incrementado com a contagem dos pulsos gerados pelo transmissor de vazão ultra-sônico a cada tempo de ciclo. Uma vez satisfeita a condição de igualdade o CLP(Central lógica programável) comandava a válvula para o fechamento.

A lógica do controle de abertura da válvula foi utilizado em um valor de abertura no shut-up de 20% da proporção de abertura, durante o

carregamento esse valor subia para 90% da proporção de abertura e no shut-down a válvula retornava aos 20% da proporção de abertura.

A válvula utilizada foi uma válvula esfera de 3" com atuador elétrico de 60Nm (Newton Metro) de ¼ de volta com tempo de atuação de 9 segundos.

O sistema foi aplicado a uma arquitetura mecânica de acordo com os desenhos abaixo:

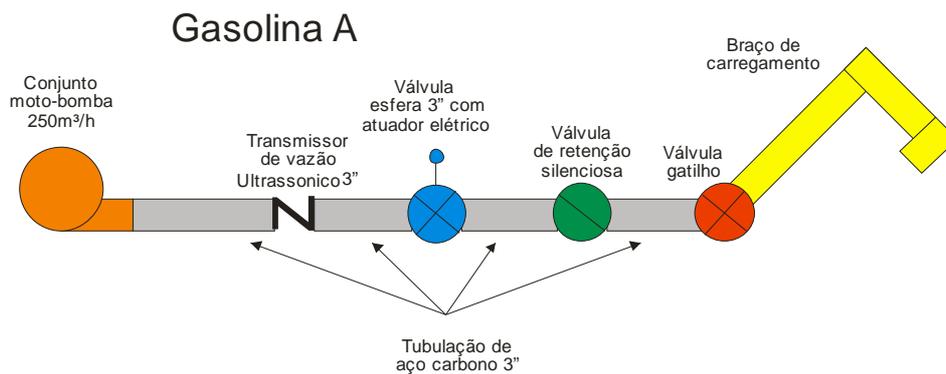


Figura 29 - Sistema de carregamento Gama - Gasolina A - 250m³/h

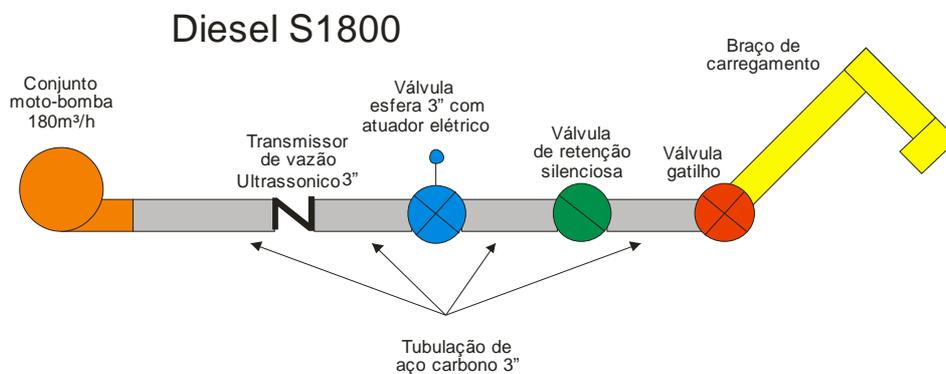


Figura 30 - Sistema de carregamento Gama - Diesel S1800 - 180m³/h

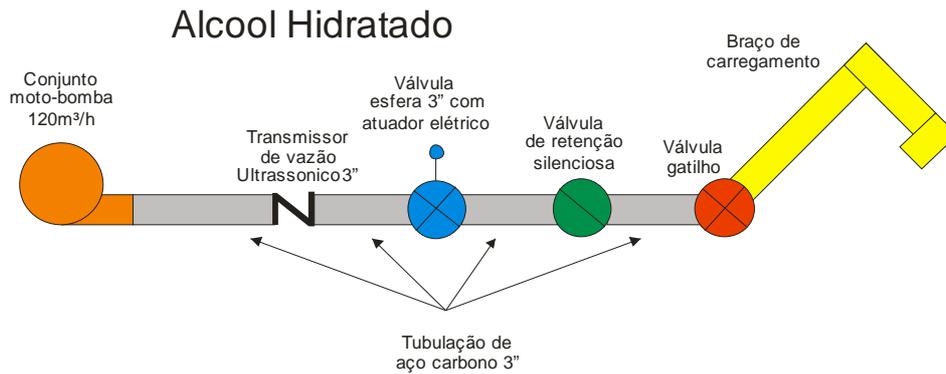


Figura 31 - Sistema de carregamento Gama - Álcool Hidratado - 120m³/h

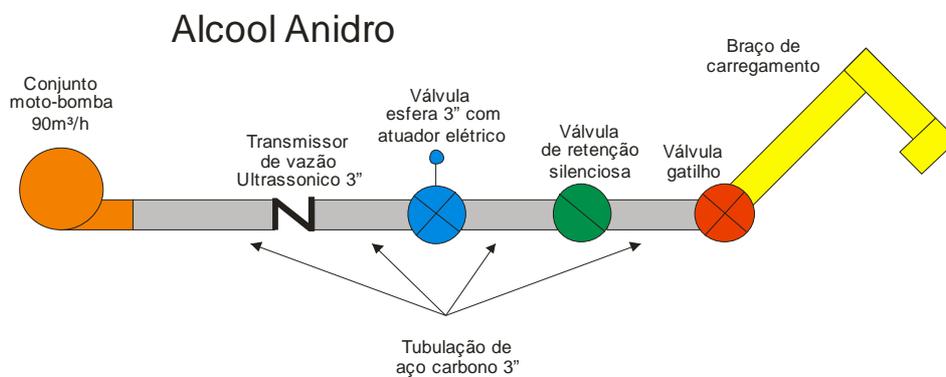
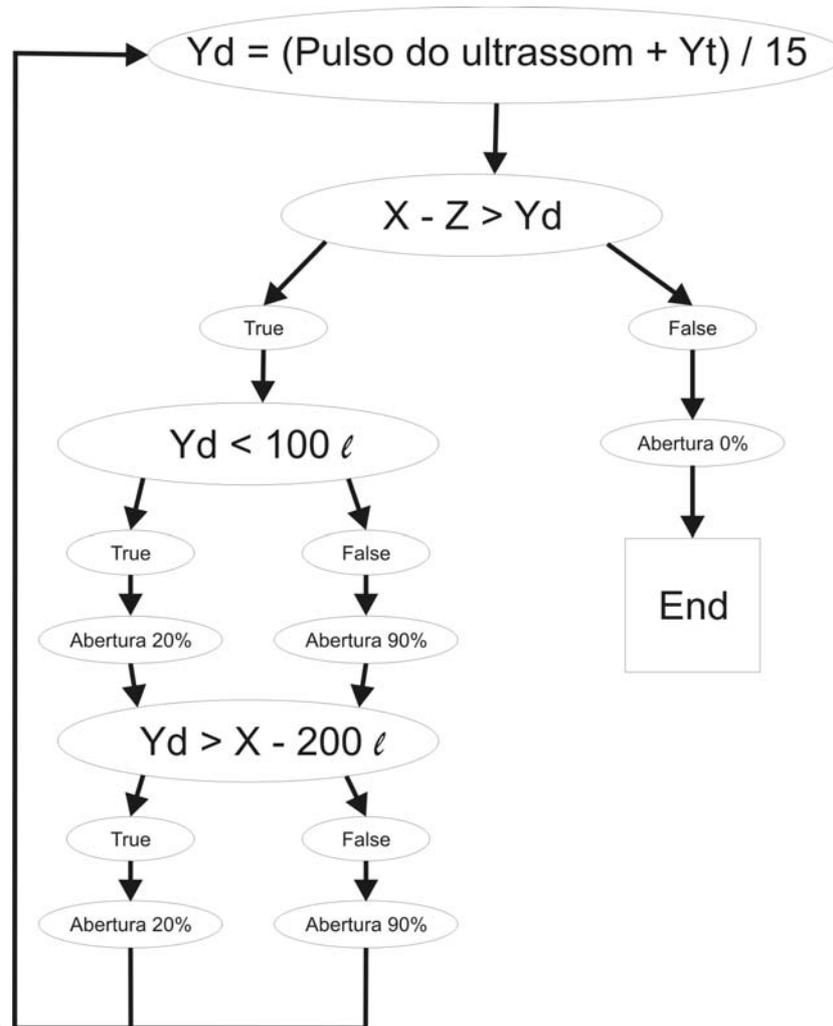


Figura 32 - Sistema de carregamento Gama - Álcool Anidro - 90m³/h

Foi utilizado no exeperimento 4, uma medida padrão de 2000litros devidamente calibrada. Os elementos filtrantes, foram utilizados os comuns do processo no *mesh* (capacidade de filtragem do filtro) pré determinado para cada tipo de produto e tambanho de linha de distribuição, para criar o ambiente mais real possível.

O procedimento do carregamento se deu com a abertura parcial da válvula de controle em 20%. Após 100 litros carregados o sistema comandava a abertura proporrcinal para 90% da válvula de controle. O sistema comandava o fechamento parcial da válvula de controle em 20% faltando 200 litros para concluir o carregamento. O fechamento total da válvula era comandado aos 0 litros restantes para o carregamento considerando que o volume do escorregamento da válvula (Z) solicitado, foi subtraído do volume solicitado para concluir o carregamento, conforme fluxograma:



Fluxograma 4 - Lógica do Sistema de Carregamento SCG

O volume faltante ou que sobrou era mantido para verificar se havia erro e se houvesse calcular o erro gerado no processo considerando a utilização da válvula de controle.

Os cabos utilizados para a leitura do valor de pulso dos transmissores de vazão ultra-sônico, foram cabos independentes especialmente utilizados para os experimentos utilizando par condutores trançados de 1,5mm e *shield*.

10.4.1 Experimento utilizando carregamento de Gasolina A – 250m³/h

ID	Volume carregado	Ev 	Vazão antes do shut-up m ³ /h	Vazão no carregamento m ³ /h	Vazão depois do shut-down m ³ /h	Erro %
01	2001,8	6	20	145	20	0,090
02	2001,3	6	20	145	21	0,065
03	2000,9	6	21	144	20	0,045
04	2001,7	6	20	144	20	0,085
05	2002,5	6	20	145	20	0,125
06	1999,9	8	21	143	20	-0,005
07	2001,3	8	20	145	20	0,065
08	2000,1	8	20	146	21	0,005
09	1999,4	8	20	146	21	-0,030
10	1999,1	8	20	144	20	-0,045
11	2000,3	7,5	20	145	21	0,015
12	2001,2	7,5	21	146	20	0,060
13	2001,2	7,5	21	146	21	0,060
14	2001,6	7,5	21	144	21	0,080
15	2001,0	7,5	21	143	21	0,050
16	1999,6	7,5	21	146	20	-0,020
17	1999,8	7,5	21	145	20	-0,010
18	2000,1	7,5	20	144	20	0,005
19	2000,0	7,5	20	144	21	0,000
20	1999,8	7,5	20	145	21	-0,010

Tabela 18 - Experimento 4 - Gasolina A – 250m³/h

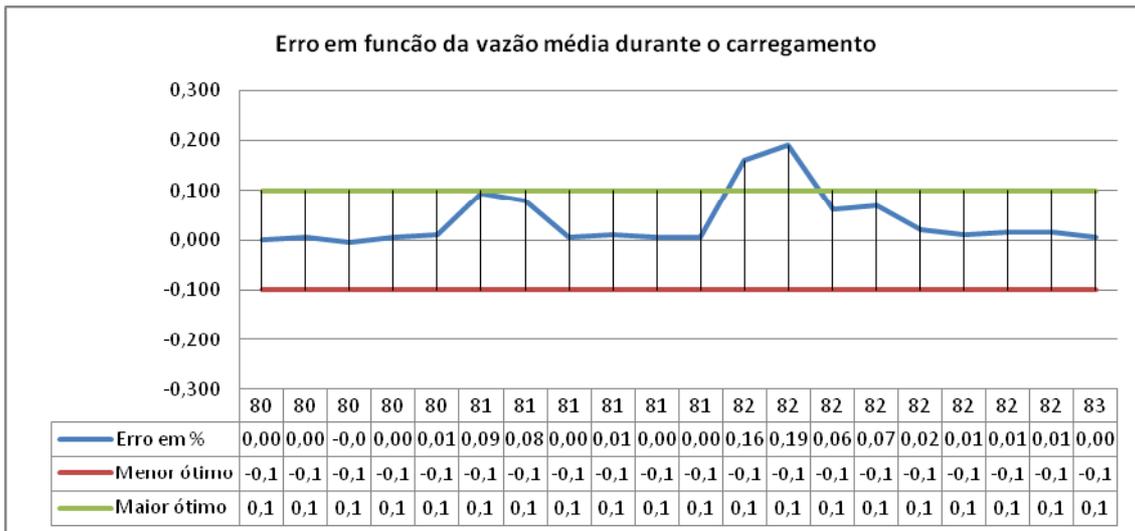


Gráfico 38 - Experimento 4 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o carregamento

