

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DA REVENDA  
DE GNV NUM POSTO DE ABASTECIMENTO**

Elber Kenji Numata Ogasavara

**SÃO PAULO**

**2005**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DA REVENDA  
DE GNV NUM POSTO DE ABASTECIMENTO**

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do título de  
Graduação em Engenharia Mecânica

Elber Kenji Numata Ogasavara

Orientador: José Roberto Simões Moreira

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

**SÃO PAULO**

**2005**

TE 05  
Og 1e

gas natural

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011158

**Ogasavara, Elber**

**Estudo de viabilidade técnica da implantação da revenda de GNV num posto de abastecimento / E.K.N. Ogasavara. – São Paulo, 2005 – 44 páginas.**

**Trabalho de conclusão de curso - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica**

**1.GNV 2.Gás Natural (Abastecimento) 3. Seleção de equipamentos**

**I. Ogasavara II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica**

## **RESUMO**

Através deste trabalho de formatura realizou-se um estudo de viabilidade técnica para instalação e posterior operação de Gás Natural Veicular (GNV) num posto de abastecimento já existente na cidade de Campinas –SP. Em todas as etapas do mesmo, os aspectos a serem avaliados e implementados foram tratados considerando-se as devidas minúcias com objetivo de garantir a fidelidade em nível executivo, pois se almeja, em breve data, levar esta análise à prática.

## **ABSTRACT**

The goals of this final project was to carry out a technical viability study in order to install and operate the supplying of vehicular natural gas in a gas station located in Campinas – SP. In all steps of the project, the main aspects to be introduced and analyzed were done with enough details to provide a reliable study, since it is desired to make a further investment on it.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	O GNV E A TECNOLOGIA .....	1
1.2	OBJETIVOS DO ESTUDO .....	3
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>4</b>
2.1	ESTIMATIVA DE DEMANDA .....	4
2.2	SELEÇÃO DO COMPRESSOR.....	5
2.3	SELEÇÃO DOS OUTROS COMPONENTES .....	6
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>7</b>
3.1	CURVA DE DEMANDA .....	7
3.1.1	Aproximação da curva de demanda.....	8
3.2	SELEÇÃO DO COMPRESSOR E DO MOTOR.....	13
3.3	SELEÇÃO DO ACOPLAMENTO: .....	15
3.4	CÁLCULO DAS TUBULAÇÕES: .....	16
3.5	SELEÇÃO DO RESERVATÓRIO.....	18
3.6	SELEÇÃO DOS “DISPENSERS” .....	20
3.7	DESENHO DE CONJUNTO.....	20
3.8	COMPRESSOR A ELETRICIDADE X COMPRESSOR A GÁS NATURAL.....	21
3.9	CÁLCULOS PARA GERAÇÃO DO PROGRAMA DE DIMENSIONAMENTO.....	23
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>

# ÍNDICE

## Lista de Figuras

Fig. 1: Demanda ao longo de um dia útil .....	7
Fig. 2: Demanda entre 0:00 e 1:00 h.....	8
Fig. 3: Demanda entre 1:00 e 5:40 h.....	9
Fig. 4: Demanda entre 5:40 e 7:00 h.....	9
Fig. 5: Demanda entre 7:00 e 9:40 h.....	10
Fig. 6: Demanda entre 9:40 e 12:10 h.....	10
Fig. 7: Demanda entre 12:10 e 14:10 h.....	11
Fig. 8: Demanda entre 14:10 e 16:40 h.....	11
Fig. 9: Demanda entre 16:40 e 21:40 h.....	12
Fig. 10: Demanda entre 21:00 e 24:00 h.....	12
Fig. 11 - Desenho de conjunto dos equipamentos selecionados.....	21
Fig. 12: Variação da massa de gás no reservatório.....	26
Fig. 13: Variação da massa de gás para vendas 5% acima do esperado .....	27

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Faixas de consumo .....	8
Tabela 2: Propriedades termodinâmicas do metano .....	14
Tabela 3: Fator de compressibilidade Z do gás metano como função da pressão reduzida $P_r$ para $T_r = 1,56$ .....	24
Tabela 4: Cálculo da massa no reservatório para diferentes pressões .....	24
Tabela 5: Parâmetros para dimensionamento.....	25
Tabela 6: Parâmetros para dimensionamento com vendas 5% acima do esperado ...	26

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 O GNV e a tecnologia

Com o crescimento recorde no setor de combustíveis na década passada e perspectiva de investimentos de cerca de R\$ 4,5 bilhões nos próximos três anos, o GNV é a atual ambição de todo revendedor do setor. Na prioridade dos planos de todas as distribuidoras, o segmento também impulsiona diversos investimentos, sejam em infra-estrutura (para ampliação e capilarização das redes de distribuição) ou em tecnologia, para o desenvolvimento de novos motores e equipamentos sofisticados para transporte e abastecimento.

