

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDAD

PAULO

José Hélio de Brum Müller

Zhao Qiyan

Protótipo de uma máquina automática de mistura de líquidos

São Paulo

2008

José Hélio de Brum Müller

Zhao Qiyan

Protótipo de uma máquina automática de mistura de líquidos

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica com habilitação em Automação e Sistemas para obtenção do título de Engenheiro da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Professor orientador: Julio Cesar Adamowski

São Paulo

2008

José Hélio de Brum Müller

Zhao Qiyan

Protótipo de uma máquina automática de mistura de líquidos

Monografia apresentada como pré-requisito para aprovação na disciplina PMR2550, submetida à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Professor Orientador: Julio Cesar Adamowski

Professor Coordenador: Lucas Antonio Moscato

Professor Coordenador: Edson Gomes

São Paulo, 07 de dezembro de 2008.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao nosso professor Julio Cesar Adamowski pela disponibilidade de tempo e recursos, e também por suas sugestões e orientações que foram de extrema importância na realização desta monografia.

Agradecemos também aos nossos familiares e amigos por todo o apoio que recebemos.

Resumo

Utilizando-se conhecimentos de controle, hidráulica, termodinâmica e eletrônica, está sendo projetado um protótipo que tem por objetivo fazer coquetéis. A máquina será constituída por três partes básicas. Uma parte de escolha, processamento e controle do processo, um refrigerador onde ficarão armazenados as bebidas e um misturador onde os líquidos serão misturados e posteriormente despejados em um copo. O usuário poderá escolher um dentre diferentes coquetéis possíveis apertando-se um botão. O sistema de controle do protótipo abrirá as válvulas das garrafas correspondentes à receita, posteriormente um motor será acionado, misturando-se os líquidos no mixer. Após o resultado final será despejado num copo para o usuário, o protótipo irá se auto-limpar despejando água limpa no mixer. Por se tratar de um protótipo, somente quatro garrafas estarão disponíveis no compartimento do sistema de refrigeração. Para diminuir os custos do projeto será utilizado uma adega elétrica que atenda as necessidades de refrigeração. O sistema de controle irá controlar o funcionamento das válvulas elétricas, que permitirão o escoamento dos líquidos das garrafas e do mixer, e também o funcionamento do motor que será responsável pela mistura das receitas e pela limpeza do mixer.

Palavras-chave: *Coquetéis, vending machine, bebidas.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Segmentação das Vending Machines no Mundo, 2007.	16
Figura 2 - Fabricantes de Vending Machines no Brasil, 2007.	16
Figura 3 - Direcionadores da rivalidade no mercado de bebidas, 2007.....	17
Figura 4 - Direcionadores dos fornecedores de bebidas, 2007.	18
Figura 5 - Fatores de influência de produtos substitutos no mercado, 2007.....	18
Figura 6 - Figura 1 - Previsão do mercado de bebidas alcoólicas do Brasil.	19
Figura 7 - Segmentação do mercado brasileiro de bebidas, 2007.....	20
Figura 8 - Segmentação do consumo de destilados no Brasil, 2007.	20
Figura 9 - Diagrama de processo.....	23
Figura 10 - Planilha de escolha dos ingredientes e coquetéis.....	25
Figura 11 - Esquema de funcionamento da solução proposta.....	29
Figura 12 - Vista explodida do protótipo.....	30
Figura 13 - Características da adega de vinhos.....	31
Figura 14 - Planilha de escolha das válvulas solenóide.	32
Figura 15 - Componentes eletrônicos.	33
Figura 16 - Motor modelo Serie 16, Part Nº 116-12612.....	34
Figura 17 - Motor modelo Series16, Part Nº 116-4261-2.....	34
Figura 18 - Cilindro oco com condições convectivas na superfície.....	35
Figura 19 - Visão esquemática do sistema de controle das válvulas.....	37
Figura 20 - Carta de tempo do L298.	38
Figura 21 - Características elétricas do L298.....	38
Figura 22 - Montagem do L298.....	39
Figura 23 - Diagrama de blocos do sistema de controle das válvulas.	39
Figura 24 - Curva de resposta temporal do sinal das válvulas.	40
Figura 25 – Exemplos de PWM.	42
Figura 26 - Circuito simples.	43
Figura 27 – Ponte H.....	45
Figura 28 - Resultados da análise estrutural (von Mises).....	46
Figura 29 - Resultado da análise estrutural (deformação).....	47
Figura 30 - Resultado da análise da estrutura em conjunto (von Mises).	48

Figura 31 - Resultado da análise da estrutura em conjunto (deformação).	49
Figura 32 - Resultados do programa L'isolante para dimensionamento do material isolante.	52
Figura 33 - Curva de vazão das válvulas.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade e crescimento médio do mercado de Vending Machines, 2007.....	14
Tabela 2 - Faturamento do mercado de Vending Machines no mundo, 2007.....	15
Tabela 3 - Tempo de preparo e do processo de limpeza.	54
Tabela 4 - Resultado dos testes de dosagem.	55
Tabela 5 - Erros máximos em volume por coquetel.	56

LISTA DE SÍMBOLOS

T_{∞}	Temperatura ambiente (K)
r_i	raio interno do tubo (m)
r_e	raio externo do tubo (m)
r_{iso}	raio externo do material isolante (m)
T_i	Temperatura do líquido circulante dentro do tubo condutor (K)
k_{tubo}	Condutividade térmica do tubo (W/m.K), constante de Boltzmann
k_{iso}	Condutividade térmica do material isolante (W/m.K), constante de Boltzmann
h	Coefficiente de transferência de calor por convecção (W/m ² .K), constante de Planck
L	Comprimento característico (m)
R_{total}	Resistência térmica total (K/W)
q_r	Taxa de transferência de calor (W)
$C(s)$	Sinal de entrada
$R(s)$	Sinal de saída
K	Constante do motor/válvula
T	Constante de tempo
t	tempo (s)
R^2	Coefficiente de relação quadrática

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
Objetivo	13
O que é vending machine?	13
Vending machines no mundo	14
Visão geral do mercado de bebidas no Brasil	17
METODOLOGIA.....	22
CAPÍTULO 1 - Discussão do projeto	23
Discussão das possíveis soluções	24
Produto.....	24
Sistema de refrigeração	25
Sistema de dosagem das bebidas.....	26
Sistema de mistura das bebidas	27
Sistema de limpeza.....	28
Definição da solução.....	29
CAPÍTULO 2 - Escolha dos Componentes	31
Adega	31
Válvulas solenóides	32
Componentes eletrônicos de acionamento e controle	33
Motor do mixer	34
Motor do tubo de saída.....	34
CAPÍTULO 3 - Fundamentação teórica.....	35
Transferência de calor	35

Controle.....	37
Eletrônica.....	41
PWM.....	41
Ponte H.....	44
CAPÍTULO 4 – Projeto	46
Análise estrutural.....	46
Análise da estrutura com componentes (estimados).....	48
Isolamento térmico dos tubos de silicone.....	50
Sistema de acionamento e controle.....	53
RESULTADOS.....	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS	61

INTRODUÇÃO

Reclamações de amigos e conhecidos sobre a longa espera de se conseguir um coquetel em bares e casas noturnas, e a falta de diversidade motivaram o grupo a pensar em algum tipo de máquina automática que capaz de resolver tal problema.

Observando-se o motivo das esperas em bares e casas noturnas, chegou-se a conclusão de que o principal problema é a demora na preparação dos coquetéis, pois normalmente há apenas um funcionário responsável por isso. Além disso, as bebidas não ficam num único lugar e o funcionário fica obrigado a andar de um lado a outro em busca das bebidas certas, acarretando um tempo maior de espera e insatisfação dos consumidores.

Com todas essas observações surgiu uma solução para isso. Assim como as máquinas automáticas de café expresso, pensou-se numa máquina auto-limpante, capaz de produzir estes coquetéis em menos de um minuto e assim, diminuir o tempo de espera e aumentar a satisfação do cliente.

Por outro lado, todo o esforço para construir este equipamento será em vão se o mercado de destilados não pedir por tal solução. Para tal, será dado um breve histórico da evolução desse mercado e também o que se espera dele nos próximos anos.

Com estes estudos, espera-se definir os destilados mais vendidos e com isso será escolhido os coquetéis que o equipamento produzirá, de acordo com os mais vendidos no mercado brasileiro.

Objetivo

O projeto consiste em desenvolver um equipamento auto-limpante que é capaz de preparar coquetéis gelados. Para o preparo dos coquetéis, serão utilizadas diversas bebidas mantidas resfriadas numa câmara. Para o protótipo serão quatro diferentes tipos de bebidas em suas formas líquidas, ou seja, não será usado nenhum tipo de pó, que é a maneira usual deste tipo de equipamentos.

O que é *vending machine*?

Vending Machine é uma máquina que oferece diversos lanches, bebidas e outros produtos para os consumidores, sendo que os itens vendidos através das máquinas automáticas variam em cada país e região. A idéia é vender os produtos sem a necessidade de um funcionário/caixa presente.

Em muitos países, as máquinas distribuidoras geralmente servem o propósito de vender lanches e bebidas (latas), mas também é comum vender outros itens, tais como jornais, cigarros, sorvetes, etc.

Alguns países vendem bebidas alcoólicas como a cerveja através de máquinas automáticas, enquanto outros países não permitem por questões legais. Os cigarros eram comumente vendidos nos Estados Unidos, através destas máquinas, mas esta prática está cada vez mais rara.

Em alguns países como a Alemanha e o Japão, em contrapartida, máquinas de cigarro ainda são comuns. Máquinas foram utilizadas em aeroportos a partir da década de 1950 já na década de 1970 para vender apólices de seguro de vida que cobre a morte, no caso de um acidente aéreo. Essas políticas foram bastante rentáveis, pois o risco destes acidentes foi (e continua) muito baixo.

Vending machines no mundo

O mercado mundial de *vending machines* é cada ano maior, em países como Estados Unidos, Japão e alguns países europeus, estima-se que o faturamento anual já sugere 250 bilhões de dólares.

Nos países em desenvolvimento, o crescimento deste mercado chega a índices de 20% ao ano. Todos os dias, novos usuários são vistos utilizando-se das *vending machines* nos mais remotos cantos do mundo e continuamente são desenvolvidas novas aplicações. As perspectivas no mercado mundial são cada vez melhores pois, a redução dos custos dos equipamentos e o acesso as novas tecnologias diminuem o custo de produção e facilitam seu uso.

No Brasil, estima-se que o mercado opere atualmente com 45.000 *vending machines*, gerando um faturamento anual aproximado de 250 milhões de reais. O mercado vem experimentando um volume crescente de oportunidades de negócios, demandas principalmente pelas inovações e a difusão do uso das *vending machines* tradicionais. O potencial de crescimento é enorme tendo em vista a familiarização do brasileiro com o uso de máquinas nas mais variadas aplicações, e especialmente pela visão de negócios que elas proporcionam, pois passamos do estágio inicial de mera curiosidade, para um estágio de expansão, onde *vending machines* são colocadas como um canal contínuo de distribuição e vendas de produtos diretamente aos consumidores, agregando agilidade, higiene e conveniência, já reconhecidas por consumidores individuais e institucionais.

Da tabela abaixo se observa que o mercado de *vending machines* no Brasil ainda é um mercado em expansão, pois conta com uma alta taxa de crescimento e um alto número de habitantes por máquina.

Tabela 1 - Densidade e crescimento médio do mercado de Vending Machines, 2007.

País	Habitante/máquina	Crescimento Médio/ano
Brasil	4150	10%
Estados Unidos	90	3%
Japão	48	2%

Sabendo-se que o mercado de *vending machine* está crescendo em ritmo acelerado, falta saber o tamanho desse mercado hoje e o que se espera dele nos próximos anos. Da tabela a seguir, observa-se que esse mercado, pequeno comparado à outros mercados estrangeiros maduros, é de R\$ 250 milhões e com apenas 45 mil máquinas operantes, e vale destacar que o mercado de *vending machine* brasileiro está dentre os que mais faturam por máquina, isso quer dizer que o mercado já absorveu esse novo meio de consumo, mas que ainda não se expandiu totalmente.

Tabela 2 - Faturamento do mercado de Vending Machines no mundo, 2007.

	Japão	EUA	Europa	Brasil
Faturamento (U\$ bilhões)	56	36	13	0,25
Máquinas (milhões)	5,6	7	6,7	0,045
Faturamento/máquinas (U\$/máq.)	10.000	5.143	1.940	5.555
Principais produtos	Bebidas geladas Alimentos Outros	Bebidas Alimentos Outros	Bebidas Alimentos Outros	Bebidas Snacks Outros

As expectativas de crescimento do mercado de *vending machines* no Brasil são grandes e verificamos, da figura a seguir, que grande parte dos *vending machines* no Brasil destinam-se as bebidas e comparando o Brasil com outros mercados mais maduros, conclui-se que há uma tendência do número de *vending machines* de bebidas e de alimentos serem relativamente equivalente.