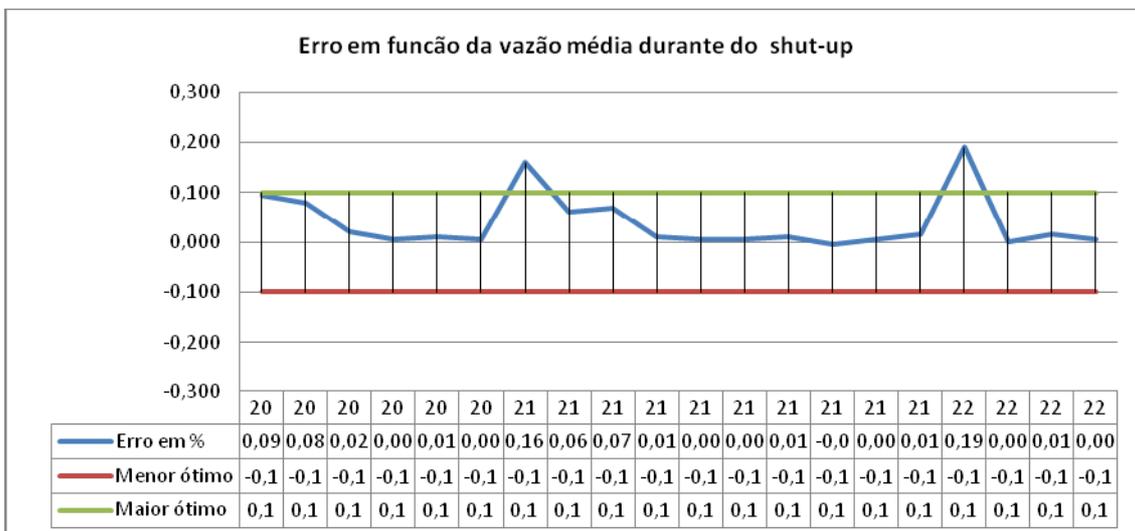


Gráfico 39 - Experimento 4 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o shut-up

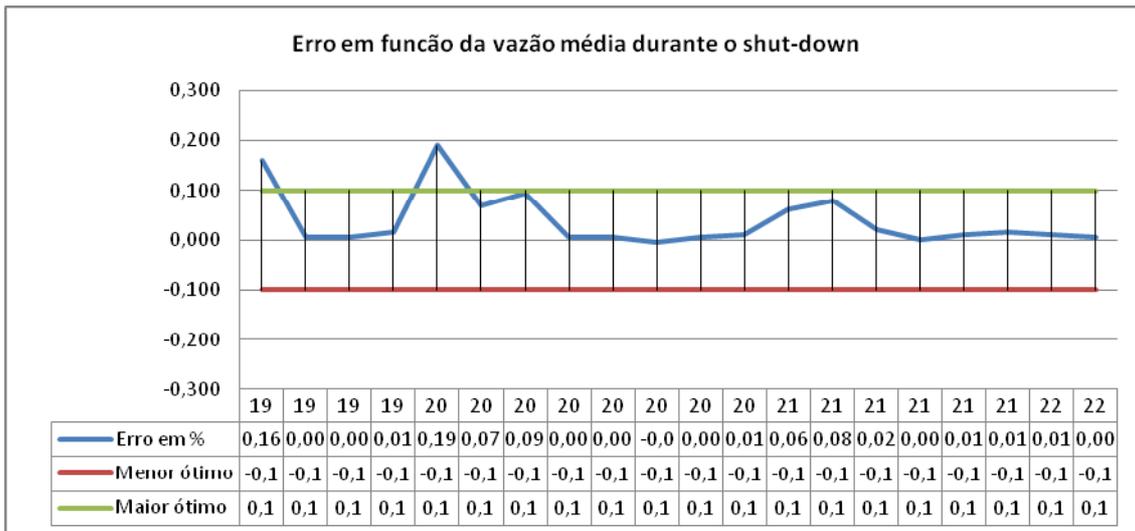


Gráfico 40 - Experimento 4 - Gasolina A - Erro em função da vazão média durante o shut-down

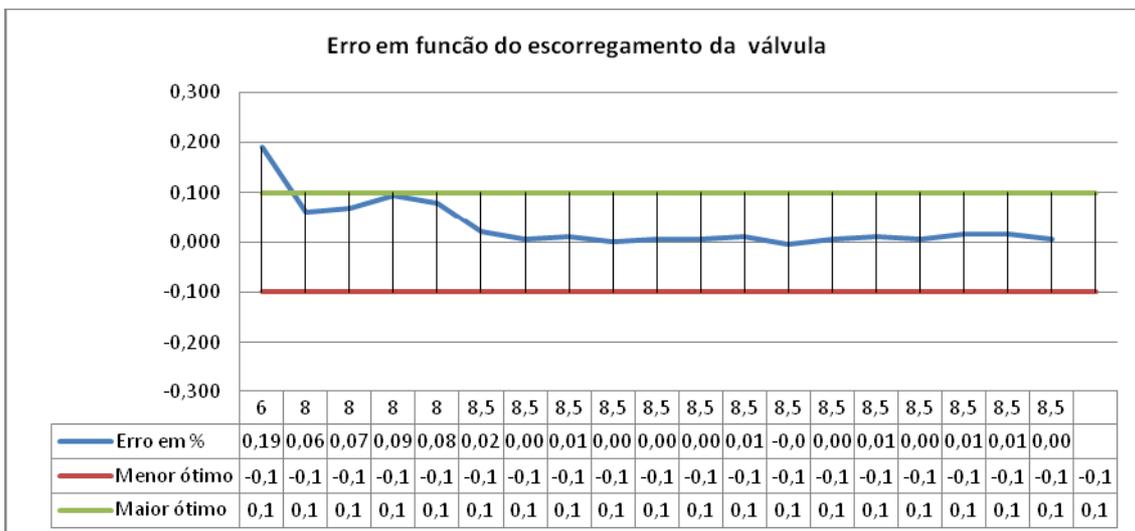


Gráfico 41 - Experimento 4 - Gasolina A - Erro em função do escorregamento da válvula

10.4.2 Experimento utilizando carregamento de Diesel S1800 – 180m³/h

ID	Volume carregado	Ev 	Vazão antes do shut-up m ³ /h	Vazão no carregamento m ³ /h	Vazão depois do shut-down m ³ /h	Erro %
01	2004,2	6	18	134	20	0,210
02	2003,8	6	18	134	21	0,190
03	2001,8	4	19	133	20	0,090
04	2001,6	4	19	133	20	0,080
05	2000,8	4	18	133	20	0,040
06	2000,1	3,5	19	134	20	0,005
07	2000,0	3,5	20	133	21	0,000
08	2000,8	3,5	20	133	19	0,040
09	2000,8	3,5	21	130	19	0,040
10	2001,2	3,5	19	133	19	0,060
11	2000,6	3,5	18	131	20	0,030
12	1999,8	3,5	19	134	20	-0,010
13	2001,1	3,5	19	136	20	0,055
14	2000,5	3,5	19	130	19	0,025
15	2000,3	3,5	18	134	19	0,015
16	1999,6	3,5	18	136	19	-0,020
17	2000,3	3,5	17	132	18	0,015
18	2001,2	3,5	18	133	21	0,060
19	2000,9	3,5	18	136	20	0,045
20	2000,7	3,5	20	134	20	0,035

Tabela 19 - Experimento 4 - Diesel S1800 - 180m³/h

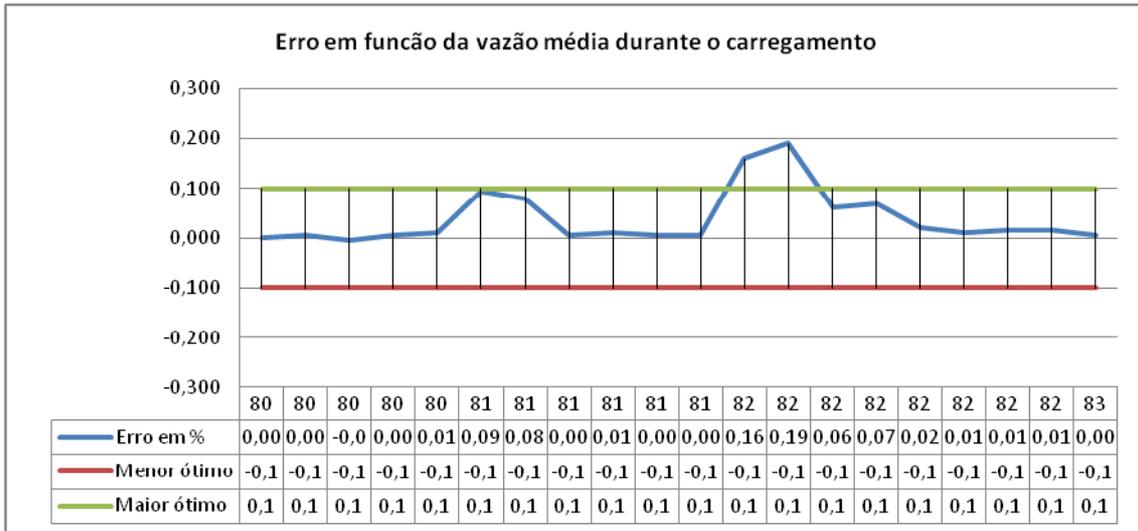


Gráfico 42 - Experimento 4 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o carregamento

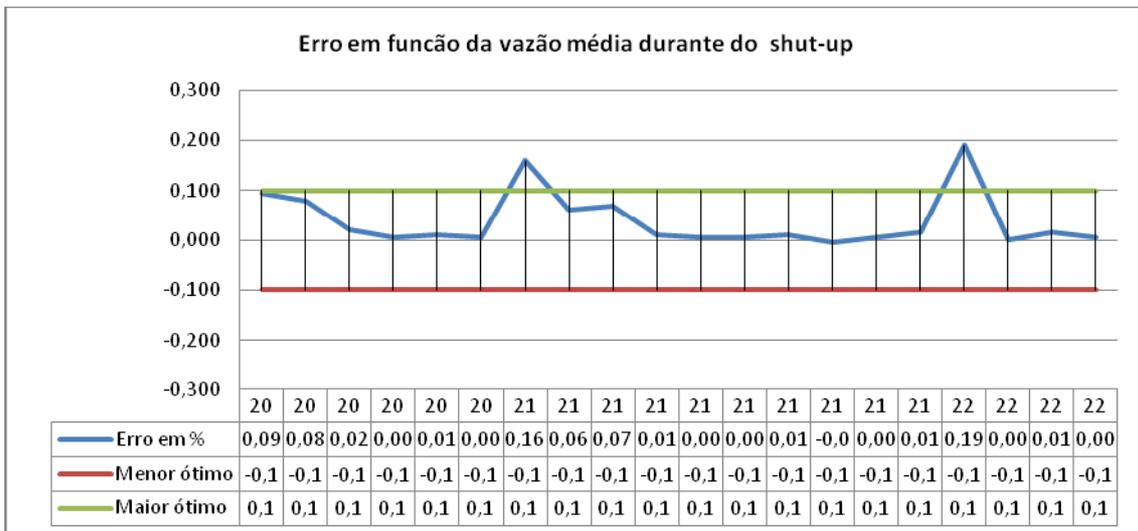


Gráfico 43 - Experimento 4 - Diesel S1800 - Erro em função da vazão média durante o shut-up