As principais montadoras brasileiras estão estudando a possibilidade da fabricação de veículos movidos a GNV, sem a necessidade de conversão posterior, e a rede de abastecimento está a cada dia mais estruturada.

Com menor potencial poluidor, baixo custo e oferta abundante, o produto se apresenta como uma das mais promissoras fontes energéticas alternativas para uso automotivo e industrial no Brasil.

Apesar de uma política comercial ainda incipiente e um custo em torno de R\$ 1.000.000,00 para se adequar um posto que comercialize GNV (este custo inicial já foi de U\$ 1.000.000,00), o produto apresenta uma série de vantagens para o segmento.

O tempo de abastecimento de um veículo, que anteriormente demorava até 30 minutos, gerando longas filas nos parques postos espalhados pelo estado, atualmente é muito mais rápida. A autonomia dos veículos é maior, os motores apresentam melhor desempenho e o número de postos também cresceu.

Tecnologicamente, ainda estão em desenvolvimento os gasodutos virtuais, caminhões adaptados para transportar cilindros de gás em longas distâncias, cuja proposta é atender postos que não são abastecidos pela malha de distribuição das concessionárias.



No aspecto tributário, com a não incidência da Cide e menor alíquota de ICMS, o GNV, pela sua própria característica, acaba por não permitir distorções de mercado, como obtenção de liminares, sonegação de impostos e, sobretudo, adulteração de produto, o que mantém o setor imune à clandestinidade.

E, não bastasse isso, nos últimos cinco anos, segundo um estudo levantado pelo Sindicato de Combustíveis, o mercado da gasolina sofreu retração de 19%. No mesmo período, o GNV apresentou um crescimento de vendas de 893,6%.

Ainda assim, a certeza de que o uso do gás vai crescer não reside só nos números e na tecnologia. Além dos automóveis, o foco do setor está voltado para a frota de transporte público, hoje movida a partir de óleo diesel. O uso do GNV reduziria, por exemplo, as emissões de monóxido de carbono em 76% e de óxidos de nitrogênio em 84%.

O gás natural é um combustível fóssil encontrado em rochas porosas no subsolo, podendo estar associado ou não ao petróleo. Sua formação resulta do acúmulo de energia solar sobre matérias orgânicas soterradas em grandes profundidades, do tempo pré-histórico, devido ao processo de acomodação da crosta terrestre. É composto por gases inorgânicos e hidrocarbonetos saturados, predominando o metano e, em menores quantidades o propano e o butano, entre outros. Geralmente apresenta baixos teores de contaminantes como o nitrogênio, dióxido de carbono, água e compostos de enxofre. O gás natural permanece no estado gasoso, sob pressão atmosférica e temperatura ambiente. Mais leve que o ar, o gás natural dissipa-se facilmente na atmosfera em caso de vazamento. Para que se inflame, é preciso que seja submetido a uma temperatura superior a 620°C. A título de comparação, vale lembrar que o álcool se inflama a 200°C e a gasolina a 300°C. Além disso, é incolor e inodoro, queimando com uma chama quase imperceptível. Por questões de segurança, o GN comercializado é odorizado com enxofre.

É com base nesta série de vantagens que se motivou a execução deste estudo e caso ele se mostre devidamente atrativo, poderá ser realmente implantando.

Cabe ressaltar também que este trabalho foi desenvolvido paralelamente e de forma complementar ao trabalho de Sasaki (2005).