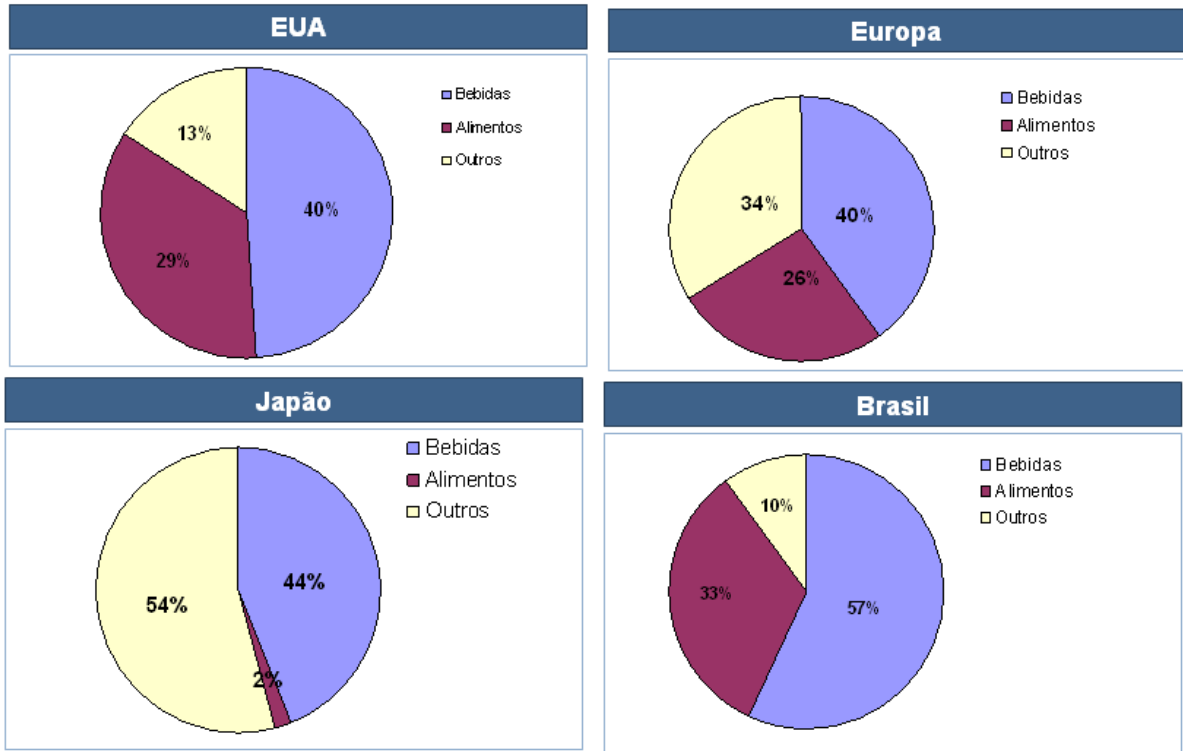


Figura 1 - Segmentação das Vending Machines no Mundo, 2007.

Atualmente os maiores fabricantes e fornecedores de *vending machines* no mundo estão representados no Brasil, na figura abaixo estão indicados os principais fabricantes de *vending machine* por segmento.



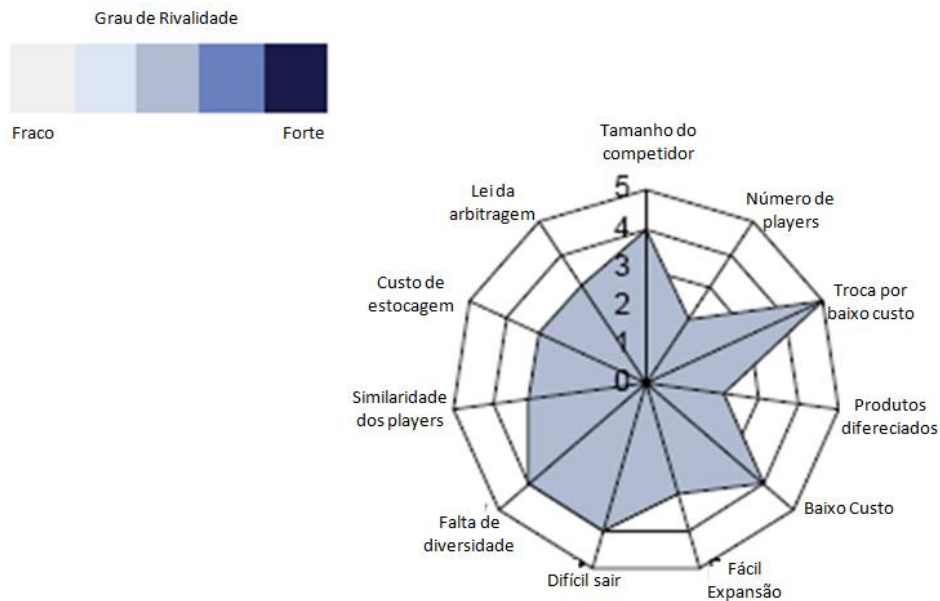
Figura 2 - Fabricantes de Vending Machines no Brasil, 2007.

Em nenhum portfólio destes concorrentes existe uma máquina que produz coquetéis, portanto esse é um mercado ainda inexplorado no Brasil.

Sabendo que o mercado de *vending machines* é um mercado promissor, seguimos para uma discussão para o mercado de bebidas brasileiro.

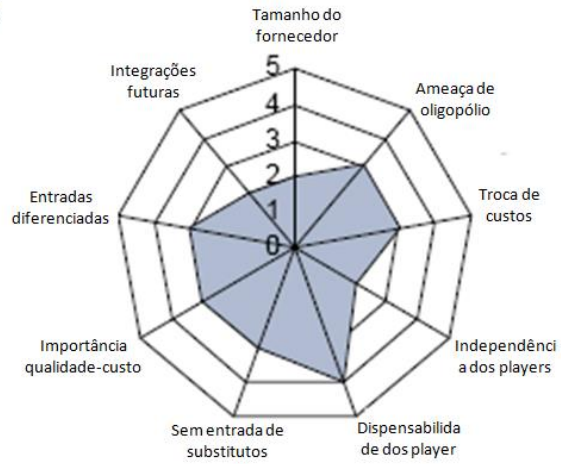
Visão geral do mercado de bebidas no Brasil

As exigências mais importantes para o consumidor são: a importância da qualidade/custo, alternativa mais barata, falta de diversidade. Estes itens estão representados a seguir nas análises das cinco forças de Porter.



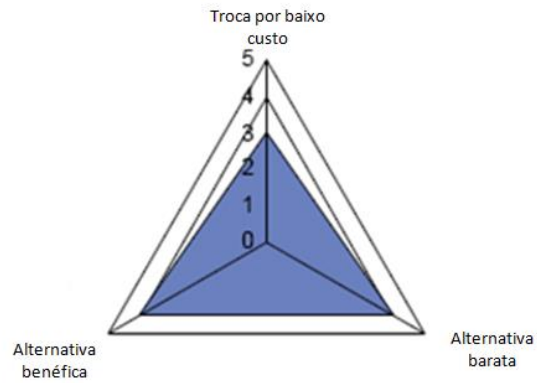
1=direcionador fraco...5=direcionador forte
Fonte: DATAMONITOR

Figura 3 - Direcionadores da rivalidade no mercado de bebidas, 2007.



1=direcionador fraco...5=direcionador forte
 Fonte: DATAMONITOR

Figura 4 - Direcionadores dos fornecedores de bebidas, 2007.



1=direcionador fraco...5=direcionador forte
 Fonte: DATAMONITOR

Figura 5 - Fatores de influência de produtos substitutos no mercado, 2007.

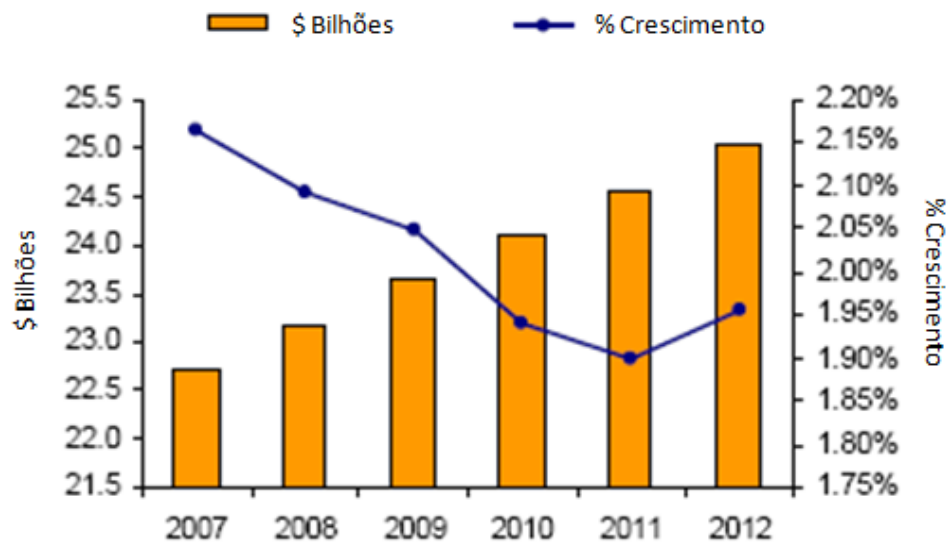
Pelos gráficos das figuras 3, 4 e 5, observa-se que as prioridades para consumidores são:

1. Alternativa de baixo custo
2. Falta de diversidade
3. Importância da qualidade/custo

Portanto a máquina tem que produzir coquetéis a custos mais baixos do que aqueles vendidos em bares, sendo que a quantidade de vendas aumente, para aumentar a margem de lucro.

A falta de diversidade se dá pelo mau atendimento e pela falta de marketing de coquetéis em bares, esta máquina oferecerá uma gama de coquetéis de forma rápida de modo a aumentar o número de opções do cliente. A qualidade não será afetada por fatores humanos, já que a máquina produzirá cada coquetel com a mesma qualidade e a baixo custo.

O mercado de bebidas é um mercado promissor, que vem crescendo a cada ano com uma taxa de crescimento positivo.



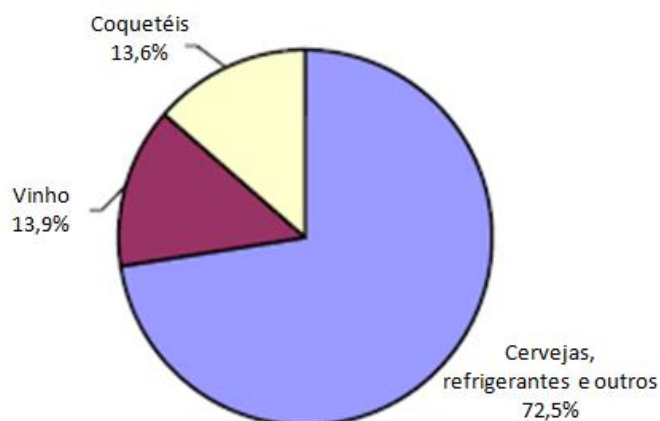
Fonte: DATAMONITOR

Figura 6 - Figura 1 - Previsão do mercado de bebidas alcoólicas do Brasil.

De acordo com a consultoria Datamonitor, o mercado brasileiro de bebidas alcoólicas tem um grande potencial de crescimento e espera-se que o mercado que

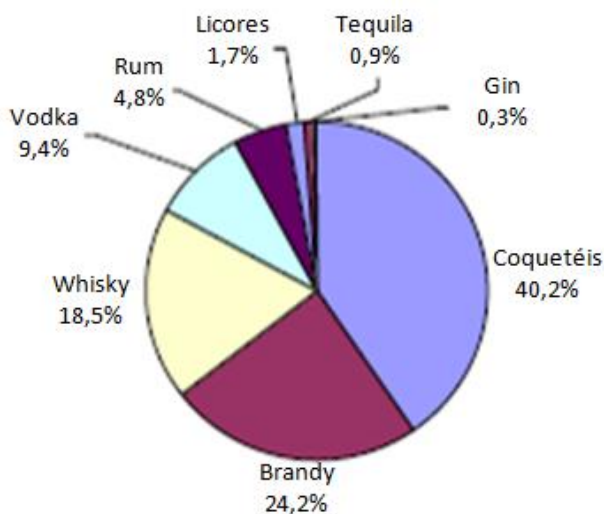
hoje está na faixa de R\$ 23 bilhões chegue a R\$ 25 bilhões, com uma taxa de crescimento (CAGR) de 2%. Apesar das oscilações do mercado, espera-se um crescimento positivo do consumo de bebidas até 2012. Sabendo-se isso, resta entender como é o perfil dos consumidores desse mercado.

O mercado de bebidas divide-se conforme mostrado na figura 5, onde se pode perceber que o de destilados possui uma parcela de mercado de 13,6% sendo que este se divide conforme a figura 6.



Fonte: DATAMONITOR

Figura 7 - Segmentação do mercado brasileiro de bebidas, 2007.