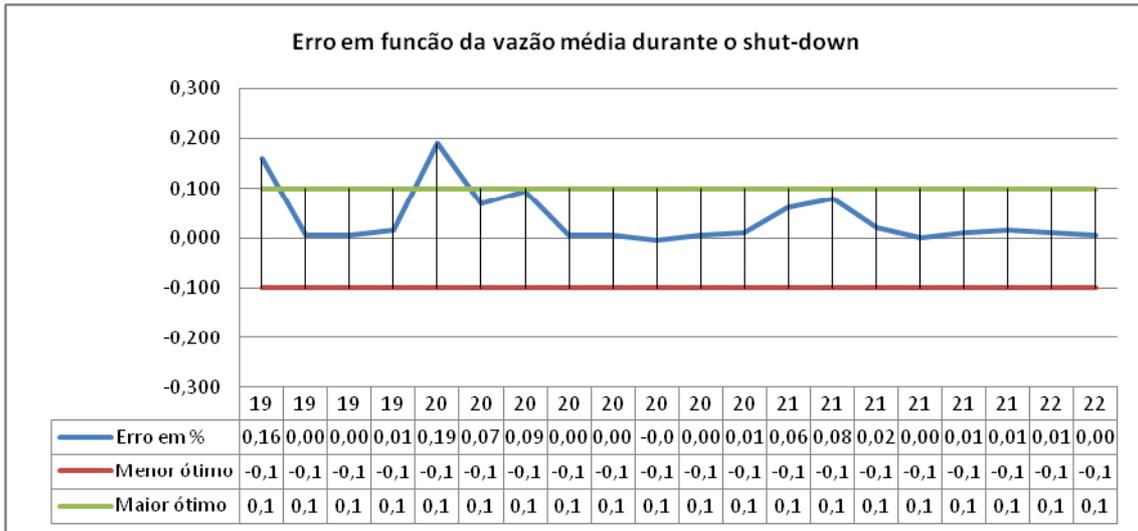


Gráfico 44 - Experimento 4 - Erro em função da vazão média durante o shut-down

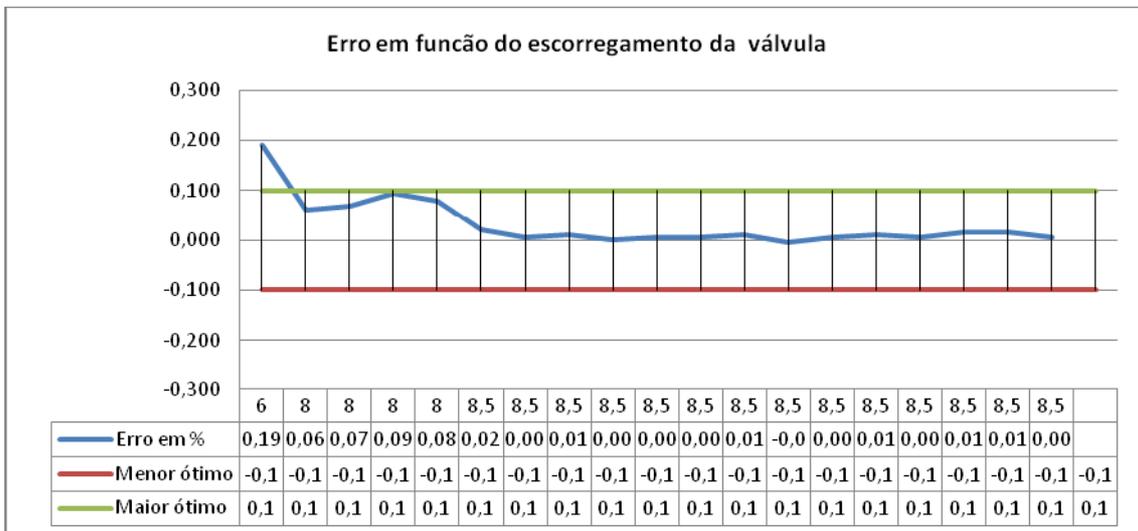


Gráfico 45 - Experimento 4 - Diesel S1800 - Erro em função do escorregamento da válvula

10.4.3 Experimento utilizando carregamento de Álcool Hidratado – 120m³/h

ID	Volume carregado	Ev	Vazão antes do shut-up m ³ /h	Vazão no carregamento m ³ /h	Vazão depois do shut-down m ³ /h	Erro %
01	1995,2	6	18	110	16	-0,240
02	1996,4	6	18	111	16	-0,180
03	2001,2	2	18	110	18	0,060
04	2000,9	2	18	111	16	0,045
05	2001,1	2	17	111	17	0,055
06	2000,9	2	18	111	17	0,045
07	2000,1	2,5	18	111	18	0,005
08	2000,2	2,5	17	112	16	0,010
09	1999,8	2,5	17	110	17	-0,010
10	1999,8	2,5	17	112	16	-0,010
11	1999,6	2,5	16	112	16	-0,020
12	1999,9	2,5	18	112	18	-0,005
13	2000,1	2,5	18	112	16	0,005
14	2000,0	2,5	18	112	18	0,000
15	1999,8	2,5	18	110	18	-0,010
16	2000,3	2,5	20	110	17	0,015
17	2000,3	2,5	20	109	16	0,015
18	2000,1	2,5	20	110	17	0,005
19	1999,8	2,5	18	111	17	-0,010
20	1999,6	2,5	17	112	18	-0,020

Tabela 20 - Experimento 4 - Álcool Hidratado - 120m³/h

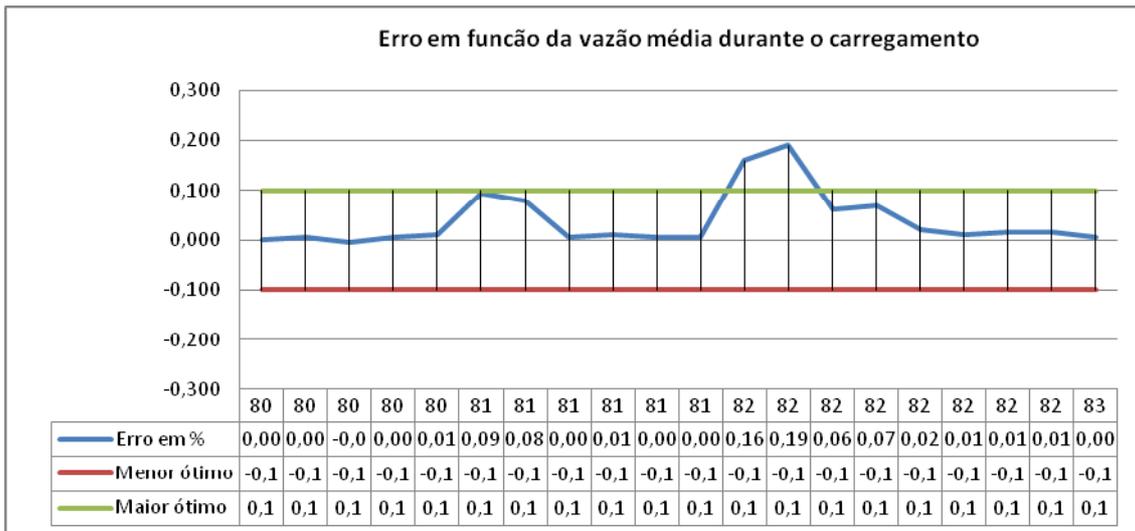


Gráfico 46 - Experimento 4 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o carregamento

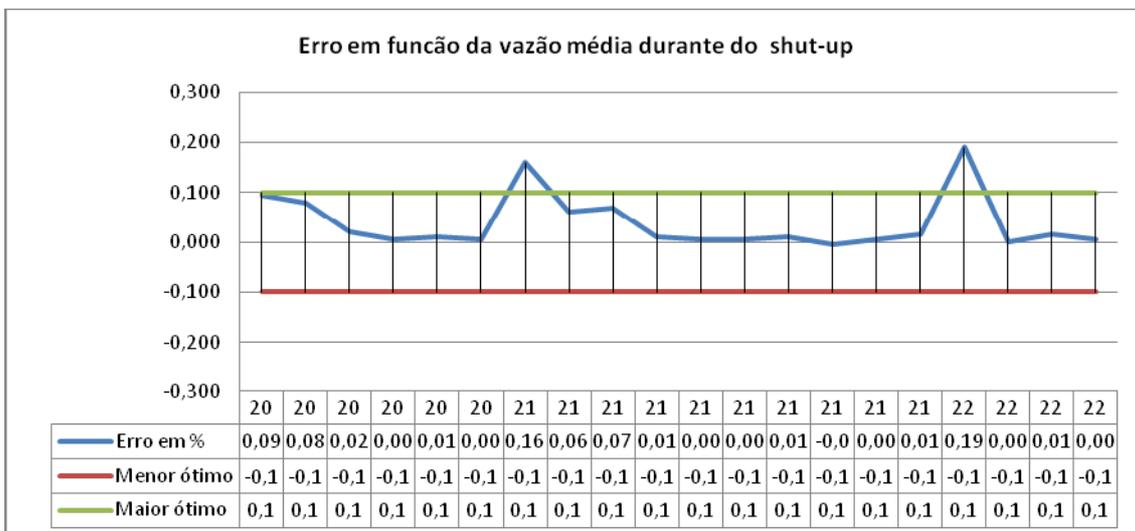


Gráfico 47 – Experimento 4 – Álcool Hidratado – Erro em função da vazão média durante o shut-up

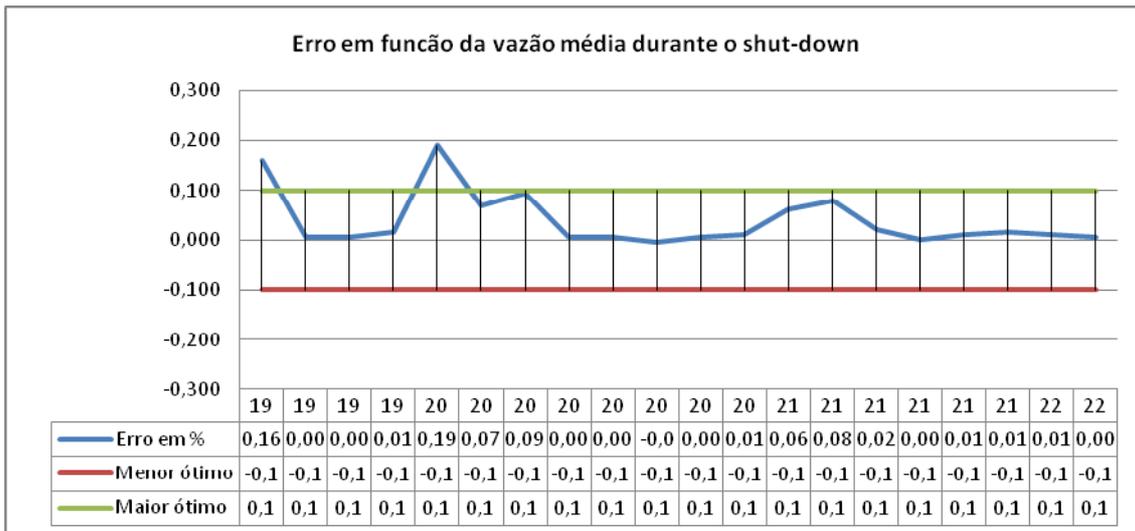


Gráfico 48 - Experimento 4 - Álcool Hidratado - Erro em função da vazão média durante o shut-down