## 1.2 Objetivos do estudo

Ambiciona-se com este trabalho a análise e seleção de um equipamento que seja bem dimensionado para a instalação da revenda de GNV em um posto de abastecimento existente no distrito Barão Geraldo na cidade de Campinas-SP e com vendas projetadas de 150.000 Nm<sup>3</sup>. Este dimensionamento é de extrema importância, pois um compressor superdimensionado leva a um aumento no consumo energético, um aumento no custo de aquisição do motor e do compressor além de um aumento nos custos de manutenção, reflexo da maior intermitência do uso do equipamento. Um equipamento subdimensionado não acarreta problemas mecânicos, mas traz um problema de insuficiência de abastecimento, o que leva a uma grande perda financeira sendo muito mais grave do que o superdimensionamento.

Escolhido o compressor, deve-se então selecionar outros componentes como motor, acoplamento, tubulação, reservatório e “dispênsar”, os quais também fazem parte do equipamento.

Além deste estudo, pretende-se analisar qual seria o impacto técnico e financeiro na hipótese de substituição do motor elétrico que é utilizado atualmente em 95 % dos postos já implantados, por um movido com o próprio gás natural com o objetivo de redução do custo energético.

## **2 Materiais e Métodos**

Para o cálculo e seleção dos equipamentos utilizados neste presente trabalho, foi considerado que o GNV fosse composto unicamente por gás metano, uma vez que este é o elemento predominante na composição do gás, e esta consideração facilita este estudo.

### **2.1 Estimativa de Demanda**

Antes da seleção do equipamento propriamente dito, teve-se que plotar uma curva de vendas estimadas ao longo de um dia para o posto em que questão. Esta estimativa é de extrema importância, pois influencia no dimensionamento do compressor bem como da bateria de estoque. A obtenção dos dados de como se comporta a demanda de gás de um dia útil foi feita junto à empresa Galileo Brasil Com. E Serv. Ltda e, posteriormente, foi feita uma aproximação desta curva por uma série de polinômios de no máximo 3º grau. O cálculo do fluxo de gás foi feito de forma que a massa de gás no interior do reservatório permanecesse sempre dentro de uma faixa pré-determinada (de 230 a 255 bar), com o intuito de nem prejudicar o abastecimento, no caso de uma baixa pressão e nem danificar o compressor, no caso de uma pressão elevada. Para isto, foi feito um algoritmo em VBA que conseguisse prever a quantidade de gás no interior dos pulmões, utilizando como dados de entrada a potência do motor, a capacidade do reservatório, a curva de demanda e as pressões máxima e mínima de trabalho.

## 2.2 Seleção do compressor

A um custo muito elevado de aquisição, este equipamento deve ser minuciosamente dimensionado para obter a melhor relação custo-benefício, garantindo o atendimento de demanda em todo o horário de funcionamento do posto, sem que a ociosidade seja verificada.

Uma configuração básica para atender a revenda de gás natural veicular prevê ainda um pulmão, ou uma bateria de pulmões, de modo a armazenar gás em seu interior com o objetivo de preservar a integridade do compressor e evitar o predatório liga-desliga deste último.

Os passos seguidos pelo equipamento conferem a seguinte estruturação:

- Liga-se o ventilador de partida
- Partida do compressor – enchimento (processo não produtivo)
- Inicia-se a compressão
- Período de operação (somente neste período há compressão efetiva do gás)
- Sinal elétrico enviado ao painel de controle requisitando a parada
- Recirculação – fechamento da admissão – abertura da válvula by-pass – momento em que o compressor funciona sem comprimir gás (processo não produtivo)
- Parada do motor
- Envio de gás aos pulmões e parada final do compressor
- Parada do ventilador

A complexidade do procedimento Liga-desliga diminui abruptamente a vida útil do compressor, de modo que a minimização das paradas deve ser considerada como prioritária. Ademais, durante o processo relatado, verifica-se a existência de dois estágios não produtivos, fases em que não ocorre nenhuma compressão, somente consumo de energia, fato a ser evitado por motivação clara.

Através da alteração dos parâmetros de entrada do algoritmo desenvolvido, foram obtidas algumas combinações possíveis da capacidade do compressor versus o tamanho do reservatório. Além disto, o programa prevê ainda um cálculo do número de vezes que compressor tem que ligar e desligar durante o dia, e as simulações foram feitas objetivando-se também a diminuição deste valor. Conforme conversado com fornecedores, os equipamentos são providos de um sistema de “stand by”, que entra em funcionamento quando o compressor atinge a pressão, mas não desliga, e o compressor começa a funcionar em vazio aguardando durante um tempo pré-determinado e no caso de queda de pressão devido à venda do gás, o compressor volta a funcionar novamente. Se a pressão não cair suficientemente o compressor finalmente desliga. Este sistema tem a vantagem de evitar que o compressor ligue e desligue com muita frequência, mas gera um consumo improdutivo durante o período de espera. Esta facilidade também é prevista no algoritmo e tenta-se com isto chegar a um melhor tempo de espera.