Fonte: DATAMONITOR

Figura 8 - Segmentação do consumo de destilados no Brasil, 2007.

O mercado de destilados (Spirits) no Brasil é de 13,6%, os produtos produzidos pelo protótipo desse trabalho contém produtos da família dos destilados, nesse ponto vale ressaltar que o projeto não tratará de coquetéis contendo cervejas, refrigerantes e vinhos.

Destes dados, falamos de um mercado de destilados que movimenta R\$ 3 bilhões ao ano.

METODOLOGIA

O conteúdo desta monografia é composto por três grandes grupos de estudo: análises estruturais, sistema de controle e sistema mecânico, compostos por mecânica dos sólidos, eletrônica e componentes eletromecânicos respectivamente.

Para análises e projeto destes três grupos utilizou-se conhecimentos adquiridos durante o curso de engenharia e informações em livros, artigos e fontes on-line.

Durante todo o desenvolvimento desta monografia, utilizou-se uma metodologia quantitativa, de forma que os produtos finais entregues pelo protótipo seguissem os pré-requisitos quantitativos de tempo de preparo e dosagem dos líquidos para cada receita pré-programada.

Primeiramente, definiu-se os produtos que deveriam ser entregues pelo protótipo, posteriormente, criou-se três diferentes soluções para cada grupo. Em seguida, para cada solução proposta decidiu-se qual seria a melhor opção com base nas informações teóricas encontradas nas bibliografias.

Definido as soluções, buscou-se um aprimoramento de cada solução, aprofundando-se na bibliografia e também levando-se em consideração as orientações do professor orientador.

CAPÍTULO 1 - Discussão do projeto

O projeto em questão foi dividido em sistemas independentes entre si, a saber, sistema de refrigeração, de controle de vazão, de mistura e de limpeza. Esta divisão foi feita visando à facilidade de análise de sistemas menores e como são independentes, poder-se-ão estudadas em separado, sem afetar os outros. Conseqüentemente, chegar-se à solução ótima para cada sistema independentemente dos demais. A figura a seguir mostra essa divisão.

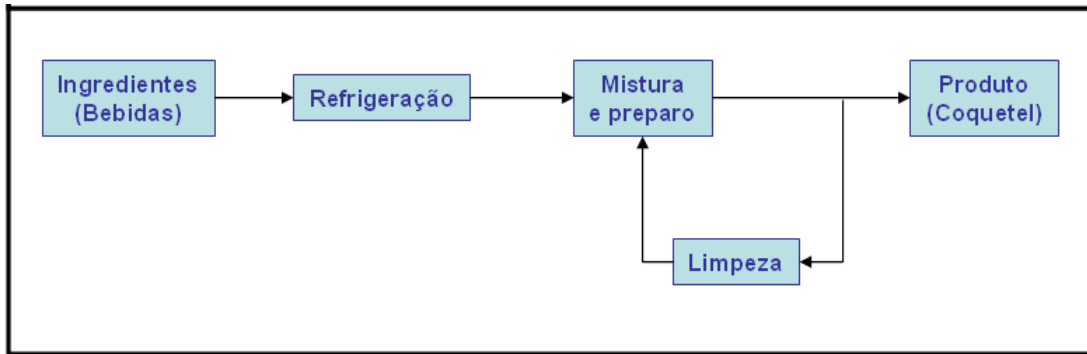


Figura 9 - Diagrama de processo.

O sistema de refrigeração é o sistema que manterá as bebidas na temperatura exigida para o preparo dos coquetéis e também é o lugar onde as mesmas ficarão armazenadas. Quando um coquetel é selecionado, o sistema de controle de vazão entrará em funcionamento, liberando a quantidade preestabelecida de cada bebida que compõe o coquetel escolhido. Os líquidos escoarão por um conjunto de tubulações até um reservatório onde serão misturados. Após a mistura, o coquetel será despejado para um copo e logo em seguida, o sistema de limpeza entrará em ação, limpando toda a tubulação e os componentes onde passaram mais de um tipo de bebida.

Discussão das possíveis soluções

Produto

Posterior a escolha da máquina a ser projetada, máquina de fazer coquetéis, veio a escolha do produto final produzido pela máquina. As sugestões eram dos diferentes tipos de coquetéis que poderiam ser produzidos, com frutas, açúcar, xaropes, licores e também na forma em que serão preparados, agitando-se, liquidificando-se ou espremendo-se os ingredientes.

A primeira sugestão era a de se produzir somente caipirinha, por esta ser uma bebida tipicamente brasileira. Uma vantagem desta solução era que uma vez projetado o sistema que cortasse e espremesse os limões da maneira correta, o mesmo poderia ser utilizado para espremer outras frutas dependendo da escolha do usuário. Para esta solução, seria necessário também um sistema de abastecimento de açúcar e gelo. Os sistemas de preparos necessários para produzir uma caipirinha aumentariam muito os custos do projeto para fabricação do protótipo. Assim, por questões de custos, decidiu-se a não produção de caipirinhas ou qualquer outro tipo de coquetel que utilizasse frutas.

A segunda sugestão era a de se produzir coquetéis com licores ou xaropes como ingredientes. No entanto, constatou-se um possível problema, a cristalização dos açúcares dos xaropes e dos licores nas válvulas solenóides. Este problema tornou-se um risco muito grande, pois pode danificar as válvulas e o orçamento não poderia suportar caso fosse necessário a troca de alguma delas. Desta forma, optou-se pela não produção de coquetéis com xaropes ou licores.

A terceira e última opção seria a produção de coquetéis que não possuem açúcares, xaropes, licores, gelo e frutas em sua receita.

A máquina produzirá coquetéis reconhecidos pela Associação Internacional dos Bartenderes (IBBA). Na figura 10 abaixo está listado os coquetéis com os respectivos ingredientes.

Definido um número máximo de garrafas que ficarão no refrigerador, que para o caso deste protótipo é quatro, será escolhido as quatro bebidas que combinadas fornecerão o maior número de coquetéis possíveis.

		Coquetéis IBBA (International Bartender Association)										
		AMERICANO	BACARDI COCKTAIL	DAIQUIRI	BRONX	KIR	KIR ROYAL	MANHATTAN	MANHATTAN DRY	MARTINI (DRY)	NEGRONI	ROB ROY
Ingredientes	Angostura Bitter							x	x			x
	Bacardi Rum White		x	x								
	Campari	x									x	
	Champagne						x					
	Creme de Cassis					x	x					
	Dry Vermouth				x				x	x		
	Dry white Wine					x						
	Gin				x					x	x	
	Gome Syrup			x								
	Grenadine Syrup		x									
	lemon or lime juice		x	x								
	Orange Juice				x							
	Red Vermouth							x				x
	Rye Canadian Whiskey							x	x			
	Scotch Whiskey											x
	Sweet Red Vermouth	x			x						x	

Figura 10 - Planilha de escolha dos ingredientes e coquetéis.

Da figura 8 acima, verifica-se que o número máximo de coquetéis possíveis com quatro bebidas é três, a saber:

1. Americano: Campari e Sweet Red Vermouth.
2. Martini (Dry): Dry Vermouth e Gin
3. Negroni: Campari, Gin e Sweet Red Vermouth.

Sistema de refrigeração

Existem diversas soluções para manter as bebidas numa temperatura ideal, mas foram considerados apenas três deles para este projeto. São eles: desenvolver um sistema de refrigeração, utilizar um frigobar ou uma adega de vinho.

A primeira solução parece razoável, tendo em vista que este é um projeto de engenharia e sendo assim, todos os sistemas deverão ser projetados. Por outro lado, este projeto não se trata de refrigeração apenas, o enfoque é outro. Além disso, o projeto de um sistema parcial, que pode ser terceirizado ou adquirido, comprometerá o custo do projeto principal, uma vez que isto acarretará em mais horas de projeto.

Assim, partiu-se em direção a sistemas de refrigeração vendidos no mercado, ou seja, refrigeradores. Existem diversos produtos neste mercado, tais como refrigeradores propriamente ditos, frigobares e adegas de vinho. Como o equipamento deve ser compacto, então os refrigeradores foram descartados como possível solução. Como estes dois últimos são praticamente iguais para o projeto em questão, então será escolhido aquele com o menor custo também levando em consideração o menor número de adaptações feito para ser incorporado ao projeto. Desta maneira, a adega será utilizada no projeto final, já que é mais barato que um frigobar e vem com suporte para garrafas.

Sistema de dosagem das bebidas

Várias soluções foram consideradas para este sistema, entre eles estão: utilização de válvulas solenóides, de bombas peristálticas e até estrangulamento por pinçamento dos tubos.

Válvula solenóide do tipo ON/OFF foi a primeira solução encontrada, pois ela é fácil de ser controlada e ocupa pouco espaço (aproximadamente 10cm^3). Mas essas válvulas possuem muitas desvantagens também, tais como custo alto, imprecisão na dosagem devido à dependência da vazão a pressão interna e a possibilidade de cristalização dos líquidos no interior da válvula.

Devido ao fato de que estas válvulas não são muito precisas, pesquisou-se sobre dispositivos com melhor precisão. Assim, as bombas peristálticas seriam os dispositivos mais apropriados em termos de precisão de vazão, porém estas também apresentam pontos negativos, tais como custo equiparado ao das válvulas e as dimensões dessas bombas são relativamente grandes ($120 \times 120 \times 30\text{mm}$). Após a análise da estrutura do equipamento, verificou-se que tais bombas não poderiam ser

utilizadas, uma vez que as suas dimensões os tornam virtualmente impossíveis de serem colocados dentro do espaço reservado à tubulação e os componentes de controle de vazão.

A terceira alternativa seria com estrangulamento por pinçamento dos tubos. Mas verificou-se que este processo é bem menos preciso que as válvulas, pois a vazão além de variar com a pressão interna, também depende do tempo necessário para o estrangulamento e solda do tubo.

Considerando os prós e contras das possíveis soluções apresentadas, adotaram-se as válvulas solenóides. Porque foram encontradas válvulas maiores com um custo menor, um tamanho maior diminui a probabilidade de cristalização. Para resolver a questão da dependência da pressão interna será utilizado um “respirador” para manter a pressão atmosférica dentro das garrafas.

Sistema de mistura das bebidas

Para este sistema, foram analisadas as seguintes soluções: tubulação, “shaker”, e “mixer”.

A primeira solução é a mais simples, consiste de apenas um tubo, por onde passarão todas as bebidas utilizadas. As bebidas se misturarão umas com outras à medida que escoem por este tubo. A desvantagem deste método é a dificuldade em garantir que todas as bebidas cheguem a este tubo ao mesmo tempo. Tal fato é devido à diferença de velocidades (viscosidades) entre os líquidos, pois estes escoarão “livremente” pela tubulação.

Para contornar o problema da diferença de velocidade dos líquidos, adotou-se um componente (coqueteleira) onde os líquidos poderiam cair e após a chegada de todas as bebidas que compõe o coquetel, elas serão misturadas. O processo de mistura é o que diferencia o shaker do mixer. No primeiro, a coqueteleira seria agitada por um sistema motor mais braço articulado. Mas o projeto deste sistema exigiria mais horas de projeto além de introduzir vibrações para o sistema todo. Logo, adotou-se o processo do mixer, que nada mais é do que um sistema muito semelhante aos

liquidificadores domésticos. Com um elemento para misturar (tipo hélice) conectado a uma haste que por sua vez é acoplado a um motor.

Sistema de limpeza

Não há muitas opções para o sistema de limpeza. Água é utilizada na maioria das aplicações semelhantes e este não será uma exceção. O único problema está na saída da água depois da limpeza, pois será utilizado um único tubo de saída, uma vez que este também deve ser limpo. Portanto, deve-se fazer com que o tubo tenha duas posições pré-determinadas, uma para jogar o coquetel num copo e outra para a saída da água após a limpeza. Para movimentar o tubo de uma posição para a outra será utilizado um motor.

Definição da solução

Após as considerações feitas acima, chegou-se à conclusão de que para o sistema de refrigeração será utilizado uma adega; para o controle de vazão, válvulas solenóides e para mistura, um mixer. Na figura 11 está detalhada a solução adotada e a figura 12 mostra o desenho de conjunto dos componentes para cada sistema.