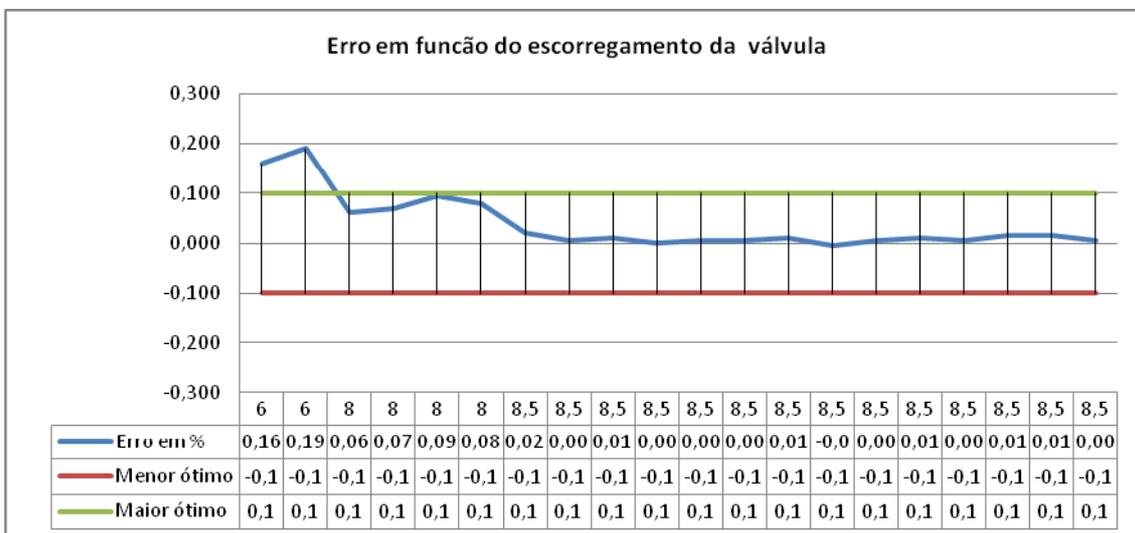


Gráfico 49 - Experimento 4 - Álcool Hidratado - Erro em função do escorregamento da válvula

10.4.4 Experimento utilizando carregamento de Álcool Anidro – 90m³/h

ID	Volume carregado	Ev	Vazão antes do shut-up m ³ /h	Vazão no carregamento m ³ /h	Vazão depois do shut-down m ³ /h	Erro %
01	2003,2	6	21	82	19	0,160
02	2003,8	6	22	82	20	0,190
03	2001,2	8	21	82	21	0,060
04	2001,4	8	21	82	20	0,070
05	2001,9	8	20	81	20	0,095
06	2001,6	8	20	81	21	0,080
07	2000,4	8,5	20	82	21	0,020
08	2000,1	8,5	20	81	20	0,005
09	2000,2	8,5	21	81	22	0,010
10	2000,0	8,5	22	80	21	0,000
11	2000,1	8,5	21	80	19	0,005
12	2000,1	8,5	21	81	20	0,005
13	2000,2	8,5	21	82	21	0,010
14	1999,9	8,5	21	80	20	-0,005
15	2000,1	8,5	21	80	20	0,005
16	2000,2	8,5	20	80	20	0,010
17	2000,1	8,5	20	81	19	0,005
18	2000,3	8,5	22	82	19	0,015
19	2000,3	8,5	21	82	21	0,015
20	2000,1	8,5	22	83	22	0,005

Tabela 21 - Experimento 4 - Álcool Anidro - 90m³/h

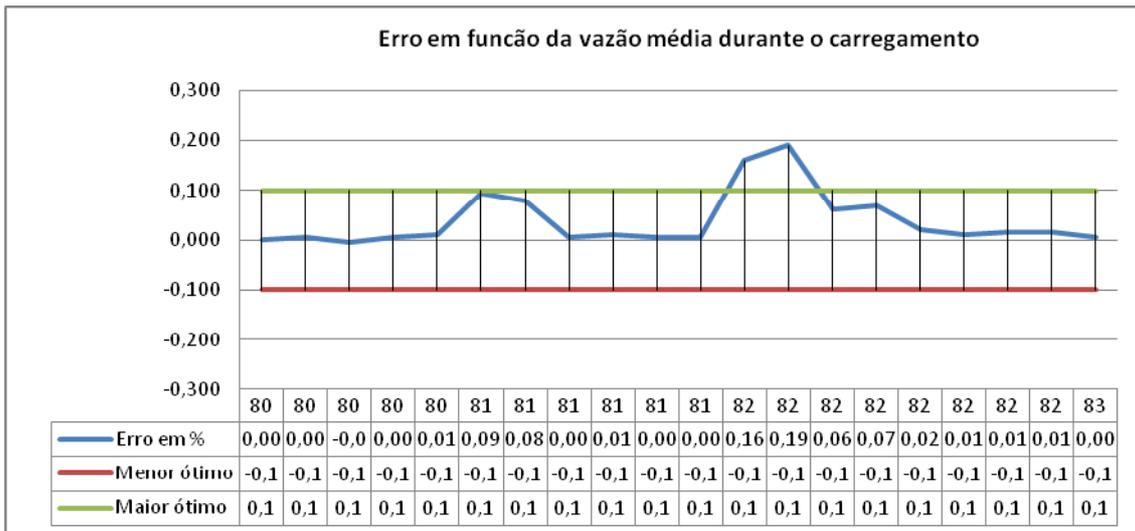


Gráfico 50 - Experimento 4 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o carregamento

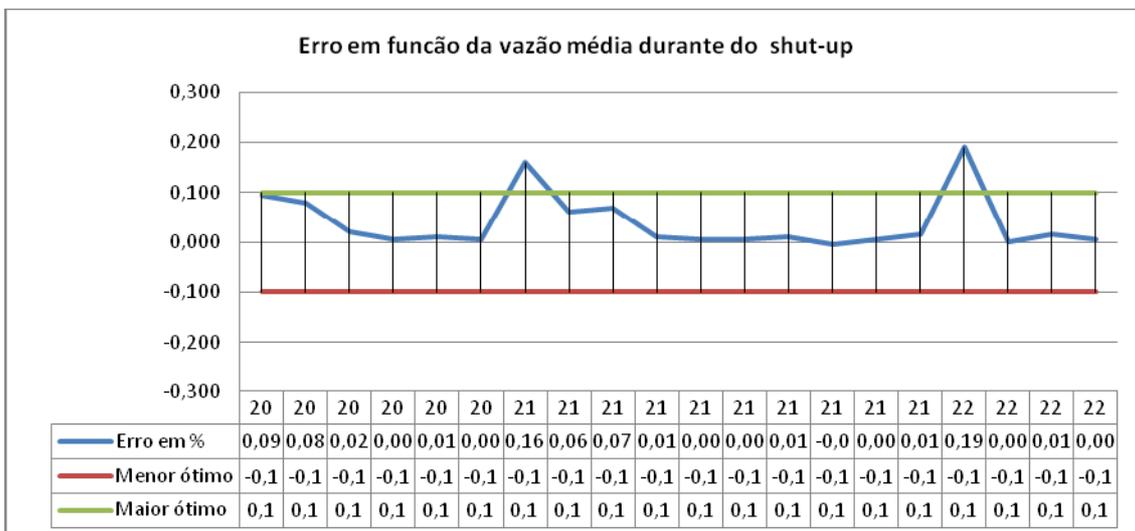


Gráfico 51 - Experimento 4 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o shut-up

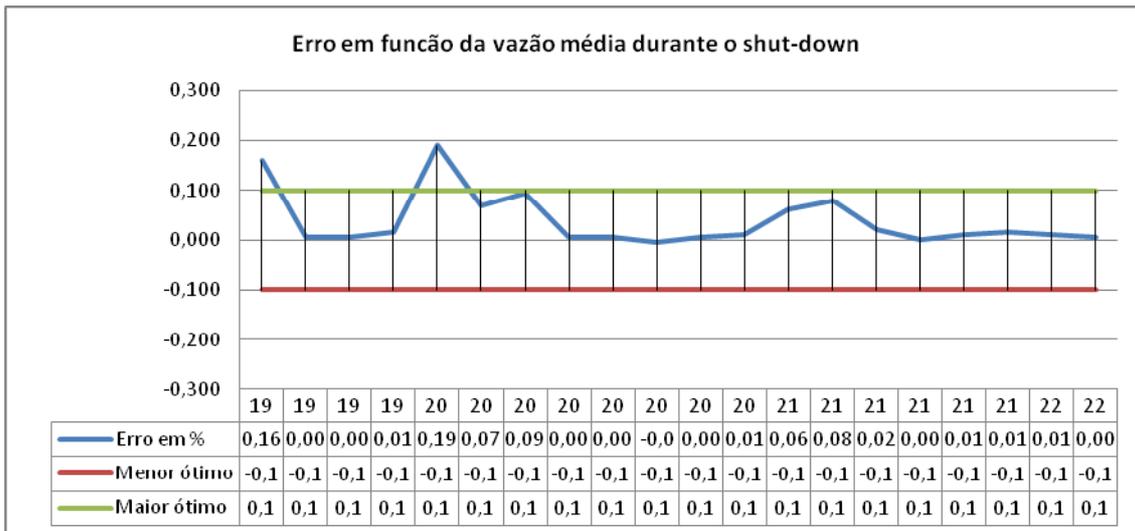


Gráfico 52 - Experimento 4 - Álcool Anidro - Erro em função da vazão média durante o shut-down

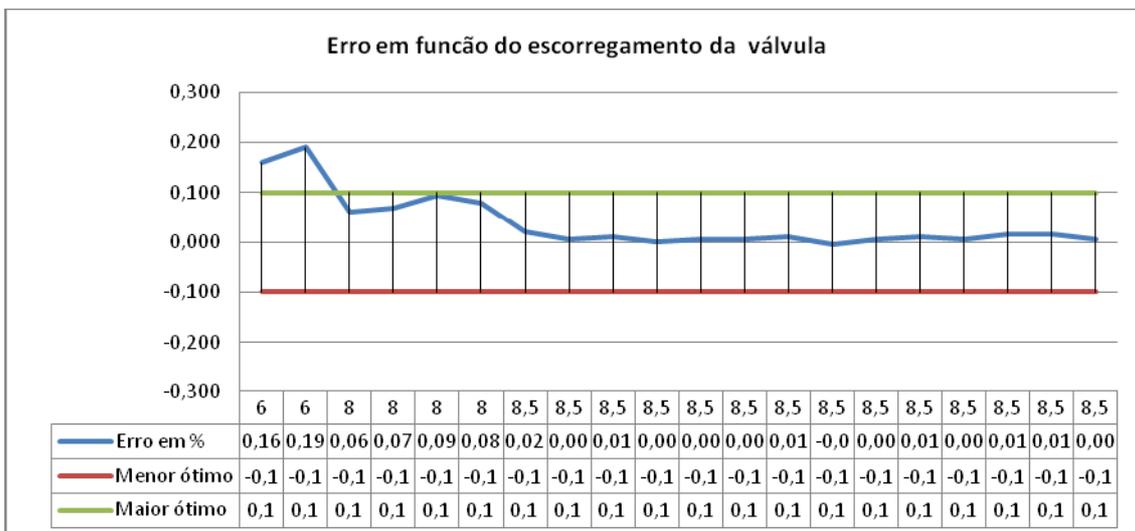


Gráfico 53 - Experimento 4 - Álcool Anidro - Erro em função do escorregamento da válvula

Analisando as tabelas e gráficos do experimento 4, pôde-se observar que a precisão do sistema de carregamento se mostrou satisfatória, ficando na maioria das amostras entre $\pm 0,1\%$.

11.4.5 Conclusão do Experimento 4

Analisando os gráficos e tabelas do experimento 4, é possível observar uma correlação entre fator de escorregamento da válvula e o erro no volume carregado.

Os erros que estavam acontecendo no transmissor de vazão ultra-sônico no que se referia a velocidade do som no fluido, não mais aconteceu, ou seja, a abertura e fechamento suave da válvula de controle solucionou o problema.

A substituição da válvula de retenção comum por uma válvula de retenção silenciosa, propiciou um silêncio na tubulação nos carregamentos abaixo de 120m³/h.

Esses fatores contribuíram para diminuir a aleatoriedade das principais variáveis que influenciam no fator K da equação de velocidade de vazão. As evoluções aplicadas ao sistema de carregamento permitiram que o fluxo se comportasse de maneira mais satisfatória no que se refere ao número de Reynolds.