Selecionando-se a melhor opção, partiu-se para a seleção do compressor, do motor e do reservatório e, nesta etapa, foram utilizados diversos conhecimentos aplicados à termodinâmica que foram retirados em sua maioria da obra “Fundamentos da Termodinâmica”.

## **2.3 Seleção dos outros componentes**

Com o compressor, motor e reservatório dimensionados, ficou restando a seleção do acoplamento, das tubulações e dos “dispensers” a serem utilizados no equipamento, e com este intuito também foi necessário o conhecimento em termodinâmica e além disto foram consultadas diversas normas e bibliografias referentes à mecânica dos sólidos e seleção de materiais.

### 3 Resultados e Discussões

#### 3.1 Curva de demanda

A seleção do compressor, bem como a bateria de estoque, deve levar em conta uma previsão de vendas. Para o posto objeto de análise, cuja venda mensal assume a média mensal nacional de 150.000 Nm<sup>3</sup> por mês, foi obtido o seguinte perfil:



Fig. 1: Demanda ao longo de um dia útil

Durante as primeiras horas do dia, é observada uma venda mínima e constante entre o período compreendido das 1:00 hora até as 7:00 horas. Logo após este horário, nota-se um aumento constante de abastecimentos até as proximidades das 9:00, momento do primeiro pico de vendas. Há um decréscimo na demanda até as 11:00, seguido do segundo pico por volta das 13:00 horas. O terceiro e mais duradouro ápice cujo consumo em torno de 105 Nm<sup>3</sup>/10min por volta das 19:00 horas, entrega o maior desafio para efeito de seleção do compressor. A curva

anunciada foi avaliada em forma gráfica com auxílio do grupo Galileo Brasil Com. E Serv. Ltda., empresa especialista no desenvolvimento de equipamentos para postos de combustíveis.

Para o consumo mensal estipulado de 150.000 Nm<sup>3</sup>/mês foi procedida uma divisão de consumo conforme indicada na Tabela 1:

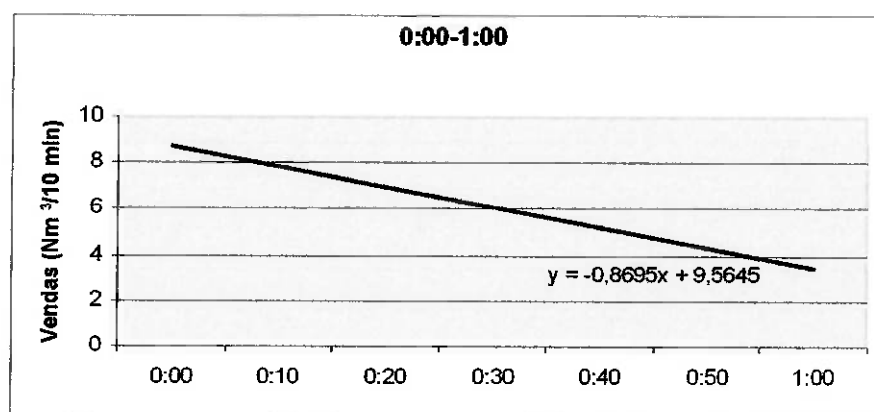
**Tabela 1 - Faixas de consumo**

7% - 8%	22:00 até 06:00
45%	6:00 até 14:00
47%	14:00 até 22:00

### 3.1.1 Aproximação da curva de demanda

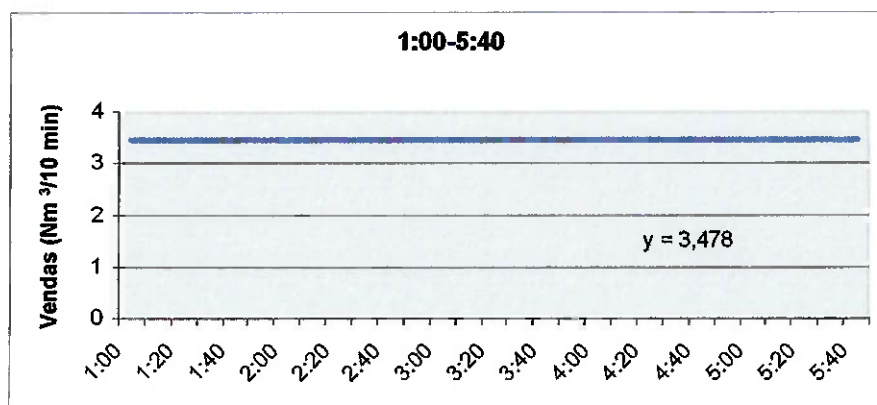
Neste estágio serão definidas aproximações para determinação de funções que melhor caracterizam a curva de demanda em cada momento de um dia usual de vendas.

Durante o período da madrugada, a função que aproxima a curva de demanda do período pode ser dada por:



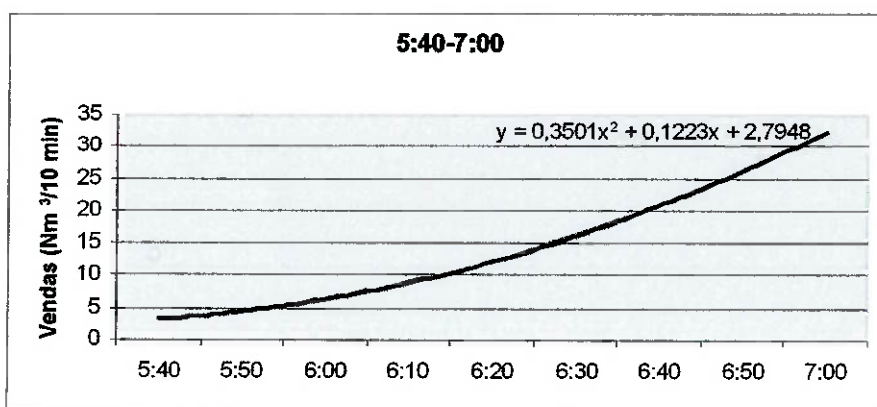
**Fig. 2: Demanda entre 0:00 e 1:00 h**

Trata-se de uma curva quase linear, neste período de poucas vendas.



**Fig. 3: Demanda entre 1:00 e 5:40 h**

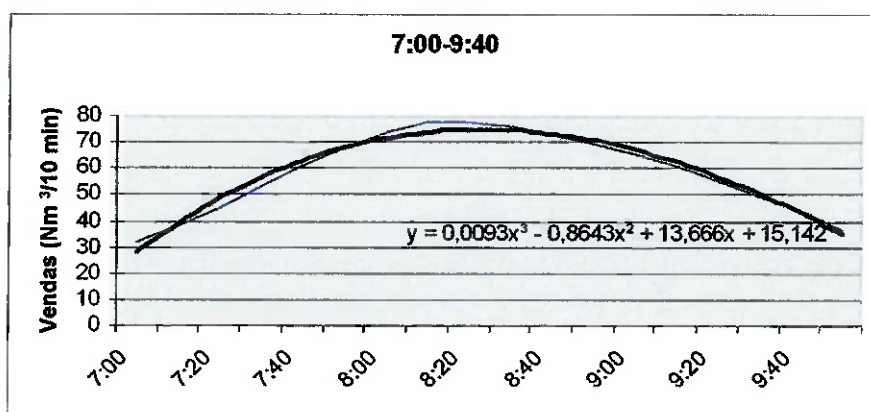
Para o período das 1:00 as 5:40 da manhã. A venda foi admitida como constante e com o valor mais baixo do dia.