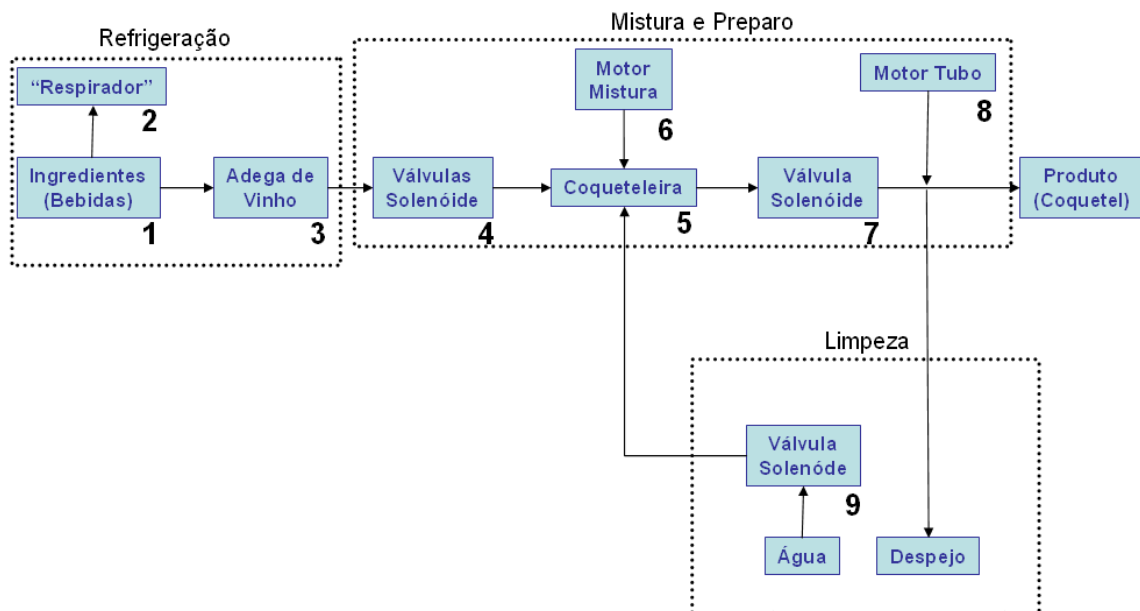


Figura 11 - Esquema de funcionamento da solução proposta.

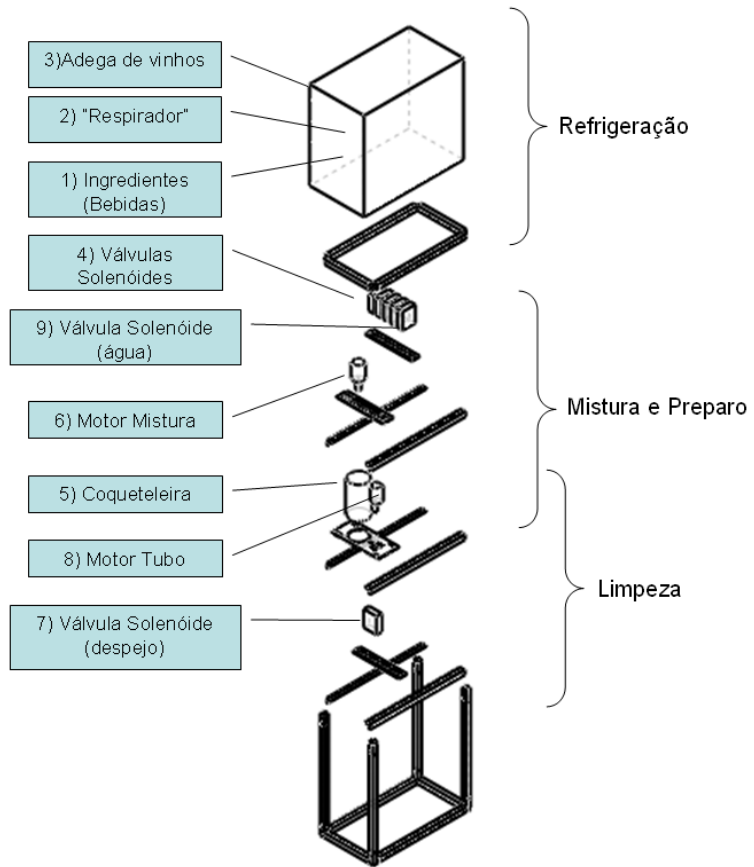


Figura 12 - Vista explodida do protótipo.

CAPÍTULO 2 - Escolha dos Componentes

Adega

O modelo MA60BR da BLACK&DECKER foi escolhido porque é a adega mais barata disponível com controle digital temperatura, assim podemos controlar a temperatura dos líquidos, e também a mais leve.

MA60-BR - Miniadega



Características:

- Painel digital de temperatura
- Controle digital de temperatura
- Ausência de vibrações
- Baixo consumo de energia
- Capacidade: 06 garrafas de vinho (tamanho padrão)
- Três prateleiras grandes removíveis
- Controle digital para ligar/desligar
- Luz interna
- Acompanha adaptador externo
- Exclusivo sistema Bivolt
- Comprimento cabo elétrico: 1,91m

ESPECIFICAÇÕES

Voltagem	12V
Entrada	100-240V 1.0A
Saída	+ 12V c.c 4.0A
Frequência	50-60Hz
Potência	48W
Peso líquido produto	7,900Kg
Altura máxima da garrafa	320mm (32cm)
Diâmetro máximo da garrafa	90mm (9cm)
Dimensão total do produto (com os pés de borracha)	A:41.5cm X L:25.7 x C:47 cm

Figura 13 - Características da adega de vinhos.

Válvulas solenóides

Surgiram 4 opções de válvulas solenóide (Modelo B110, B111, E110, E111), sendo que a escolhida deve passar pelos seguintes requisitos:

- Maior valor de viscosidade admissível;
- Maior orifício, aumentando a vazão e diminuindo o tempo de preparo;
- Menor tempo de fechamento e abertura;
- Funcionar com CC de 12 volts;
- Material em aço inox, evita contaminação;
- Menor Preço;
- Pressão máxima admissível condizente com o projeto;

Com isso, montou-se a seguinte matriz de decisão:

	Viscosidade (mm ² /s)	Orifício Máx (mm)	Tempo de Fechamento (ms)	Tempo de abertura (ms)	12 volts?	Material em aço inox?	Pressão máxima admissível (atm)	Preço (R\$)
B110	25	6,4	200	200	sim	sim	5 atm	140
B111	25	3,1	200	200	sim	sim	5 atm	140
E110	25	6,4	200	200	sim	sim	1 atm	135
E111	25	3,1	200	200	sim	sim	1 atm	135
Válvula Sub-escolha	Todas	B110 E110	Todas	Todas	Todas	Todas	B110 B111	E111 E110

Critério desempate: estimou-se que os fluídos estarão sob uma pressão maior que 1 atm, já que existe uma diferença de cota das garrafas e as válvulas, assim correria um risco da válvula E110 não funcionar corretamente. Segundo os engenheiros responsáveis da empresa Aicás, poderiam existir alguns problemas como variações no tempo de abertura e fechamento, podendo até não fechar, vazamentos e danos físicos à válvula. Por uma diferença de preço de somente R\$ 5,00, optou-se pela válvula B110, fabricante Aicás & Eletroválvulas.

Datasheet em anexo.

AICÁS
& ELETROVALVULAS



Válvula escolhida: B110

Figura 14 - Planilha de escolha das válvulas solenóide.

Componentes eletrônicos de acionamento e controle

A alimentação das válvulas será feita através de MOSFETs. Assim, para acionar a válvula deve-se impor uma tensão alta (high) no terminal *gate* do MOSFET. O controle das válvulas também será de malha aberta por uma questão de custos, já que a introdução de novos componentes acarretará um aumento no orçamento da máquina. Além disso, medidores de vazão têm um custo alto. Por conta disso, também será necessário a realização de testes com a finalidade de determinar uma curva experimental de vazão por unidade de tempo.

A seguir estão as figuras dos componentes utilizados no sistema de controle. Posteriormente na discussão do projeto de controle e eletrônico esses componentes serão mais bem detalhados.

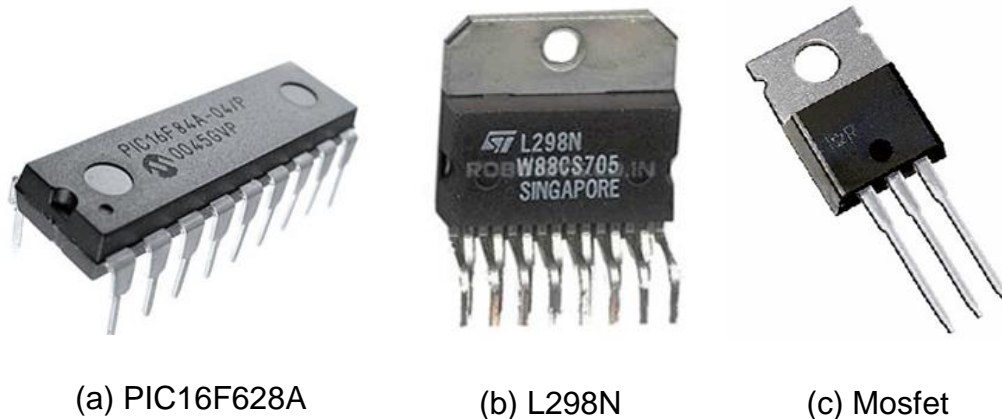


Figura 15 - Componentes eletrônicos.

Motor do mixer

Para o motor que mistura os líquidos na coqueteleira, estimamos que este deve funcionar a uma rotação em torno de 4500 rpm e torque mínimo de 0,6 kgf.cm. Pesquisando os diversos tipos de motores na internet, escolhemos o motor DC da Hansen Corp., modelo Serie 16, Part N° 116-12612. O Datasheet do mesmo encontra-se em anexo.



Figura 16 - Motor modelo Serie 16, Part N° 116-12612.

Motor do tubo de saída

Como este movimenta somente o tubo depois da coqueteleira que ora movimentará o tubo sobre o copo para despejo do coquetel, ora movimentará o tubo para despejo de limpeza. Para isso estimamos uma rotação máxima de 60 rpm e 0,1kgf.cm, então escolhemos um motor DC da Hansen Corp., modelo Series16, Part N° 116-4261-2. O Datasheet deste também se encontra em anexo.



Figura 17 - Motor modelo Series16, Part N° 116-4261-2.

CAPÍTULO 3 - Fundamentação teórica

Transferência de calor

Sistemas cilíndricos e esféricos muitas vezes apresentam o gradiente de temperatura apenas na direção radial e podem portanto ser tratados como unidimensionais. Além disso, em condições de regime estacionário sem a geração interna de calor, tais sistemas podem ser analisados pela utilização do método padrão, que começa com a forma apropriada da equação de calor, ou o método *alternativo*, que começa com a forma apropriada da lei de Fourier.

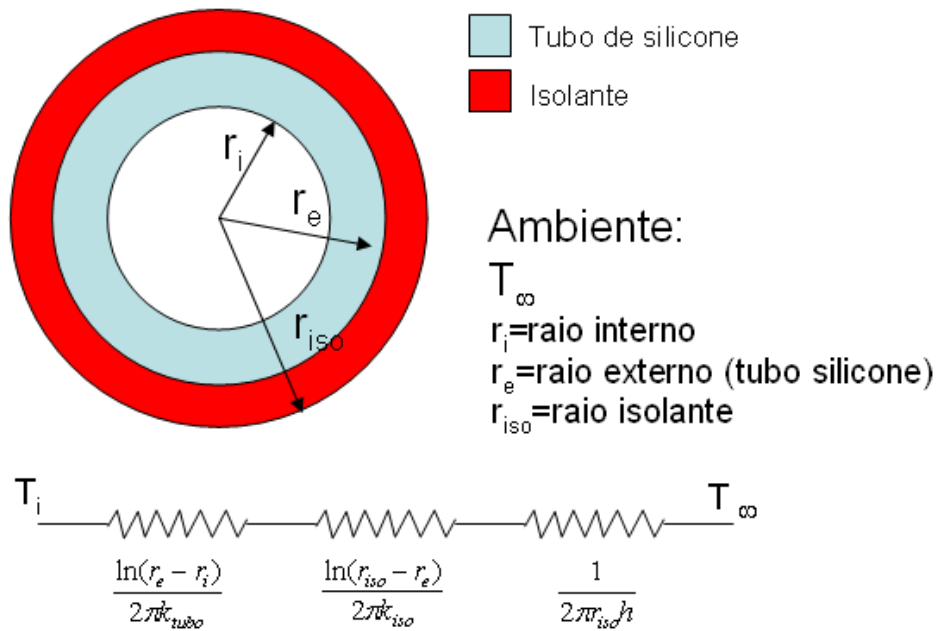


Figura 18 - Cilindro oco com condições convectivas na superfície.

O cilindro oco, cujas superfícies interna e externa encontram-se expostas a fluidos a diferentes temperaturas (Figura 26). Para condições de regime estacionário sem geração de calor, a forma apropriada da equação de calor é

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(kr \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (3.1)$$

Em que, no momento, k é tratado como uma variável. O significado físico desse resultado se torna evidente se também pudermos considerar a forma apropriada da lei de Fourier. A taxa na qual a energia é conduzida através de uma superfície cilíndrica qualquer no sólido pode ser expressa como

$$q_r = -kA \frac{dT}{dr} = -k(2\pi rL) \frac{dT}{dr} \quad (3.2)$$

Hipóteses: condições de regime estacionário, transferência de calor unidimensional na direção radial, propriedades constantes para a camada de isolamento.