Na comparação entre o terceiro e o quarto experimento, a evolução aplicada foi a substituição da válvula solenoide por uma válvula de controle de abertura proporcional e a válvula de retenção comum por uma válvula de retenção silenciosa. Utilizando a distribuição t-student unicaudal (tabelas x a x) é possível concluir com 99,95% de certeza, que a evolução aplicada propiciou melhora no erro do volume no carregado.

GRUPO 01 - GASOLINA A - 250m ³ /h	
Comparativo da melhora do erro na evolução do sistema inserindo uma válvula de controle com abertura proporcional e uma válvula de retenção silenciosa	
Experimento 03	Experimento 04
Erro do volume carregado no sistema sem controle proporcional	Erro do volume carregado no sistema com controle proporcional
0,6	0,09
0,74	0,065
-0,2	0,045
-0,1	0,085
0,6	0,125
0,7	-0,005
0,79	0,065
0,89	0,005
0,94	-0,03
0,1	-0,045
1,25	0,015
-0,3	0,06
0,55	0,06
0,7	0,08
0,5	0,05
0,25	-0,02
0	-0,01
0,79	0,005
0,4	0
-0,1	-0,01
média da diferença	0,482
desvio padrão	6,897
t	4,631
p	99,95%

Tabela 22 - Cálculo de certeza de melhora da evolução aplicada entre o experimento 3 e 4 na Gasolina "A" utilizando a distribuição t-student unicaudal

GRUPO 02 - DIESEL S1800 - 180m ³ /h	
Comparativo da melhora do erro na evolução do sistema inserindo uma válvula de controle com abertura proporcional e uma válvula de retenção silenciosa	
Experimento 03	Experimento 04
Erro do volume carregado no sistema sem controle proporcional	Erro do volume carregado no sistema com controle proporcional
1,53	0,21
1,38	0,19
0,74	0,09
1,67	0,08
-0,7	0,04
-0,91	0,005
1,53	0
0,25	0,04
0,4	0,04
0,74	0,06
0,65	0,03
-0,2	-0,01
0,7	0,055
-0,05	0,025
1,77	0,015
1,19	-0,02
1,09	0,015
0	0,06
0,6	0,045
-0,3	0,035
média da diferença	0,6325
desvio padrão	16,971
t	4,594
p	99,95%

Tabela 23 - Cálculo de certeza de melhora da evolução aplicada entre o experimento 3 e 4 no Diesel S1800 utilizando a distribuição t-student unicaudal

GRUPO 03 - ALCOOL HIDRATADO - 120m ³ /h	
Comparativo da melhora do erro na evolução do sistema inserindo uma válvula de controle com abertura proporcional e uma válvula de retenção silenciosa	
Experimento 03	Experimento 04
Erro do volume carregado no sistema sem controle proporcional	Erro do volume carregado no sistema com controle proporcional
0,4	-0,24
0,3	-0,18
0,4	0,06
0,6	0,045
0,1	0,055
-0,05	0,045
-0,1	0,005
0,15	0,01
-0,03	-0,01
0,2	-0,01
0	-0,02
0,1	-0,005
0,6	0,005
0,7	0
0,4	-0,01
0,55	0,015
-0,2	0,015
0,1	0,005
0,05	-0,01
0,3	-0,02
média da diferença	0,175
desvio padrão	2,573
t	4,554
p	99,95%

Tabela 24 - Cálculo de certeza de melhora da evolução aplicada entre o experimento 3 e 4 no Álcool Hidratado utilizando a distribuição t-student unicaudal

GRUPO 04 - ALCOOL ANIDRO - 90m ³ /h	
Comparativo da melhora do erro na evolução do sistema inserindo uma válvula de controle com abertura proporcional e uma válvula de retenção silenciosa	
Experimento 03	Experimento 04
Erro do volume carregado no sistema sem controle proporcional	Erro do volume carregado no sistema com controle proporcional
0,1	0,16
0,3	0,19
0,15	0,06
-0,3	0,07
0,05	0,095
0,15	0,08
0,2	0,02
0,15	0,005
0,4	0,01
-0,2	0
-0,4	0,005
0,2	0,005
0,05	0,01
0,15	-0,005
0	0,005
0	0,01
0,05	0,005
0,2	0,015
0,45	0,015
-0,1	0,005
média da diferença	0,0575
desvio padrão	0,86
t	4,562
p	99,95%

Tabela 25 - Cálculo de certeza de melhoria da evolução aplicada entre o experimento 3 e 4 no Álcool Anidro utilizando a distribuição t-student unicaudal

CAPÍTULO XII - CONCLUSÃO

A automação de bases de carregamento, se torna um assunto um pouco difícil de se tratar, pois esse é um mundo que não é muito aberto aos estranhos a ele. Fazer experimentos em uma base de carregamento é difícil, tendo em vista que todo teste impacta na operação da mesma. A execução desses testes em laboratórios, poderiam mascarar alguns resultados, pois pouco provavelmente as condições reais de campo seriam reproduzidas fielmente.

Os testes efetuados foram mais abrangentes do que os mostrados nos experimentos. Para a seleção de alguns componentes, características de viabilidade econômica e viabilidade técnica foram determinantes.

Para a execução dos experimentos tiveram de ser criados alguns equipamentos para tornar possível a utilização da lógica. Entre os equipamentos criados e patenteados durante a pesquisa está o “Gabinete para computador a prova de explosão”.

Após aproximadamente 30 meses de coleta de dados, vistos os confrontos das informações apresentadas nas tabelas e gráficos, observando também a conclusão de cada experimento pode-se concluir que:

1 – É possível incluir o transmissor de vazão ultra-sônico ao processo, e em virtude da ausência de partes mecânicas e os resultados apresentados nos experimentos, o transmissor de vazão ultra-sônico pode ser recomendado para esse tipo de processo.

2 – Para a utilização do transmissor de vazão ultra-sônico os fatores mais relevantes observados foram a sua característica de instalação que deve respeitar trechos amontante e ajusante, observar também a válvula de retenção ou outros dispositivos mecânicos que geram ruído no processo evitando o enquadramento da instalação no grupo de “Barulhos”. Outro fator

importante foi a adequação da válvula de controle para uma abertura suave evitando que o transmissor de vazão apresentasse um estado de erro no que se refere a aceleração e a desaceleração do fluido dentro da tubulação. A geração de pulsos ou de um sinal analógico de vazão instantânea deve ser definitivamente confiável, pois sem essa linearidade fica improvável a verificação de outras variáveis aleatórias que estejam influenciando o sistema.

3 – A faixa de valores dos fatores visualizados dependerá das características mecânicas do processo. A identificação dessas faixas é simples quando se utiliza uma medida padrão, que permita, uma verificação dos valores do escorregamento da válvula de controle e também da calibração do processo junto ao transmissor de vazão ultra-sônico considerando a sua instalação mecânica e dos componentes que o agrupam, como por exemplo, o braço de carregamento e a válvula gatilho. Analisando as tabelas e os gráficos do experimento 4, observa-se através dos erros de cada amostra que o sistema em mais de 90% dos carregamentos operou dentro do erro de $\pm 0,1\%$. É possível ainda fazer alguns ajustes mais finos, porém esses irão depender de um esforço dedicado na característica mecânica do processo.

4 – Observando os gráficos do experimento 4, é possível observar a linearidade confiável e estável do processo de carregamento. Essa linearidade permite a configuração de um fator de correção do processo, ajustando a curva de erro para cima ou para baixo aplicando um fator de correção diretamente na batelada, subtraindo ou adicionando algo entre 0,01% e 0,06% do volume solicitado para o carregamento. Essa ação permitiria gerenciar os resultados do volume carregado.

O desenvolvimento do sistema, com uma certeza de 95,5%, foi satisfatório. As principais relevâncias na utilização do transmissor de vazão ultra-sônico, não estão presentes somente nas questões eletrônicas ou lógicas do processo, mas também nas considerações mecânicas. Uma vez que o conhecimento de que o transmissor de vazão ultra-sônico é um transmissor de princípios físicos ausente de partes mecânicas, e, observando todas as características que influenciam na física do fluido e na condução mecânica do mesmo dentro da tubulação, não haverá problemas com a implantação do

transmissor de vazão ultra-sônico em um sistema automatizado para carregamento rodoviário *top load* de combustíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Miller, R.W., *Flow Measurement Engineering Handbook*, 2ª Edição, McGraw-Hill Publishing Company, 1989.
- 2) De Carlo, J. P., *Fundamentals of Flow Measurement*, International Society of Automation, 1984.
- 3) Denbow, N., *Ultrasonic Techniques*, Woodhead Publishers UK, 2001.
- 4) Fox, R. W., e A. T. McDonald, *Introduction to Fluid Mechanics*, Wiley, 1973.
- 5) Kaimal, J. C., J.T. Newman, A. Bisberg, e K. Cole, *Flow, Its Measurement and Control in Science and Industry*, International Society of automation, 1974.
- 6) Pedersen, N. C. *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, CRC Press, 1999.
- 7) Mamzic, C.L., *Statistical Process Control*, International Society of automation, 1995.
- 8) Wilerson Sturm, *Sensores Industriais – Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas*, Editora Papel Virtual, 2004.
- 9) Corripio, A. B., *Tuning of Industrial Control System*, 2ª Edição, International Society of Automation, 2001.
- 10) Corripio, A.B., *Design and Application of Process Control System*, 1ª Edição, International Society of Automation, 1998.
- 11) *Dictionary of Measurement and Control*, 3ª Edição, International Society of Automation, 1994.
- 12) Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade industrial - CONMETRO, Resolução nº 11 de 12 de outubro de 1988.
- 13) Organisation Internationale de Métrologie Légale, *OIML R117*, Edição 1995 (e).
- 14) Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), Portaria nº 064 de 11 de abril de 2003.

- 15) Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), Portaria nº 059 de 19 de março de 1993.
- 16) American Society of Mechanical Engineers, *Fluid Meters*, 6ª Edição, 1971.
- 17) Hughes, T.A, *Programmable Controllers*, 3ª Edição, International Society of Automation, 2001.
- 18) Spitzer, D.W., *Flow Measurement*, 2ª Edição, International Society of Automation, 2001.
- 19) *História da distribuição de combustíveis no Brasil e Estatísticas de distribuição de combustíveis no Brasil*, SINDICOM – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes.

APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEIS

De uma forma geral o caminho que percorrem os derivados de petróleo e os biocombustíveis são semelhantes. Porém esse caminho pode variar dependendo do país e as respectivas políticas que estão submetidas a produção dos combustíveis. Podemos observar a “Seqüência dos derivados” e a “Seqüência dos biocombustíveis”, para entender melhor como funciona a cadeia produtiva no Brasil:

2.1 Sequência dos derivados

Passo 1 – Primeiramente o petróleo é retirado do sub-solo. Essa retirada ocorre através da extração terrestre ou marítima. No Brasil o principal meio de exploração de petróleo é no mar, através de plataformas de exploração (figura 33) de variados tipos.



Figura 33 - Apêndice A - Plataforma de exploração de petróleo

Passo 2 – Após o petróleo ser retirado das profundezas do planeta terra, ele é transportado para as refinarias (figura 34) para ser transformado em variados produtos, onde os que interessam para essa dissertação são a Gasolina e o Óleo diesel. Depois do refino eles são pré-armazenados em tanques na refinaria.



Figura 34 - Apêndice A - Refinaria de petróleo

Passo 3 – Após a produção e pré-armazenagem da Gasolina e do Óleo Diesel, especificamente no Brasil, esses combustíveis são vendidos às Distribuidoras onde elas determinam onde esse combustível será entregue. Essa entrega sempre acontece em Bases Primárias de Carregamento (figura 35).



Figura 35 - Apêndice A - Base primária de carregamento

2.2 Sequência dos Biocombustíveis

Passo 1 – O Etanol é obtido mais comumente através do plantio da cana de açúcar (figura 36) ou milho, e o Biodiesel é extraído de óleos vegetais proveniente de basicamente qualquer vegetal como soja, algodão, milho e etc...