**Fig. 4: Demanda entre 5:40 e 7:00 h**

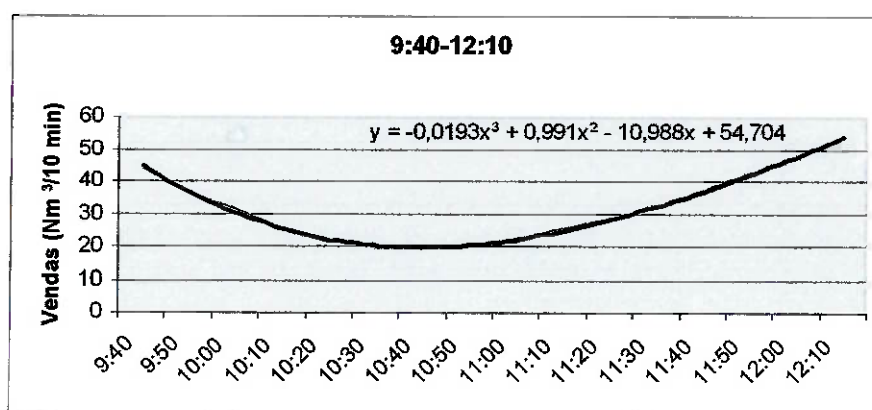
Verifica-se um aumento de demanda com a chegada do amanhecer e a curva acima se portou de maneira a reproduzir fielmente o período. O polinômio de grau dois foi suficiente pra demonstrar a taxa de crescimento do horário em questão.





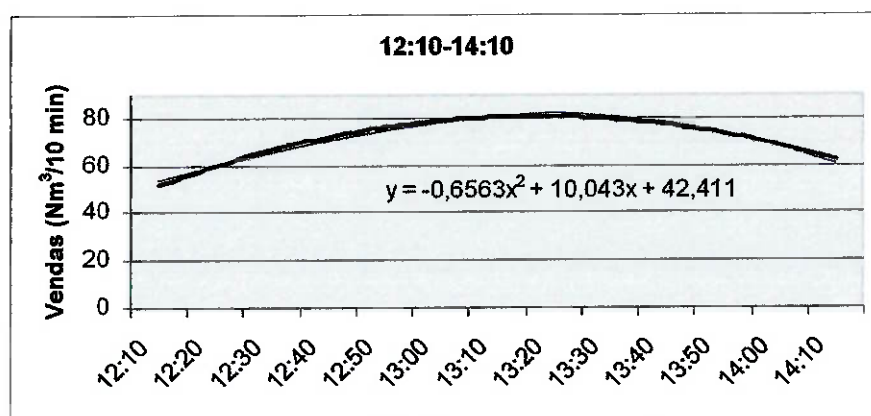
**Fig. 5: Demanda entre 7:00 e 9:40 h**

Este gráfico ilustra o primeiro pico de vendas do dia, cujo comportamento pode ser equacionado pela função de grau três. Nota-se um pequeno desvio no comportamento da curva real e da curva equacionada, porém não significativo.



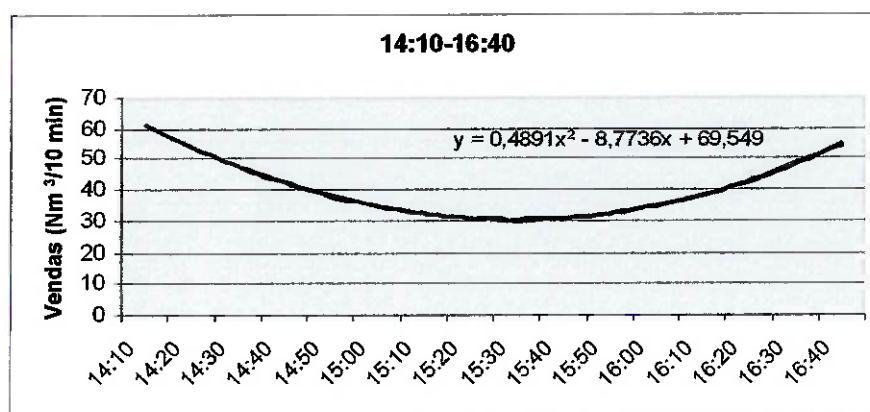
**Fig. 6: Demanda entre 9:40 e 12:10 h**

Neste período verifica-se um ponto mínimo de vendas por volta das 10:45 h, seguido de uma recuperação na hora do almoço. As curvas real e equacionada coincidem quase que perfeitamente através do polinômio de grau três.



**Fig. 7: Demanda entre 12:10 e 14:10 h**

Neste período percebe-se a ocorrência do segundo pico de vendas. A equação  $y = -0,6563 * x^2 + 10,043 * x + 42,411$  representa fielmente o estado de vendas de gás natural do intervalo.