Com estas hipóteses, chegamos a uma espessura ótima de isolamento que minimize a taxa de transferência de calor conforme cálculos a seguir:

Resistência térmica total por unidade de comprimento do tubo:

$$R_{total} = \frac{\ln(r_e - r_i)}{2\pi k_{tubo}} + \frac{\ln(r_{iso} - r_e)}{2\pi k_{iso}} + \frac{1}{2\pi r_{iso} h} \quad (3.3)$$

Uma espessura ótima para o isolamento seria um valor de r_{iso} que maximiza o R_{total} , então:

$$\frac{dR_{total}}{dr_{iso}} = 0 \Rightarrow \frac{1}{r_{iso}} \frac{1}{2\pi k_{iso}} - \frac{1}{2\pi r_{iso}^2 h} = 0 \quad (3.4)$$

$$r_{iso} = \frac{k_{iso}}{h} \quad (3.5)$$

Para determinar se o resultado anterior mostrar é máximo ou mínimo, a segunda derivada deve ser avaliada. Assim,

R_{total} é máximo $\Rightarrow \frac{d^2 R_{total}}{d^2 r_{iso}} > 0$, então:

$$-\frac{1}{r_{iso}^2 2\pi k_{iso}} + \frac{1}{\pi r_{iso}^3 h} > 0 \Rightarrow r_{iso} < \frac{2k_{iso}}{h} \quad (3.6)$$

Podemos ver que $r_{iso} = \frac{k_{iso}}{h}$ está dentro do limite máximo $r_{iso} < \frac{2k_{iso}}{h}$

Controle

O sistema de controle consistirá basicamente de um micro-controlador, PIC, que enviará um sinal de 5V para um MOSFET e este enviará um sinal de 12V para as válvulas, conforme o esquema a seguir:

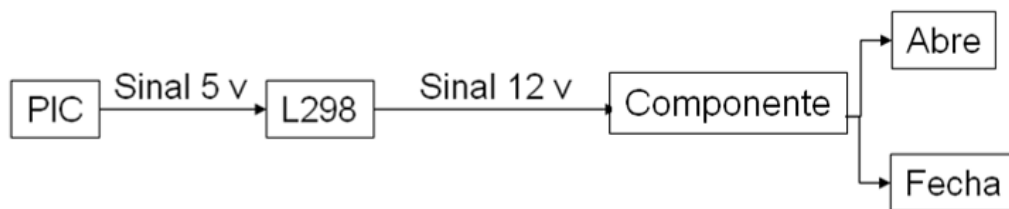


Figura 19 - Visão esquemática do sistema de controle das válvulas.

A figura abaixo mostra o tempo necessário para ligar/desligar o L298, gráfico obtido do datasheet.

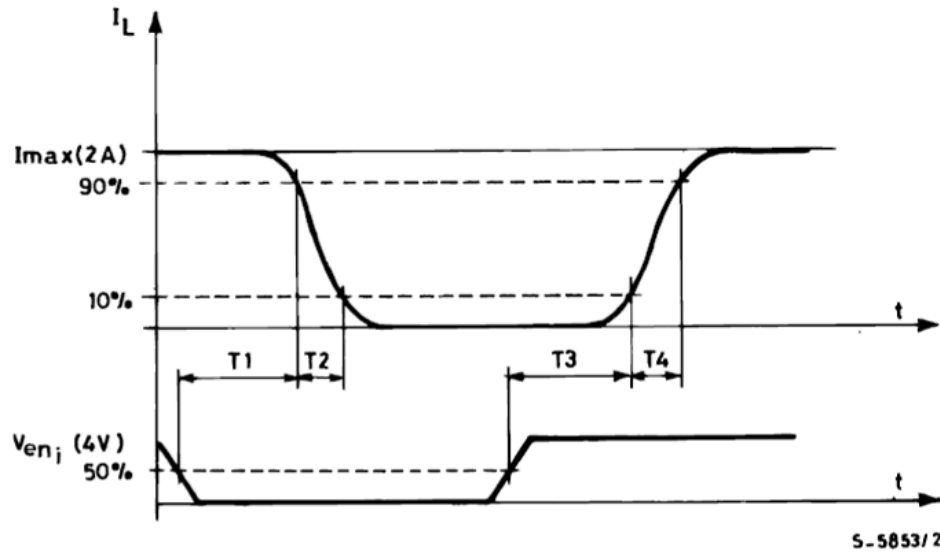


Figura 20 - Carta de tempo do L298.

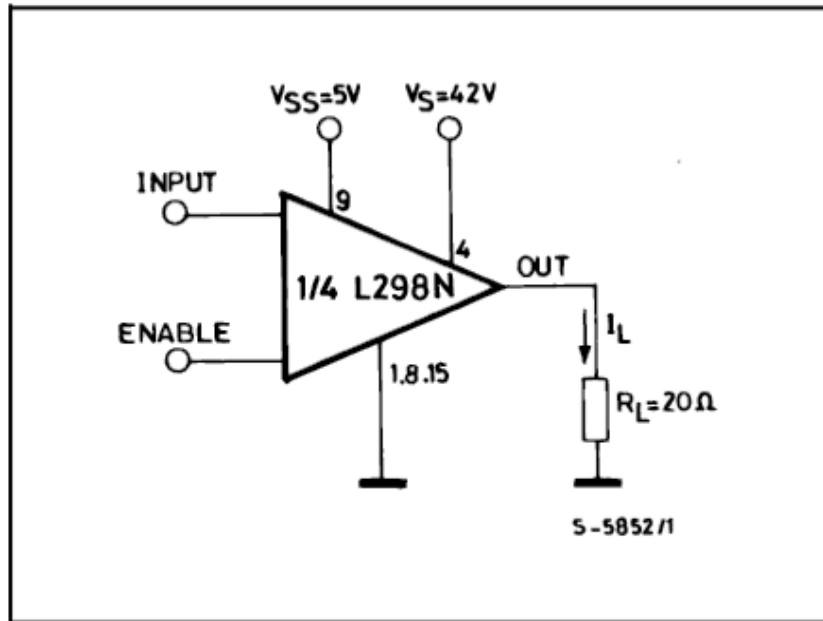
Nesse caso, o V_{en} seria o sinal vindo do PIC e T_3+T_4 o tempo necessário para enviar 100% da corrente do sinal “ligar” e T_1+T_2 , o tempo necessário para “desligar” o L298.

Símbolo	Parâmetro	Típico	Unidade
T_1	Delay para desligar	1,5	μs
T_2	Tempo de queda	0,2	μs
T_3	Delay para ligar	2,0	μs
T_4	Tempo de subida	0,7	μs

Figura 21 - Características elétricas do L298.

Da figura acima, verifica-se que o tempo necessário para ligar (T_3+T_4) as válvulas é de $2,7 \mu s$ e para desligar (T_1+T_2) é de $1,7 \mu s$.

Outra consideração para a montagem do circuito de controle:



Note : For INPUT Switching, set EN = H
 For ENABLE Switching, set IN = H

Figura 22 - Montagem do L298.

V_{ss} é a tensão de alimentação do L298, V_S é a tensão máxima admissível do L298. Neste projeto, $V_S=12V$ pois é a voltagem necessária para as válvulas.

O sistema de controle que utilizaremos é da forma 1ª Ordem

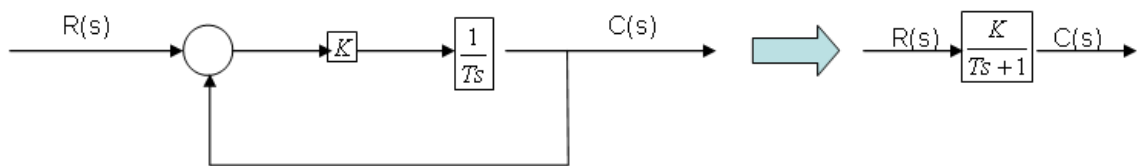


Figura 23 - Diagrama de blocos do sistema de controle das válvulas.

Sendo que:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (3.7)$$

A entrada utilizada para o acionamento das válvulas é do tipo degrau ($\frac{1}{s}$), então:

$$C(s) = \frac{1}{Ts + 1} \frac{1}{s} \quad (3.8)$$

Ou seja, a resposta temporal é da seguinte forma:

$$c(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \quad (3.9)$$

Ora $T=2,7 \mu s$ para sinal ligar, ora $1,7 \mu s$ para desligar, e $K=V_s=V$, assim obtém-se a curva em resposta temporal.

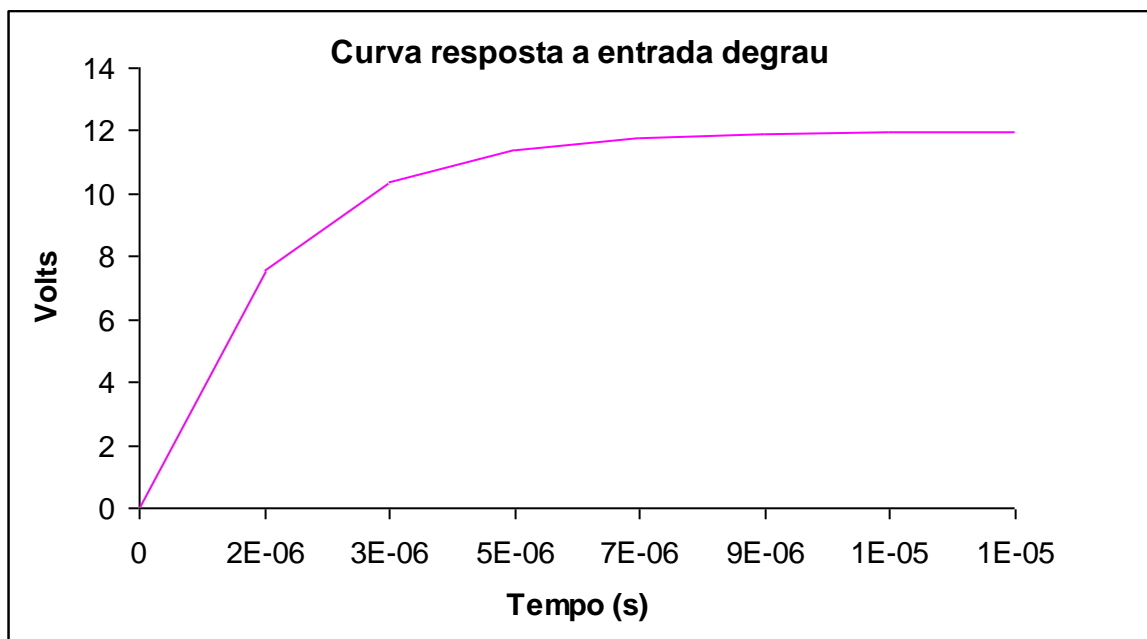


Figura 24 - Curva de resposta temporal do sinal das válvulas.

Como T é muito pequeno, a curva é praticamente a mesma para ligar e desligar o L298.

Os motores funcionarão da mesma maneira que as válvulas, ou seja, o sistema de controle será o mesmo para ambos, com a diferença no tempo de operação de cada componente.

Sabendo-se o tempo necessário para enviar o sinal ligar/desligar é no máximo $2,7 \mu s$ e que o tempo de fechamento e abertura das válvulas é de 200ms, então, o tempo necessário para o sistema das válvulas entrar em funcionamento é de 200ms.

Eletrônica

PWM

Pulse With Modulation ou modulação por largura de pulso é uma poderosa técnica para controlar circuitos analógicos com as saídas digitais de processadores. PWM é empregado numa grande variedade de aplicações, indo das medições e comunicações até controle de potência e conversão.

Um sinal digital possui um valor que varia continuamente, com uma resolução infinita tanto no tempo quanto na magnitude. Uma pilha é um exemplo de um dispositivo analógico, pois a sua saída não é precisamente a nominal. Ela muda com o tempo e pode ser um valor real qualquer. Da mesma forma, a quantidade de corrente drenado da pilha não é limitada a um conjunto de valores possíveis. Sinais analógicos são diferentes dos digitais pelo fato de que os últimos assumem valores somente de um conjunto finito de possibilidade predeterminadas, como o conjunto $\{0V, 5V\}$.

Voltagens e correntes analógicas podem ser utilizadas para controlar dispositivos diretamente, como o volume do rádio. Num simples rádio analógico, o botão analógico é conectado a um resistor variável. Assim que o usuário gira o botão, a resistência aumenta ou diminui e conseqüentemente, a corrente sobe ou desce. Esta mudança na quantidade de corrente faz com que os alto-falantes aumente ou diminui. Um circuito analógico é um circuito, como o rádio, cujas saídas são linearmente proporcionais as suas saídas.

Circuitos analógicos parecem intuitivos e simples, mas nem sempre são economicamente atraentes ou práticos. Por outro lado, circuitos analógicos tendem a flutuar ao longo do tempo e podem, assim, ser muito difíceis de calibrar. Circuitos

analógicos precisos, que resolveriam este problema, são grandes, pesados e caros e esquentam muito. A potência dissipada é proporcional a voltagem que atravessa os elementos ativos multiplicada pela corrente. Estes circuitos são também sensíveis a ruídos, pois devido a sua resolução infinita, qualquer perturbação ou ruído causa necessariamente uma mudança no valor da corrente.