Figura 36 - Apêndice A - Plantação de cana

Passo 2 – Uma vez efetuada a colheita da matéria prima do etanol e do biodiesel, essa é encaminhada para a usina de processamento (figura 37) onde se obtém o etanol e o biodiesel. Depois do processo eles são pré-armazenados em tanques na usina.



Figura 37 - Apêndice A - Usina de Álcool

Passo 3 – Após a produção e pré-armazenagem do Etanol e do Biodiesel, especificamente no Brasil esses combustíveis são vendidos às Distribuidoras onde normalmente são retiradas com caminhões tanque (figura 38) e levadas normalmente á bases primárias, as mesas que receberam a Gasolina e o Óleo Diesel.



Figura 38 - Apêndice A - Transporte rodoviário

Os passos seguintes tanto na “Sequencia dos derivados” quanto na “Sequencia dos biocombustíveis” é a mesma.

As distribuidoras vendem os combustíveis normalmente para os postos de combustíveis ou produtores rurais, e os mesmos são carregados em caminhões tanque (figura 38) através de plataformas de carregamento (figura 39), onde essas são configuradas em duas modalidades diferentes de carregamento chamadas Top load (figura 40) e Botton load (figura 41).



Figura 39 - Apêndice A - Plataforma de carregamento de uma base primária

2.3 Carregamento Top Load

O carregamento top load como o próprio nome já diz se dá pela parte superior do compartimento de carga, esse é o sistema comumente utilizado no Brasil e a referencia para esse tipo de carregamento é uma seta metálica soldada dentro do compartimento. A altura dessa seta é aferida pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), onde é determinado o volume do tanque.



Figura 40 - Apêndice A - Plataforma de carregamento *top load*

2.4 Carregamento Botton Load

O carregamento Botton Load ainda é muito pouco utilizado no Brasil, apesar das suas várias vantagens em cima do sistema top load, dentro delas podemos destacar a não emissão de vapores combustíveis na atmosfera, proporcionando maior segurança ao procedimento e também o fato de poder carregar mais de um compartimento simultaneamente, não que no sistema top load não seja possível, mas para cada bico de carregamento do top load tem de haver uma pessoa operando, ou seja, no sistema botton load simultaneamente um operador ou motorista poderá carregar todos os compartimentos simultaneamente no top load não.



Figura 41 - Apêndice A - Plataforma de carregamento *bottom load*

APÊNDICE B - TRANSFERÊNCIA DE CUSTÓDIA

Independentemente das configurações da plataforma tanto no sistema top load quanto no sistema botton load o estudo desenvolvido nesta dissertação é aplicável.

Todos esses caminhos percorridos pelos combustíveis derivados e bio combustíveis têm de haver controle tributário, pois na hora em que a refinaria produz a gasolina ou o diesel e as usinas produzem o etanol ou o bio diesel e a venda acontece, na hora em que o produto será transportado, isso envolve valores financeiros e tributários, á esse tipo de movimentação damos o nome de “Transferência de custódia”.

Da mesma maneira acontece quando a distribuidora vende para o cliente final que é normalmente um posto de combustíveis ou produtor rural, o produto a ser entregue e a maneira como é carregada influencia diretamente sobre os custos e tributações envolvidas, ou seja, tem de haver uma “transferência de custódia”.

A transferência de custódia no Brasil é regulamentada pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) através da Portaria Inmetro N° 064, de 11de abril de 2003 cujo faz referência direta a norma da OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale – Organização Internacional de Metrologia Legal) R117 – 95e.

A portaria 64 do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) no item 5.2:

5.2 Classes de exatidão

5.2.1 Em função de sua utilização, os sistemas de medição são classificados em cinco classes de exatidão segundo a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de exatidão para sistemas de medição

Classe Utilização

0.3

- Sistemas de medição em um duto (ver 4.2.1 e 6.24.3)
- Sistema de medição fiscal de petróleo em linha (ver 4.2.2 e 6.24.3)

0.5

- Sistemas de montados em veículos-tanque rodoviários.(ver 6.24.1).
- Sistemas de medição para o descarregamento de navios-tanque, tanques rodoviários e ferroviários (ver 6.24.2)
- Sistemas para carregamento de navios (ver 6.24.3)

1.0

- Sistema de medição para gás liqüefeito sob pressão medidos a uma temperatura igual ou maior que 10 °C (ver 6.24.4) (exceto bomba medidora para combustíveis gasosos liqüefeitos de petróleo).
- Sistemas de medição, normalmente da classe 0.3 ou 0.5, porém utilizados para líquidos:
 - - cuja temperatura seja inferior à -10 °C ou superior a 50 °C , ou
 - - cuja viscosidade dinâmica seja superior a 1000 mPa.s, ou cuja vazão máxima volumétrica
 - seja inferior a 20 L/h
- Sistema de medição para apropriação da produção de petróleo (ver 4.2.3 e 6.24.3)
- Sistema de medição operacional (ver 4.2.4 e 6.24.3).
- 1.5

Na tabela apresentada a classe que o sistema de carregamento objetivo dessa dissertação se encaixa é a classe 03, onde através do item:

4.2.1 Sistema de medição em um duto: sistema de medição instalado em um duto fixo, ligado a dois ou mais tanques, utilizado para produtos derivados de petróleo líquidos, álcool anidro, álcool hidratado carburante e óleo cru estabilizado.

Nota: O duto é caracterizado por uma vazão do líquido que, em geral, ou não muda ou muda pouco durante um período prolongado.

O item 6.24.3 especificado na classe de exatidão 0.3 não se enquadra para o sistema de carregamento objetivo dessa dissertação.

Ainda na análise da portaria o item 5.2 continua:

Tabela 2 - Erros máximos admissíveis por classes de exatidão

Classes de exatidão ⇒	0.3	0.5	1.0	1.5
A* (%)	0,3	0,5	1,0	1,5
B* (%)	0,2	0,3	0,6	1,0

(*) ver 5.4

No item 5.4 a relevância com relação ao sistema de carregamento objetivo, se encontra até o item 5.4.3:

5.4 Condições para aplicação dos erros máximos admissíveis

5.4.1 As disposições deste parágrafo se aplicam às indicações de volume nas condições de medição (ver 5.5 para as indicações convertidas).

5.4.2 Os erros máximos admissíveis especificados na linha A da tabela 2 devem ser aplicados aos sistemas de medição completos, para todos os líquidos, todas as temperaturas e todas as pressões de líquidos, e para todas as vazões para as quais o sistema foi projetado ou foi aprovado, sem qualquer ajuste durante os diversos ensaios realizados durante a aprovação de modelo do sistema de medição, durante a verificação inicial quando realizada em uma etapa, ou durante a segunda etapa da verificação inicial quando esta for realizada em duas etapas e durante as verificações subsequentes.

5.4.3 Os erros máximos admissíveis na linha B da Tabela 2 devem ser aplicados na aprovação de modelo de um medidor, para todos os líquidos, todas as temperaturas e todas as pressões dos líquidos, e todas as vazões para as quais a aprovação do sistema for requerida e na verificação inicial (primeira etapa da verificação) de um medidor destinado a equipar um sistema de medição sujeito a uma verificação inicial em duas etapas.

O sub item do item 5.4, o item 5.4.1 não se enquadra no caso do sistema de carregamento objetivo.

Os trechos apresentados da portaria 64 são espelho do apresentado na norma da OIML R117 – 95e onde se verifica a fiel referencia através do parágrafo titular da portaria:

O PRESIDENTE DO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO, no uso de suas atribuições, conferidas pela Lei n.º 5.966, de 11 de dezembro de 1973, e tendo em visto o disposto no artigo 3º, inciso III, da Lei n.º 9.933, de 20 de dezembro de 1999, e na alínea “a” , do subitem 4.1, e item 11 da Regulamentação Metrológica aprovada pela Resolução n.º 11, de 12 de outubro de 1988, do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Conmetro;

Considerando as Recomendações n.os 117 e 105, da Organização Internacional de Metrologia Legal-OIML;

Considerando que o assunto foi amplamente discutido com os segmentos da sociedade ligados a produção, medição e comercialização de petróleo, seus derivados líquidos, álcool anidro e álcool hidratado carburante;

A norma da OIML R105-e93 não será comentada aqui, pois a mesma trata das características de transferência de custódia para medidores de vazão mássicos, onde o objetivo dessa dissertação é apresentar o transmissor de vazão de principio ultrassônico.

3.1 Precisão normativa

Quando a norma trata de um erro de $\pm 0,3\%$, torna-se necessário identificar qual é a referência deste $\pm 0,3\%$. De acordo com a portaria Portaria nº 059, de 19 de março de 1993:

O Presidente do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial- INMETRO, no uso de suas atribuições, tendo em vista o disposto na alínea "a" do subitem 4.1 da Resolução CONMETRO nº 11, de 12 de outubro de 1988.

Considerando que os veículos-tanque rodoviários utilizados para medição e transporte de líquidos, nas transações que envolvam as atividades previstas no item 8 da referida Resolução CONMETRO, devem atender às especificações estabelecidas pelo INMETRO.

No item citado da Resolução CONMETRO nº 11 o item 8 descreve:

8. Os instrumentos de medir e as medidas materializadas, que tenham sido objeto de atos normativos, quando forem oferecidos à venda; quando forem empregados em atividades econômicas; quando forem utilizados na concretização ou na definição do objeto de atos em negócios jurídicos de natureza comercial, cível, trabalhista, fiscal, parafiscal, administrativa e processual; e quando forem empregados em quaisquer outras medições que interessem à incolumidade das pessoas, deverão, obrigatoriamente:

- a) corresponder ao modelo aprovado pelo INMETRO;
- b) ser aprovados em verificação inicial, nas condições fixadas pelo Instituto;
- c) ser verificados periodicamente.

8.1 O INMETRO determinará quais as medidas materializadas e instrumentos de medir sujeitos às obrigações definidas neste item.

8.2 Em casos especiais poderá o INMETRO isentar de verificação periódica determinadas classes de medidas materializadas e instrumentos de medir, bem como da aprovação de modelos.

Observando as determinações normativas, remete-se novamente a portaria 59 do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) e observa-se a determinação do dispositivo de referencia nos itens:

2.10 Dispositivo de referencia: Indicador localizado no cofre de expansão, usado para materializar o plano de referencia o qual deverá tangenciar a parte superior da semi-esfera existente em sua extremidade.

2.11 Vertical de medição: Vertical que passa pelo ponto médio do eixo longitudinal do tanque de carga ou do compartimento. A interseção da vertical de medição com o plano de referencia define a estrutura da semi-esfera do dispositivo de referencia.

2.12 Cofre de expansão: Parte superior do tanque de carga ou do compartimento que se estende sobre todo o seu compartimento, destinado a receber variação de volume líquido contido, ocasionadas pelas variações de temperatura.

Tendo as definições estipuladas segue no item:

3.1.8 A vertical de medição deve encontrar uma superfície suficientemente plana na parte inferior do tanque de carga ou do compartimento, tal que permita medições de altura em torno desta vertical, com variação máxima de 2mm. A superfície plana é materializada por uma chapa plana de forma quadrada com 15 cm de lado e 0,5 cm de espessura, fixada diretamente no fundo do tanque de carga ou compartimento.

Onde chega-se a conclusão da referencia do volume em litros através do item:

3.3.3 No dispositivo de referencia deve estar gravada, claramente, a capacidade nominal do tanque de carga ou compartimento a que ele pertence. O dispositivo de referencia deve possuir, ainda, a numeração do compartimento a ele correspondente.

Analisando as determinações normativas, torna-se verdade que a referencia, é a parte superior da esfera do dispositivo de referencia cujo a partir deste momento será denominado "SETA".

O ato de se encher um tanque ou compartimento para ser analisado a sua referencia com relação á seta será a partir deste momento denominado “BATELADA”.

Assim sendo pode-se afirmar que o erro estipulado em norma é de $\pm 0,3\%$ tendo como referencia a batelada em litros (l), porém as vezes tendo em vista a utilização prática usa-se a informação em metros cúbicos (m³).