**Fig. 8: Demanda entre 14:10 e 16:40 h**

Este período caracteriza o intervalo entre o segundo e terceiro picos. Nesta situação, o volume de vendas volta a ser baixo.

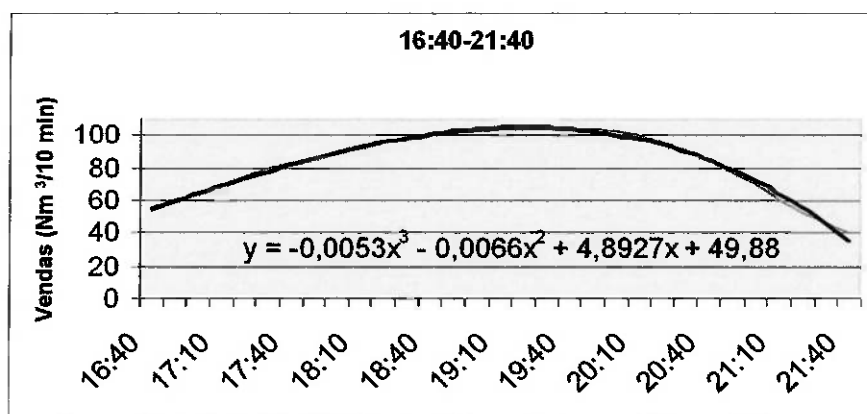


Fig. 9: Demanda entre 16:40 e 21:40 h

A curva da Fig. 9 mostra o terceiro pico de vendas. Por se tratar do horário de vendas mais significativo e prolongado terá tratamento especial no dimensionamento do compressor. É de suma importância determinar a inclinação máxima da função, justamente para avaliar a capacidade do compressor em recompor o estoque dos pulmões, bem como estudar o tempo de defasagem.

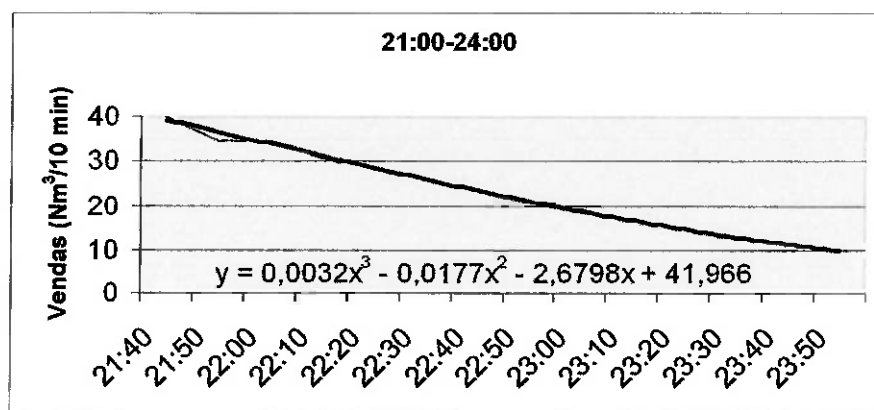


Fig. 10: Demanda entre 21:00 e 24:00 h

O gráfico da Fig. 10 ilustra o último estágio de vendas do dia.

### 3.2 Seleção do compressor e do motor

Considerando-se as pressões de entrada e saída do compressor, as quais sejam 3 e 255 bar respectivamente, verifica-se que a compressão deve ser realizada em diversos estágios com resfriamento intermediário para que a compressão adotada como adiabática se aproxime da compressão isotérmica teórica com o objetivo de aumentar a eficiência.

No livro de Silva (1980) encontrou-se para esta relação de pressões ( $255/3 = 85$ ) e para a vazão de  $600 \text{ Nm}^3/\text{h}$  um número sugerido de estágios maior que 4. Porém, consultando-se os fornecedores Galileo e Aspro, verificou-se que nestas configurações o compressor normalmente utilizado era um de 4 estágios com resfriamento intermediário a ar. Apesar da refrigeração à água ser mais eficiente, optou-se pelo primeiro devido aos maiores custos de construção e manutenção observados no segundo, pois este necessita de um sistema de resfriamento e cria uma variável adicional a ser monitorada.