Mas se controlássemos circuitos analógicos digitalmente, os custos de sistema e consumo de potência podem ser reduzidos dramaticamente. Além disso, muitos micro-controladores já possuem controladores PWM embarcados, facilitando a implementação.

Em poucas palavras, PWM é uma forma de digitalizar níveis de sinais analógicos. Através da utilização de contadores de alta resolução, o ciclo de uma onda quadrada é modulado para codificar um nível específico do sinal analógico. O sinal PWM é digital porque, a qualquer instante, a fonte de alimentação está ligada ou desligada. A voltagem ou corrente é fornecida para a carga analógica por meio de uma série de pulsos liga-desliga. Dado uma largura suficiente, qualquer valor pode ser codificado com PWM.

A figura 33 mostra três sinais PWM diferentes. O primeiro mostra uma saída PWM cujo *duty cycle* é 10%, ou seja, o sinal fica ligado 10% do período e desligado nos outros 90%. Os outros dois sinais mostram um PWM de *duty cycle* 50% e 90%, respectivamente. Estas três saídas PWM codificam três sinais analógicos de valores diferentes, 10%, 50% e 90% da tensão máxima.

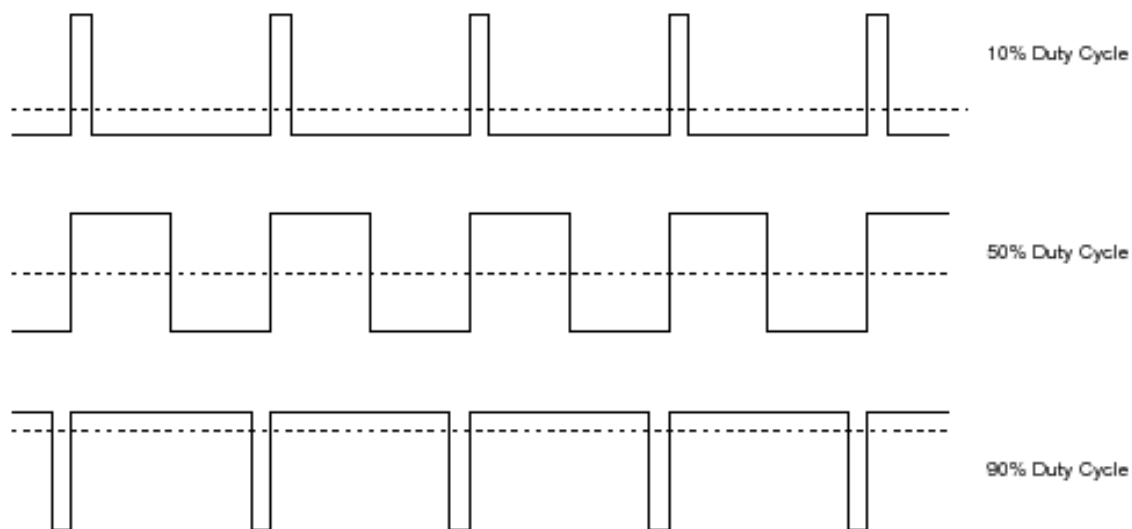


Figura 25 – Exemplos de PWM.

A figura 34 mostra um circuito simples que pode ser acionado utilizando-se um PWM. Na figura, a fonte (pilha de 1,5V) fornece potência à lâmpada. Se fechássemos a chave conectando a bateria e a lâmpada por 50ms, a lâmpada receberia 1,5V durante este intervalo de tempo. Se abrísssemos a chave nos próximos 50ms, esta receberia 0V. Se este processo fosse repetido 10 vezes por segundo, a lâmpada ficaria ligada como se estivesse ligada a uma bateria de 0,75V (50% de 1,5V). Desta forma, diríamos que o *duty cycle* é 50% e a frequência de modulação é 10Hz.

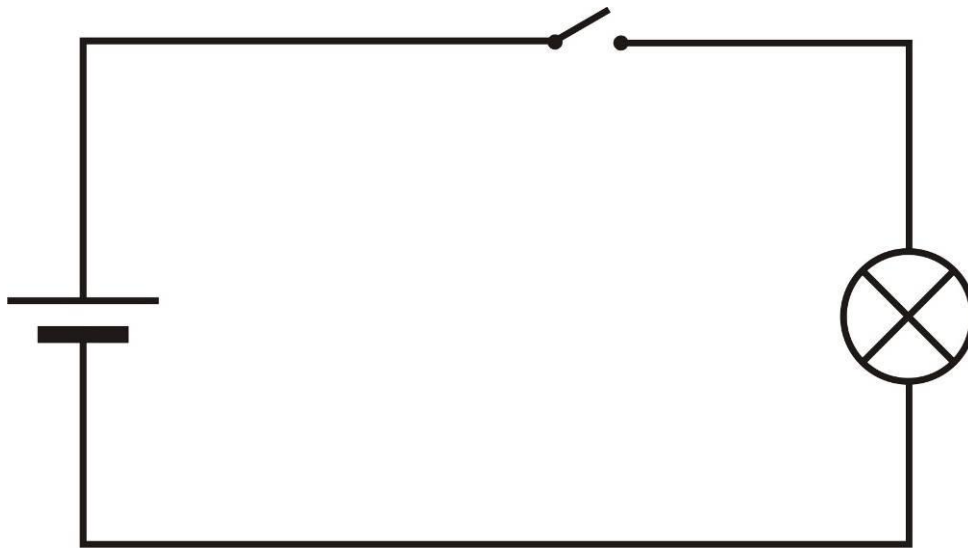


Figura 26 - Circuito simples.

Muitas cargas, indutivas e capacitivas, requerem uma frequência de modulação bem maior do que 10Hz. Imagine que a lâmpada do exemplo anterior fosse ligada por 5s e desligada por outros 5s, o *duty cycle* continuaria a ser 50%, mas a lâmpada apareceria acesa nos cinco segundos iniciais e apagada em seguida. Para que a lâmpada “enxergue” a voltagem de 0,75V, o período do ciclo precisa ser pequeno em relação ao tempo de resposta da carga para uma mudança do estado da chave. Para atingir a luminosidade desejada (mas sempre acesa), é necessário que aumente a frequência de modulação. O mesmo se aplica a outras aplicações com PWM, frequências de modulação comuns variam de 1kHz a 200kHz.

Uma das vantagens do PWM é que o sinal permanece digital durante todo o percurso deste o processador até o sistema controlado; não é necessária nenhuma

conversão digital – analógica. Mantendo o sinal digital, os ruídos são minimizados. Ruídos podem afetar um sinal digital somente se forem fortes o bastante para mudar um sinal lógico 1 para 0 ou vice-versa.

Ponte H

Ponte H nada mais é do que um circuito eletrônico cuja representação gráfica lembra um “H” e permite que a tensão na carga (linha horizontal) possa ser aplicada nas duas direções. Este circuito é normalmente utilizado em aplicações onde o acionamento de motores de corrente contínua em ambos os sentidos é necessário. Isto é conseguido através de 4 chaves (as 4 “pernas” do H) que abrem e fecham para permitir a passagem de corrente através da carga. Quando as chaves S1 e S4 são fechadas (e S2 e S3 abertas), o motor gira num sentido. Abrindo as chaves S1 e S4 e fechando a S2 e a S3, a voltagem é invertida e o motor inverte o sentido da rotação. Desta forma, pode-se perceber que as chaves S1 e S2 nunca devem ser fechadas ao mesmo tempo, pois isto causa um curto circuito na fonte de tensão. O mesmo se aplica as chaves S3 e S4.

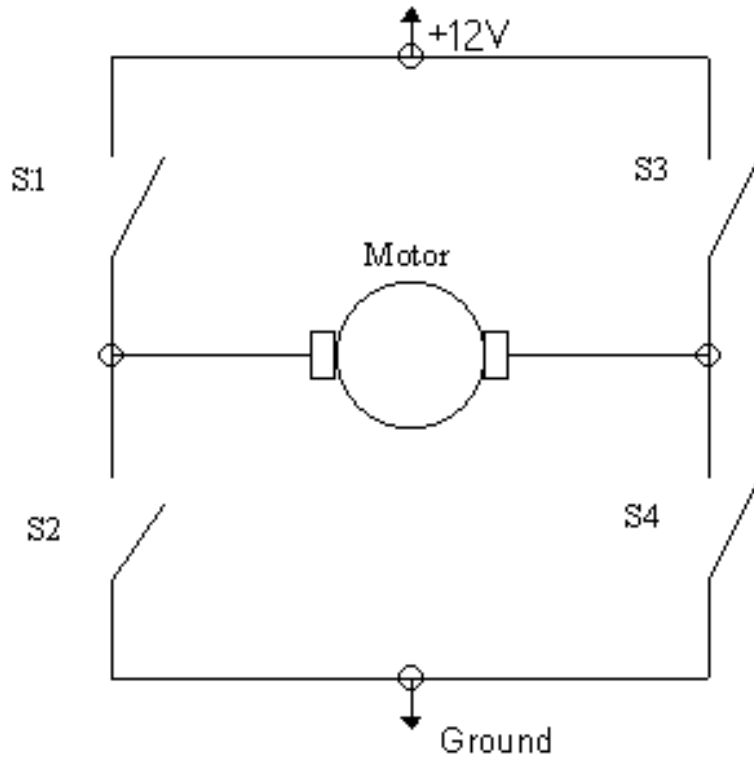


Figura 27 – Ponte H.

CAPÍTULO 4 – Projeto

Análise estrutural

Para realizar as análises estruturais foi utilizado um software de elementos finitos. Obtendo-se os resultados apresentados nas figuras 12 e 13, verifica-se que nenhum ponto da estrutura ultrapassa o limite de escoamento.

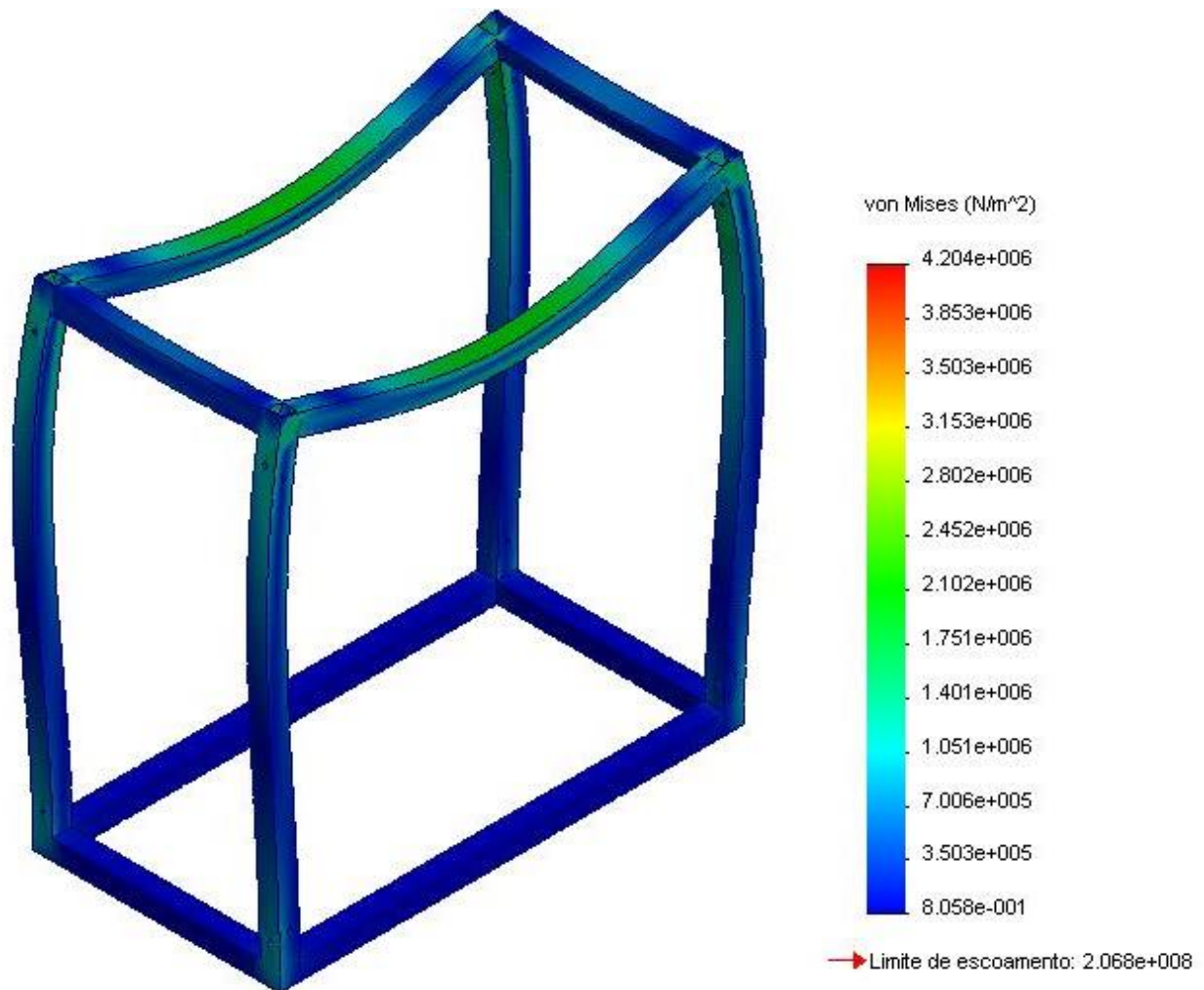


Figura 28 - Resultados da análise estrutural (von Mises).