APÊNDICE – IMPACTO FINANCEIRO

Para um raciocínio claro exemplifica-se, para uma batelada de 5.000 litros (5 m³) o erro máximo de 15 litros (0,015 m³) e para uma batelada de 30.000 litros (30 m³) o erro máximo de 90 litros (0,09 m³). As normas não deixam claro, porem pelo conhecimento prático de mercado sabe-se que a permissividade do erro se dá tanto para valores positivos quanto negativos.

De acordo com o “ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETROLEO, GAS NATURAL E BIO COMBUSTIVEIS – 2009” publicado pela ANP, no Brasil existem 508 bases de distribuição de combustível, apesar de na pratica essas bases não tem a mesma capacidade de escoação de produto, porem para facilitar os cálculos vamos supor que elas tenham a mesma capacidade.

Para não tornar o cálculo muito moroso, considerar-se-á apenas o consumo de Óleo Diesel, Gasolina A e Alcool Anidro.

Gráfico 01 – Óleo Diesel consumido em 2008 segundo a ANP (Agência Nacional de Petroleo):

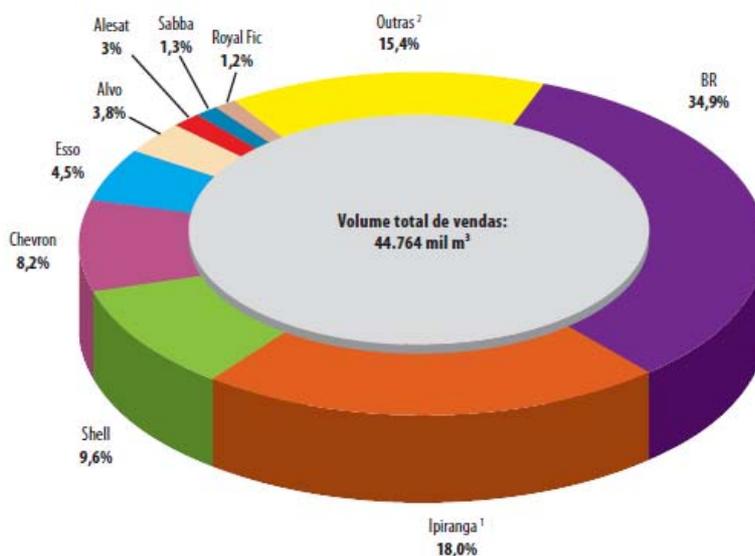


Gráfico 54 – Quantidade de óleo Diesel consumido no Brasil em 2008

De acordo com o gráfico 01 foram consumidos no Brasil aproximadamente 44.764.000.000 (quarenta e quatro bilhões, setecentos e sessenta e quatro milhões) de litros de óleo diesel.

Gráfico 02 – Gasolina C consumido no ano de 2008 segundo a ANP (Agência Nacional de Petróleo):

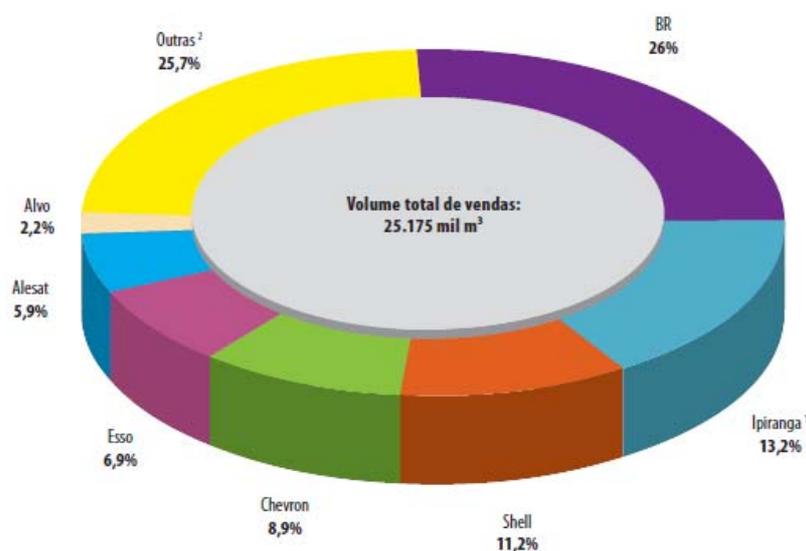


Gráfico 55 - Quantidade de Gasolina C consumida no Brasil em 2008

De acordo com o gráfico 02 foram consumidos no Brasil aproximadamente 25.175.000.000 (vinte e cinco bilhões cento e setenta e cinco milhões) de litros de gasolina C. É de conhecimento prático da população que no ano de 2008 o teor de álcool misturado á gasolina pura também conhecida como gasolina “A”, era de 25% (a variabilidade desta informação não tem considerável relevância tendo em vista que essa informação será utilizada apenas para demonstrativo superficial da viabilidade econômica da pesquisa foco dessa dissertação) assim sendo temos 18.881.250.000 (dezoito bilhões oitocentos e oitenta e um milhões duzentos e cinquenta mil) litros de gasolina A e 6.293.750.000 (seis bilhões duzentos e noventa e trez milhões e setecentos e cinquenta mil) litros de álcool anidro.

Considerando a variabilidade dos preços durante o ano, no intuito de facilitar a demonstração da viabilidade adotar-se-á os preços médios:

R\$ 2,00 (dois reais) o litro do óleo diesel, R\$ 2,00 (dois reais) o litro da gasolina A e R\$ 1,00 (hum real) o litro do álcool anidro.

Uma vez estipulado os erros normativos, os volumes comercializados e os preços médios, temos:

Tabela 01 - Cálculo médio dos valores e erros comercializados de combustível em 2008

Tabela 01: Cálculo médio dos valores e erros comercializados de combustível em 2008				
Combustível	Volume (litros)	Preço médio (R\$)	Valor total (R\$)	Erro normativo $\pm 0,3\%$ (R\$)
Óleo Diesel	44.764.000.000	R\$ 2,00	R\$ 89.528.000.000,00	R\$ 268.584.000,00
Gasolina A	18.881.250.000	R\$ 2,00	R\$ 37.762.500.000,00	R\$ 113.287.500,00
Alcool Anidro	6.293.750.000	R\$ 1,00	R\$ 6.293.750.000,00	R\$ 18.881.250,00
			Erro total	R\$ 400.752.750,00

Tabela 02 - Cálculo médio dos volumes e erros comercializados de combustível em 2008

Tabela 02: Cálculo médio dos volumes e erros comercializados de combustível em 2008		
Combustível	Volume (litros)	Erro normativo $\pm 0,3\%$ (litros)
Óleo Diesel	44.764.000.000	134.292.000
Gasolina A	18.881.250.000	56.643.750
Alcool Anidro	6.293.750.000	18.881.250
Erro total		209.817.000

Observando a tabela 01 e 02 pode-se concluir que o Brasil tem um patrimônio de mais de quatrocentos milhões de reais que passam pelas distribuidoras que em virtude do erro normativo simplesmente não se sabe onde estão. E da mesma maneira podemos observar que mais de duzentos milhões de litros de combustível se esvaem pela permissividade do erro normativo.

APÊNDICE D - CONCEITOS

1 Sensoriamento

Sensores são dispositivos ou equipamentos que interpretam alguma mudança em uma determinada grandeza física, dentro do seu campo de atuação, e as transformam em variações de alguma grandeza elétrica mensurável, gerando assim um sinal de saída proporcional a grandeza física lida. Os sensores podem alterar quaisquer das suas características elétricas como por exemplo a capacitância[1], indutância[2] ou até mesmo a sua resistência[3] sob a ação da grandeza, de forma proporcional, linearmente ou não linearmente podendo em alguns casos restringir-se a uma certa região de variação da grandeza, fora da qual não haverá linearidade suficiente aceitável ao processo. Os sensores utilizados nos experimentos foram utilizados para detectar as grandezas físicas de temperatura, pressão, vazão e densidade dos fluidos.

2 Aquisição e tratamento das informações de campo

As aquisições de dados foram feitas de três maneiras distintas, sendo elas através de obtenção de sinal de 4 a 20mA, sinais digitais discretos e rede digital profibus PA e profibus DP, depois todas foram tratadas em um CLP com código programado em Ladder e STL (Structured Language).

3 Características físico-químicas dos fluidos do fluidos utilizados nos experimentos

Uma breve abordagem sobre a mecânica dos fluidos é importante para tornar familiar algumas propriedades físicas, nomenclaturas, e as unidades de medição dessas propriedades. Dependendo do tipo de transmissor de vazão, essas propriedades pode ter um maior efeito no resultado do desempenho e performance do transmissor de vazão. Algumas dessas propriedades tem o nome em inglês e não tem tradução para o português, até mesmo porque a pratica da sua pronuncia em inglês é fixada no chão de fábrica.

As principais características mecânicas dos fluidos podem ser listadas em:

- Condutividade elétrica
- Condutividade sônica
- Pressão
- Temperatura
- Gravidade específica
- Densidade
- Viscosidade

As unidades de medidas utilizadas para definir as propriedades dos fluidos são usualmente uma combinação do sistema de medidas SI (Système Internationale d'Unités) e o sistema métrico Inglês. Em alguns países que formalmente utilizam o Sistema Métrico, uma combinação do SI e o antigo sistema métrico.

O SI é um sistema métrico moderno e proposto como um sistema base ao redor do mundo.

O antigo sistema métrico, também conhecido como "C.G.S." foi usado por muitos anos. Algumas das medidas provenientes desse padrão são os centímetros, gramas e o graus celcius.

O sistema inglês foi formalmente utilizado na maioria dos países de idioma inglês. Algumas das medidas provenientes desse padrão são polegadas, pounds e graus Fahrenheit. Alguns desses países já mudaram ou estão mudando parcialmente ou totalmente para o sistema SI.

3.1 Condutividade Elétrica

Do Inglês *Electrical Conductivity*, essa propriedade é importante ao considerar-se os medidores de vazão magnéticos. Na maioria dos casos o medidor está habilitado para detectar a vazão somente dos líquidos com uma baixa condutividade elétrica. Líquidos orgânicos como óleos e hidrocarbonetos são na maioria dos casos excelentes isoladores ou com uma condutividade insignificante. Na maioria dos casos esses não são medidos com medidores de vazão magnéticos . a condutividade mínima é sempre especificada pelo fabricante , e é muito importante para ter certeza se o líquido a ser medido é suficientemente condutivo. É fundamental observar além da condutividade elétrica normal do fluido também em alguns casos a máxima condutividade e ou a mínima, pois é totalmente possível que ela mude durante a operação causando erros.

A unidade dimensionada para a condutividade é usualmente determinada por “micromhos/cm”, “micromhos/cm³” ou Siemens (S). Algumas literaturas apresentam como “resistência” ao invés de “condutividade”. Os dois termos estão corretos e são meramente recíprocos um ao outro. A unidade utilizada normalmente para quando se usa o termo resistência é o “ohms/cm³”.

3.2 Condutividade Sônica

Do inglês *Sonic Conductivity*, os transmissores de vazão ultrassônicos dependem da condução do som através do fluido medido. Quando utilizado o transmissor de vazão do tipo “Doppler” , as ondas sonoras devem ignorar as partículas no líquido, mas não é necessário que a onda sonora atravesse todo o diâmetro da tubulação. Quando usando o medidor do tipo “Tempo de transito” também conhecido como “*Transit time*” ou “*time-of-*

flight”, o fluído deve ser relativamente livre de partículas suspensas para permitir a passagem do som de um lado para o outro da tubulação. Essa é a única propriedade dos líquidos que tem uma certa complexidade em ser mensurada no que se refere á quantidade de partículas.

3.3 Pressão

A pressão é definida como a força dividida pela área onde a força está sendo eventualmente distribuída. Uma vez que líquidos e gases são fluidos, eles exercem uma pressão sobre onde eles estão. A pressão da vazão de um fluido tornar-se muito um critério essencial quando se trata da definição da performance do sistema de medição de vazão.

O sistema de medidas SI mede a pressão em newtons por metro quadrado o qual é chamado de “pascal” (Pa). O pascal é uma medida de valores muito pequenos tornando comum a utilização da unidade “kilo pascal” (kPa ou MPa), que é 1000 e 1.000.000 pascals, respectivamente. Em países que formalmente usam o sistema métrico, esses tem a tendência de utilizar os antigos sistemas porem até hoje muito comuns que são o “bar” e os kilograma força por centímetro quadrado (Kgf/cm²). A métrica inglesa mede a pressão por lb/in² libras por polegada quadrada.

Tres tipos específicos de pressão devem ser descritos, sendo:

Pressão Absoluta, do inglês *Absolute Pressure*, é a pressão do fluido considerando o vácuo presente e se presente e desconsiderando a pressão atmosférica fora do recipiente que contem o fluido.

Pressão Relativa, do inglês *Gage Pressure* é a pressão do fluido considerando a pressão atmosférica fora do recipiente que contem o fluido.

Pressão diferencial, do inglês *Differential pressure* é a diferença entre a pressão absoluta e a pressão relativa. Nota-se que a perssão relativa é uma pressão diferencial entre o fluido medido e a pressão atmosférica.

O sistema de medição SI, não faz distinção entre a pressão absoluta e a pressão relativa, algumas vezes é necessário definir a pressão que está sendo medido especificando na unidade de medida como “kPa abs”, “kPa gage”, e “kPa diff”. Porém tornar-se tudo igual quando a definição da medida se dá em bars ou kilograma por centímetro quadrado. Na métrica inglesa as abreviações também são definidas separadamente como no sistema SI sendo “psig”, “psia” e “psid”, respectivamente, descrevendo claramente a pressão pretendida.

O sistema de medição SI faz distinção entre a unidade de força e a unidade de massa (newtons e kilogramas). No sistema inglês e no sistema métrico antigo o mesmo nome é utilizado para força e para massa. Essas determinações causam uma certa confusão e requerem e inclusão de uma unidade de conversão que é “g_c” que é exatamente igual á aceleração da gravidade ao nível do mar. Esta conversão se dá pela equação:

$$F = m \cdot g_c$$

Equação 10 - Cálculo de conversão da pressão

Outra de unidade de medida muito difundida para determinar a pressão é a altura da coluna de água ou de mercúrio. Essa unidade é muito comumente utilizada para medição de pressão diferencial. Tipicamente as unidades são “polegadas de água”, ou “milímetros de mercúrio”.

Os nomes são variados mas as métricas são simples, para mostrar o quão simples são, segue abaixo uma tabela de conversão:

1 psi	6.895 kPa
1 kPa	0,1450 psi
1 bar	100 kPa
1 bar	14,50 psi
1 MPa	145 psi
1 psi	27,73 polegadas de água
1 kPa	101,97 mm de água
1 kPa	4,019 polegadas de água

Tabela 26 - Unidades de conversão de pressão

Ao nível do mar a pressão atmosférica pode variar de acordo com as condições climáticas. Porém o valor médio é 14,7 +- 0,5 psia. Se a pressão relativa é menor que a atmosférica, pode se dizer que tem-se o vácuo, contudo essa afirmativa não é certa de ser utilizada tendo em vista que as unidades de medição modernas evitam utilizar vácuo como uma unidade de medida de pressão. É usual simplesmente chamar de “pressão relativa negativa”.

3.4 Temperatura

A ciência diz que descrever a temperatura é dizer que quando um corpo está a certa temperatura e em contato com outro corpo qualquer em uma temperatura menor este provará uma troca de calor de forma a equalizar as temperaturas dos corpos. Essa não é uma definição muito prática, contudo, é suficiente dizer que a temperatura é a medição da ausência de calor ou da ausência de frio.

As temperaturas são apresentadas em algumas escalas onde as mais comuns são: Kelvin, Celsius, Rankine, Fahrenheit e Reaumur.

No sistema SI, a temperatura é definida como temperatura absoluta em kelvins (K). As escalas absolutas começam em zero, representando o menor valor teórico possível à temperatura. A escala em Celsius (C) é baseado nas características de pressão atmosférica da água onde o congelamento se dá à 0°C e a ebulição à 100°C. uma temperatura em graus Celsius é 273,15 graus abaixo da temperatura expressada em kelvins e um grau em Celsius tem o mesmo valor de um em kelvin.

O nome “Graus Celcius” em algumas literaturas pode ser encontrado como “Graus Centígrados” que provem do Frances, mas ambas são corretas e exatamente correlatas.

O sistema inglês de medição de temperatura é similar ao sistema SI exceto pelo tamanho de cada grau que é menor. Em teoria cada 1,8 graus é igual a um grau no sistema SI. No sistema inglês a escala absoluta se dá em Rankine (°R), e é conveniente com a escala Fahrenheit. A escala Rankine começa com o menor valor possível de temperatura em zero, exatamente como a escala em kelvin. A escala Fahrenheit não é relacionada com o comportamento da água, mas sim, com as condições climáticas. Zero graus em Fahrenheit é sobre o quão frio está e 100 graus Fahrenheit é sobre o quão quente está em algumas partes do mundo. Observando uma correlação podemos afirmar que a água congela a 32°F e o ponto de ebulição se dá a 212°F. Uma temperatura expressada em graus F é 359,67 graus menor de quando uma temperatura é expressa em kelvin. Um Grau Fahrenheit tem o mesmo valor de um em Rankine.

Uma outra escala utilizada atualmente porém muito rara de ser vista é a escala Reaumur. Além de rara e limitada ela somente é utilizada por alguns mestres cervejeiros. O Grau Reaumur (°Rea) é 1,25 vezes maior que o grau celcius. A água congela a 0 graus Reaumur e entra em ebulição a 80 graus Reaumur.

Para uma compreensão mais comum, será utilizado nos experimentos às vezes temperaturas explicitas em celcius e às vezes em kelvin, contudo é interessante observar as conversões entre as temperaturas apresentadas:

$$1) K = °C + 273,15$$

$$2) °R = °F + 459,67$$

$$3) °C = (°F + 32) / 1,8$$

$$4) °F = 1,8(°C) + 32$$

$$5) °R = 1,8(K)$$

$$6) K = (°R) / 1,8$$

Algumas características observadas nos experimentos em alguns momentos podem envolver gás, e é importante salientar que na maioria dos cálculos para vazão de gás é utilizada as temperatura absolutas em suas equações.

3.5 Gravidade Específica

A gravidade específica possui duas vertentes sendo uma para líquidos e outra para gases. Quando aplicada para os líquidos, essa é a variação da densidade do fluido em uma determinada temperatura para a densidade da água em outra determinada temperatura. Como a gravidade específica não tem uma unidade de medida ela poderia ser mostrada sempre por dois valores de temperatura. Toda via a referência da temperatura da água é omitida e a referência da temperatura assumida para ser ambos 4°C ou 60°F. Considerando que a densidade da água é praticamente constante entre os dois valores, então a omissão usualmente presente não é um problema. De outra forma, a referência de temperatura do fluido poderia ser sempre incluída quando estiver sendo utilizado os termos de gravidade específica para os líquidos.

A gravidade específica é às vezes utilizada para representar a densidade dos fluidos, com tudo, as duas temperaturas seriam omitidas. Isso acarretaria em a gravidade específica estar em uma medição da temperatura em referência com a água em 4°C, gerando uma medição sempre incerta. Resumidamente a medida de gravidade específica é muito pobre para substituir a densidade. Para o caso dessa dissertação a gravidade específica será ignorada nos experimentos.

3.6 Densidade

A densidade é definida pela massa do fluido em um determinado volume

$$d = m/V$$

Equação 11 - Cálculo da Densidade

No sistema inglês, a densidade é usualmente expressada em *pounds* por pé cúbico, onde os *pounds* representam a massa. No sistema

métrico a densidade é expressa em kilogramas por metro cúbico ou kilogramas por litro. As equivalências são:

$$1) 1\text{lb/ft}^3 = 16.026 \text{ kg/m}^3$$

$$2) 1\text{lb/ft}^3 = 0,016026 \text{ kg/l}$$

$$3) 1\text{kg/l} = 0,0624 \text{ lb/ft}^3$$

Se tratando de densidade especificamente dos líquidos, essa pode variar de acordo com a temperatura e pressão do fluido. Em quase todos os casos o efeito da pressão é tão pequeno que pode praticamente ser ignorado. A temperatura, todavia tem enorme significância sobre a densidade. Em geral os líquidos expandem ao incremento da temperatura e retraem ao decremento dela, essa situação específica no caso do carregamento de combustíveis torna-se uma variável de fundamental importância pois o tempo de inércia do fluido dentro da tubulação em correlação à mudança de temperatura pode criar uma expansão do fluido dentro da mesma ou pode criar um vácuo. Para suprir essa necessidade deve-se implementar uma válvula chamada de “Válvula de Alívio Térmico”, onde para a teoria aplicada nessa dissertação a funcionalidade e calibração da mesma devem estar devidamente observadas. A função desta válvula é permitir a entrada de fluido dentro da tubulação do caso de decremento do fluido dentro da tubulação evitando o vácuo, e da forma contrária permitir a saída de fluido da tubulação do caso de expansão.

3.7 Viscosidade

Resumidamente a viscosidade é a resistência interna de um fluido. Normalmente um fluido quanto mais frio mais viscoso ele se torna e quanto mais quente menos viscoso, ou seja, a viscosidade é altamente dependente da temperatura.

Existem duas maneiras de se medir a viscosidade de um fluido. A primeira é girar um recipiente com o fluido e medir a velocidade de rotação com o torque requerido para manter rotacionando o recipiente. A densidade do fluido não pode variar em nenhum momento da medição. Então a viscosidade é

o torque dividido pela velocidade e dividido pela área da superfície em contato. Quando medido desta maneira a viscosidade é chamada de “viscosidade absoluta”, e essa é medida em centipose, pascal por segundo ou lb/ft-seg.

A segunda maneira de medir a viscosidade é permitir que um certo volume do fluido seja escoado pela gravidade para fora do recipiente através de um tubo capilar ou qualquer semelhante. O tempo de escoamento é diretamente relacionado com a viscosidade e é normalmente definido como “segundos”. A viscosidade medida desta maneira é chamada de “viscosidade cinemática” e essa medida é dada em centistokes, m²/sec, ou ft²/sec. Em suposição, centipoise (cP) é igual á centistokes (CST) multiplicado pela densidade.

$$1) \text{ cP} = (\text{CST}).(\text{densidade em kg/l})$$

$$2) \text{ lb/ft-seg} = 0.000672(\text{cP})$$

$$3) \text{ Pa-seg} = (\text{m}^2/\text{seg}).(\text{densidade em kg/l})$$

O transmissores de vazão que funcionam com princípios hidráulicos, poderiam operar tranquilamente ignorando a viscosidade do fluido, desde que a viscosidade esteja abaixo de certo valor. Esse valor então, é naturalmente variado de acordo com as características laminares ou turbulentas da vazão. Esse fator é estabelecido pela influencia da viscosidade, esse critério é chamado de “número de Reynolds” (Re).

O número de Reynolds (será detalhado mais à frente), de forma resumida, pode ser visto como um range entre a força de inércia e a força viscosa em uma determinada condição de vazão. Em uma tubulação, é dito que a vazão é laminar quando Re_D é menor que 2000, e quando Re_D é maior que 4000 a vazão é denominada turbulenta. A energia cinética pode ser diferente independentemente da característica da vazão na tubulação ser laminar ou turbulenta. Um efeito similar poderia ser esperado na performance dos medidores de vazão. Para prever esse comportamento o número de Reynolds pode ser definido e correlacionado para melhorar a performance de um transmissor de vazão.

No se tratar de viscosidade encontra-se dois tipos distintos de fluidos chamados de “Newtonianos” e “não-Newtonianos”. De um forma bem simplista os fluidos não-Newtonianos são fluidos cuja viscosidade varia de acordo com o grau de deformação aplicada, esse tipo de fluido pode não ter uma viscosidade bem definida, pois são totalmente dependentes das condições de operação.

Os fluidos “Newtonianos” de forma muito simplista, são exatamente o contrario, onde a viscosidade não varia com o grau de deformação aplicada, ou a variação possui valores irrelevantes. Os fluidos em estudo para essa dissertação se enquadram nas características dos líquidos Newtonianos.