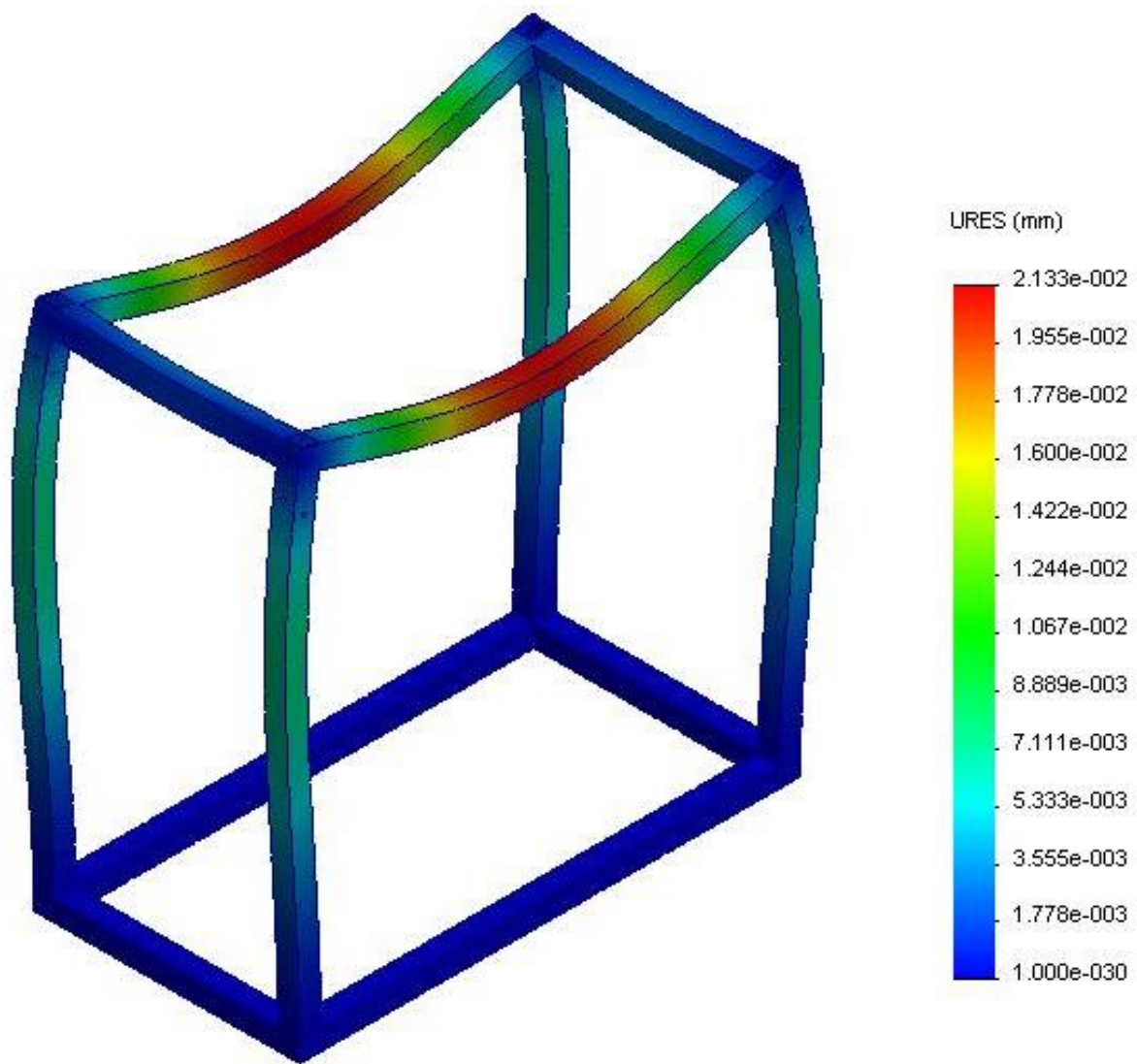


Figura 29 - Resultado da análise estrutural (deformação).

Análise da estrutura com componentes (estimados)

Nesta análise considera-se a massa dos motores, das válvulas, da coqueteleira, da adega e das garrafas nos respectivos suportes.

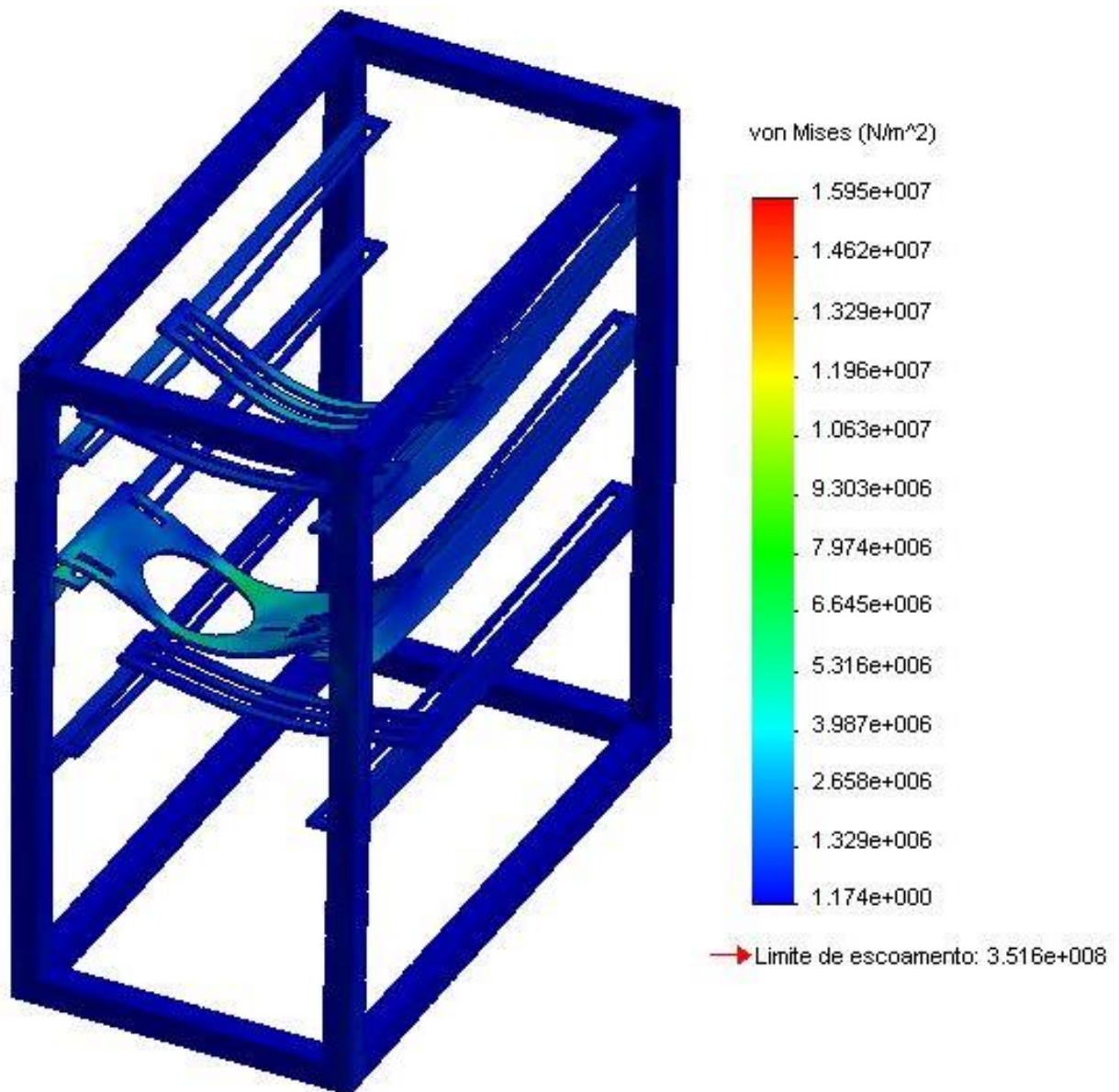


Figura 30 - Resultado da análise da estrutura em conjunto (von Mises).

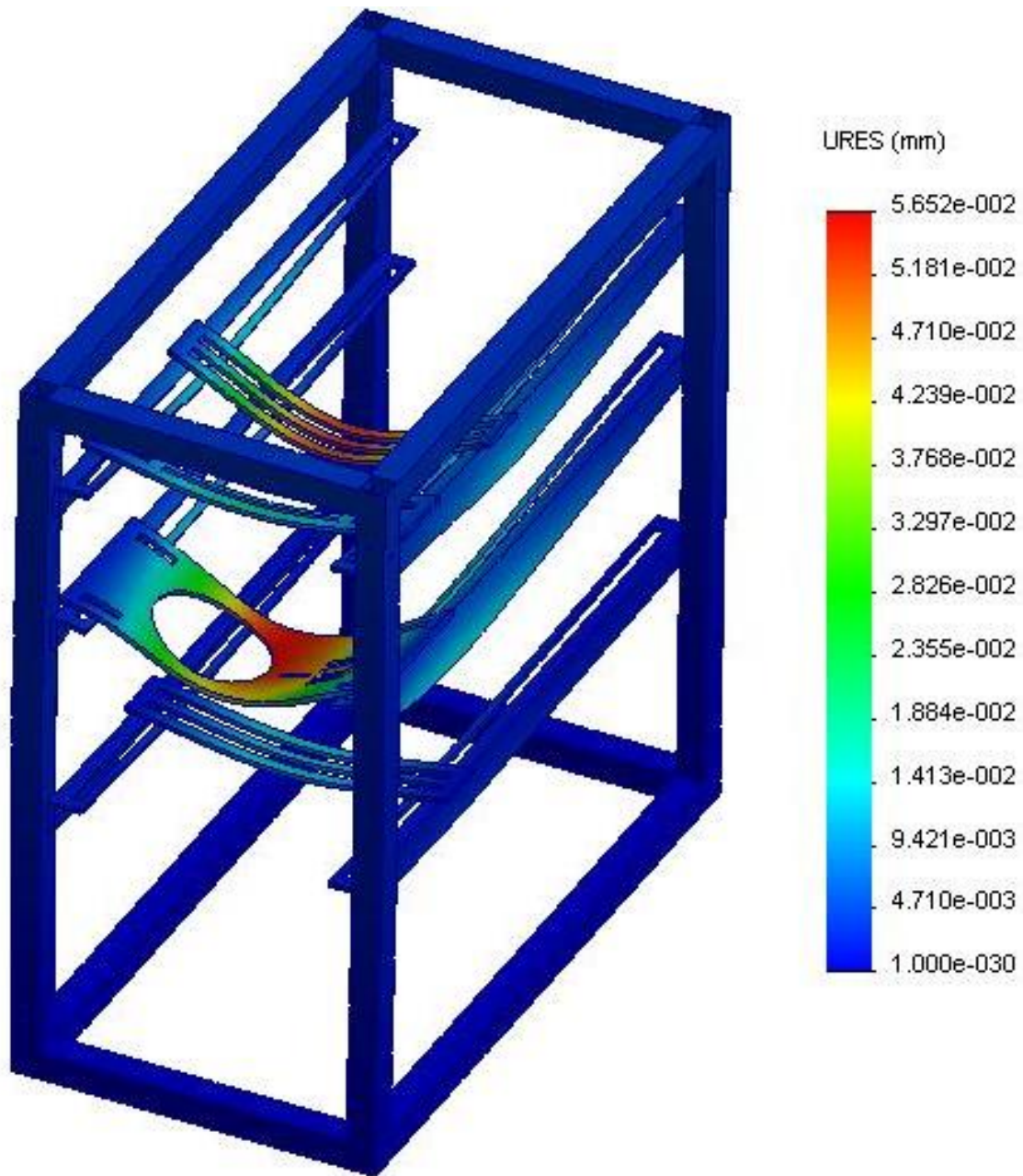


Figura 31 - Resultado da análise da estrutura em conjunto (deformação).

Dos resultados apresentados nas figuras 14 e 15, verifica-se que nenhum ponto da estrutura ultrapassa o limite de escoamento.

Isolamento térmico dos tubos de silicone

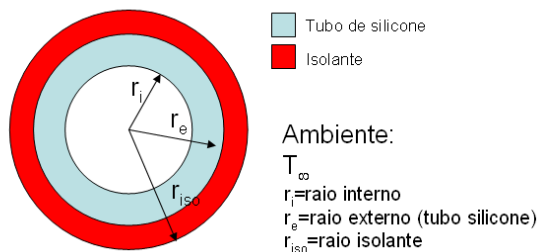
No projeto, temos quatro tubos de silicone que se conectam as garrafas e às válvulas. Esses quatro tubos ficarão expostos à temperatura ambiente da adega até as válvulas, 30 cm de comprimento de cada tubo exposto, 1,2 metros no total, portanto se faz necessário um isolamento térmico desses tubos a fim de se minimizar as perdas de calor.

O programa Isocalc da empresa L'Isolante K-flex foi utilizado para calcular a perda de energia e também para o dimensionamento do material isolante.

As entradas para o programa são as seguintes:

- Temperatura Ambiente: 27 °C
- Temperatura interna (tubo): 7 °C
- Diâmetro do tubo de silicone: 10 mm
- Comprimento do tubo de silicone: 1,2 m
- Material isolante: Condutividade térmica: 0,029 W/mK (Poliestireno expandido)
- Coeficiente h: Velocidade média do ar em torno do tubo (5 cm/s), do programa, $h = 6,403 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Espessura do isolamento: 5 mm (tamanho padrão para o diâmetro do tubo de silicone de 10 mm)

Da fundamentação teórica de transferência de calor, o raio ótimo do material isolante seria:



Onde,

$$r_i = 3 \text{ mm}$$

$$r_e = 5 \text{ mm}$$

$$r_{iso} < \frac{2k_{iso}}{h}$$

$$r_{iso} < \frac{2k_{iso}}{h}, \text{ ou seja,}$$

$$r_{iso} < \frac{2 * 0,029}{6,403} \cong 0,1m \text{ ou } 1 \text{ cm}$$

Assim, a espessura da parede do tubo isolamento seria,

$$\text{Esp. Isolante} = r_{iso} - r_e = 10 - 5 = 5 \text{ mm}$$

Inseriu-se esses dados no programa e obteve-se os seguintes resultados como indicado na figura abaixo:

cálculo de la temperatura superficial

parámetros

temperatura ambiente: 27.00 °C

temperatura interna: 7.00 °C

diámetro del tubo: 10 mm

espesor de aislamiento: 5 mm

Material aislante: K - Factor

coeficiente de disipación superficial h: cálculo h 6.403 W/m²K

resultados

conductividad térmica media lambda: 0.0290 W/m K

temperatura superficial: 26.89 °C

Control: Calcular, Ayuda, Imprimir, Cerrar

resultados

conductividad térmica media lambda: 0.0290 W/m K

transmisión térmica k: 0.048 W/m²K

pérdida de calor Q: 1.163 W

ahorro energético debido al aislamiento: 87.40 %

Coste por hora: 0.001 €

Calcular dimensiones alternativas con K-FLEX: Selecci mm

Control: Calcular, Ayuda, Imprimir, Cerrar

Figura 32 - Resultados do programa L Isolante para dimensionamento do material isolante.

Assim, para um tubo isolante de poliestireno expandido de espessura de 5 mm, obtemos uma economia energética de 87,4% ou perca de calor de 1,163 W.

Sistema de acionamento e controle

O projeto deste sistema foi dividido em duas partes: uma de potência e outra de controle. Para o controle das válvulas e motores foi escolhido um microcontrolador PIC devido a sua flexibilidade, baixo custo e facilidade de programação. O modelo escolhido foi 16F628a, pois é necessário 8 sinais de saída e 4 de entrada para controlar o equipamento. Os sinais de saída são para o controle das válvulas e dos motores, sendo que 7 deles são apenas de sinais lógicos 1 ou 0 e um PWM para o controle do tubo de saída. Os 4 sinais de entrada são utilizados para os botões de escolha dos coquetéis. Um buffer 2050 foi usado para proteção da porta de saída do PIC, pelo fato de que a corrente de trabalho desta ser muito baixa (25mA).

Na parte de potência, foi utilizado 7 MOSFET's e uma ponte H. Pois apenas um dos motores será acionado nos dois sentidos. A ponte H escolhida é um circuito integrado L298, que aciona motores de até 46V. Foram utilizados diodos para a proteção do L298, pois quando a alimentação do motor é desligada, o fluxo magnético deste desaparece e estabelece-se uma corrente que pode ser muito intensa em sentido inverso para se opor à variação do fluxo.

Para garantir uma tensão estável de alimentação aos componentes e utilizar apenas uma fonte de tensão tanto para a parte de controle quanto a de potência foi utilizado um regulador de tensão LM7805. Assim, apenas uma fonte de 12V será necessária para o funcionamento do circuito todo, já que ela poderá alimentar a parte de potência dos motores e das válvulas e também o regulador LM7805, que alimentará o PIC 16F628a e o L298.

O circuito eletrônico e o código fonte do programa que faz o controle deste circuito encontram-se em anexo.

RESULTADOS

Na tabela a seguir estão descritos os tempos de preparo dos coquetéis propostos e também do processo de limpeza:

Tabela 3 - Tempo de preparo e do processo de limpeza.

<i>Descrição</i>	<i>Tempo (segundos)</i>
Americano	PREENCHER
Dry Martini	
Negroni	
Limpeza	

O coquetel Negroni possui um tempo maior de preparo porque possui três diferentes líquidos para ser dosado enquanto que os outros dois coquetéis possuem apenas dois.

Observou-se, através de testes experimentais que existe um erro de dosagem de 10% devido à diferença de cota do líquido quando as garrafas estão cheias e quando estão quase vazias.

Na tabela 4 a seguir estão descritos as dosagens em volume obtidas para uma dosagem num intervalo de tempo de 3 segundos.

Tabela 4 - Resultado dos testes de dosagem.

Dosagem	Tempo (segundos) por dosagem	Tempo (segundos) decorrido	Volume (ml) por dosagem	Volume (ml) decorrido	Diferença de Cota do líquido (mm)	Diferença (ml)	Diferença (ml) decorrido	Erro (%)
1	3	3	50	50	13	0	0	0%
2	3	6	50	100	13	0	0	0%
3	3	9	50	150	13	0	0	0%
4	3	12	50	200	13	0	0	0%
5	3	15	50	250	13	0	0	0%
6	3	18	50	300	13	0	0	0%
7	3	21	49	349	13	1	1	2%
8	3	24	49	398	13	1	2	2%
9	3	27	49	447	13	1	3	2%
10	3	30	49	496	13	1	4	2%
11	3	33	46	542	12	4	8	8%
12	3	36	46	588	12	4	12	8%
13	3	39	46	634	12	4	16	8%
14	3	42	46	680	12	4	20	8%
15	3	45	45	725	12	5	25	10%
16	3	48	45	770	12	5	30	10%
17	3	51	45	815	12	5	35	10%
18	3	54	45	860	12	5	40	10%
Total	54	54	860	860	223	-810	196	23%

Observa-se um erro máximo de 10% a partir da 15^a dosagem, ou seja, uma diferença de 5 ml sobre uma dosagem de 50 ml. No entanto considerou-se esse erro de 10% sobre o volume, um erro irrelevante no produto final, já que não é relevante nas proporções dos ingredientes em um coquetel.

Na tabela 5, estão descritos os erros máximos em volume por coquetel.

Tabela 5 - Erros máximos em volume por coquetel.

	Coquetel	Valores em mililitros					Diferença
		Campari	Dry Vermouth	Gin	Sweet Red Vermouth	Total	
Dosagem IBBA	Americano	30	-	-	30	60	0
	Dry Martini	-	15	55	-	70	0
	Negroni	30	-	30	30	90	0
Dosagem Erro 10%	Americano	27	-	-	27	54	6
	Dry Martini	-	14	50	-	63	7
	Negroni	27	-	27	27	81	9

Assim, observa-se uma diferença máxima de 9 ml para o Negroni, sendo que as proporções se mantêm as mesmas.

Sendo assim, com os dados dos testes experimentais, montou-se uma curva de vazão, obtendo-se o gráfico da figura 33.

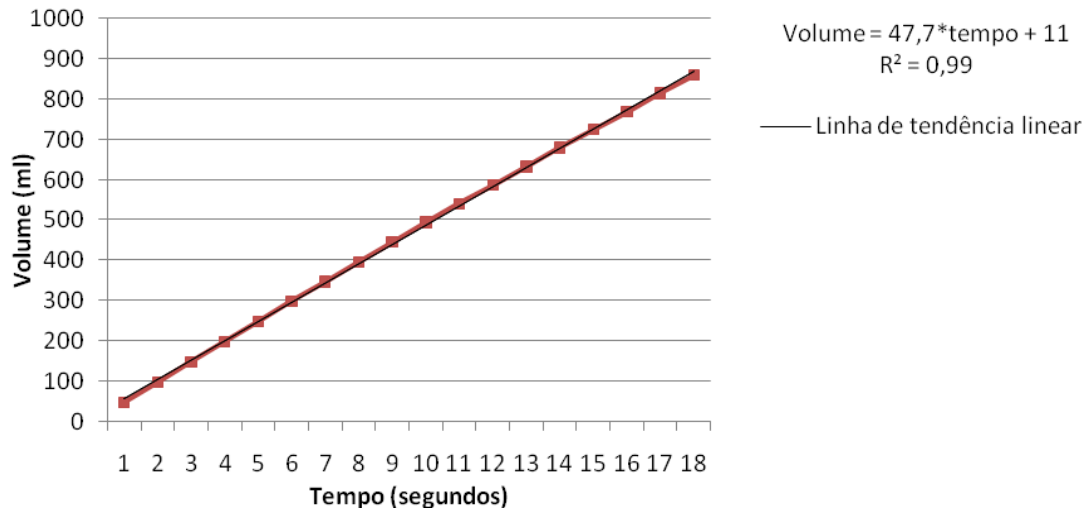


Figura 33 - Curva de vazão das válvulas.

Desse modo, utilizou-se no software de programação do PIC16f684 a equação de volume por tempo:

$$Volume = 47,7 * tempo + 11 \quad (5.1)$$

Esta equação foi obtida por uma linha de tendência com uma relação quadrática de 0,99. Exibindo assim uma relação linear, conforme esperado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez concluída a construção do protótipo e coletado os dados dos testes realizados, obtiveram-se resultados que permitiram o seguinte conjunto de conclusões.

No que diz respeito ao tempo de preparo dos coquetéis, pôde-se verificar que este está dentro dos limites esperados, ou seja, o tempo entre o acionamento do botão até a saída do produto é de menos de 1 minuto. No entanto, é necessária uma espera de 40 segundos entre um preparo e outro devido ao tempo de limpeza dos componentes.

Em relação à temperatura do produto final, observa-se que a mesma está um pouco acima do esperado. Este aumento de aproximadamente 2 °C deixa a qualidade do produto um pouco a desejar, mas não o compromete.

Vale ressaltar ainda que o tamanho, formato e disposição da adega utilizada para armazenamento e refrigeração dos líquidos dificultam, de certa forma, o processo de troca das garrafas.

Após a análise dos resultados e levando em consideração os pontos positivos e negativos do protótipo, os autores sugerem modificações nos sistemas de refrigeração e armazenamento da máquina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - ABVA - Associação Brasileira de Vendas Automáticas. Contém vários dados sobre o mercado de vendas automáticas. Disponível em: http://www.abva.com.br/neodownload/download.php?fileSource=/home/httpd/websites/abva.com.br/html/arq_sys/neodownload/conceito_de_mercado_de_vending.doc&fileName=conceito_de_mercado_de_vending.doc&ac=Mg==. Acesso em: 08 de agosto de 2008.
- [2] - Aicás Eletroválvulas. Contém vários catálogos explicativos de válvulas solenóides e válvula de pinçamento. Disponível em: http://www.provitec.com.br/index_bmdos.html. Acesso em: 30 de maio de 2008.
- [3] - Feinberg, R., "Introduction to electronic circuits", 1952.
- [4] - IBA - *International Bartender Association*. Contém receitas dos coquetéis IBA. Disponível em: <http://www.iba-world.com/english/cocktails/>. Acesso em: 20 de abril de 2008.
- [5] - Incropera, F. P., Witt, D.P., "Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa", 5ª Edição.
- [6] - Munson, B.R, Young, D.F., Okiishi, T.H., "Fundamentos da Mecânica dos Fluidos", Tradução da 2ª da edição americana. Vol. 2.
- [7] - Ogata, Katsuhiko, "Engenharia de Controle Moderno", 4ª Edição, 2005.
- [8] - Popov, E P, "Resistência dos materiais": versão si / E P Popov; [Trad.] Moacyr de Freitas, 1984.

- [9] - Provitec Sistemas de Controle e Dosagem. Apresenta uma visão sobre o funcionamento de bombas peristálticas. Disponível em: http://www.provitec.com.br/index_bmdos.html. Acesso em: 25 de maio de 2008.
- [10] - Wylen, V., Sontag, Borgnake, "Fundamentos da Termodinâmica", Tradução da 6ª da edição americana.

ANEXOS