Para estipular como seria a compressão em cada estágio, foi utilizada a equação 1. dada por:

$$\frac{P_j}{P_{j-1}} = \mu \cdot \sqrt[x]{\frac{P_x}{P_0}} \quad (1)$$

Onde:

$P_j$  = pressão no estágio j

$P_{j-1}$  = pressão no estágio j-1

x = número de estágios

$P_x$  = pressão de saída

$P_0$  = pressão de entrada

$\mu$  = coeficiente de perda de carga nos resfriadores (segundo Wintterlin aproximadamente 1,1)

Com esta fórmula e supondo hipoteticamente que após cada resfriador o metano atinja novamente a temperatura de 25°C e que os processos de compressão sejam adiabáticos e isoentrópicos, obteve-se a seguinte tabela de propriedades termodinâmicas através do programa “CATT2”:

**Tabela 2: Propriedades termodinâmicas do metano**

	Temp	Pressão	Volume Específico	Energia Interna	Entalpia Específica	Entropia Específica
	°C	MPa	m <sup>3</sup> /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg/K
C0	25	0,3	0,5124	467,8	621,5	11,04
C1	116	1	0,2006	631,8	832,4	11,04
C1'	25	0,882	0,1725	463,5	615,7	10,47
C2	119	2,95	0,06791	628,2	828,6	10,47
C2'	25	2,6	0,05679	450,8	598,4	9,865
C3	122	8,67	0,02288	606,7	805,1	9,865
C3'	25	7,63	0,0178	410,9	546,7	9,176
C4	125	25,5	0,008082	541,1	747,2	9,176
C4'	25	22,5	0,005764	300,6	430,3	8,317

Com:

C<sub>j</sub> = condição após compressão no estágio j

C<sub>j</sub>' = condição após compressão e resfriamento no estágio j

Com os valores encontrados na tabela acima, consegue-se estimar uma potência necessária para comprimir o gás através da seguinte relação:

$$W = m \cdot \Delta h \quad (2)$$

Onde:

W = potência em kw

m = fluxo mássico de gás em kg/s

$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4$  = Variação total da entalpia específica (kJ/kg)

Com:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{v} = \frac{600 Nm^3 / h}{1,543 m^3 / kg} = \frac{0,166 Nm^3 / s}{1,543 m^3 / kg} = 0,108 kg / s \quad (3)$$

$$\Delta h = (834,2 - 621,5) + (828,6 - 615,7) + (805,1 - 598,4) + (747,2 - 546,7) = 831,0 kJ / kg$$

Resulta em:

$$W = 89,76 kw$$

Mas como o processo de compressão não é isoentrópico, o resfriamento intermediário não é tão eficaz e se tem perdas mecânicas no equipamento, foi estipulado um rendimento de 70% para calcular a potência  $\dot{W}_m$  a ser fornecida pelo motor.

$$\dot{W}_m = \frac{W}{\eta} = \frac{89,76}{0,7} = 128,23 kw \quad (4)$$

Com isto foi selecionado um compressor que conseguisse atender a este fluxo e como estas relações de compressão, e também foi selecionado o motor movido a GNV que suprisse esta demanda.

Portanto foram selecionados o compressor Ariel JGA/4 e o motor Caterpillar G3306 com potência de 132 kw.

### 3.3 Seleção do acoplamento:

A seleção do motor e do compressor foi feita de forma que as rotações nominais dos dois equipamentos fossem iguais e o acoplamento pudesse ser realizado de forma direta. Com isto foi selecionado um acoplamento elástico por ser de baixo custo, além de permitir pequenos desalinhamentos entre o motor e o compressor, facilitando a montagem. Utilizando-se do catálogo da John Crane,

verificou-se que o acoplamento que suportaria as condições de potência, torque e rotação seria o modelo TSK 0135.

### 3.4 Cálculo das tubulações:

Os cálculos das tubulações foram focalizados na economia e na facilidade para execução do projeto. Para tanto, foi decidido por escolher um material e dimensões padrões e, também, por se tratar de uma tubulação de pequeno diâmetro, foi decidido pela ligação rosqueada entre tubos. Além disto, por se tratar de um tubo que trabalha com uma pressão interna elevada, preferiu-se selecionar um tubo sem costura. Estes pressupostos influenciam no dimensionamento como pode ser visto a seguir.

Para a escolha do material a ser utilizado foi consultado o livro “Tubulações Industriais – Cálculo” e onde foi referenciada a norma ASTM-A-53 e de posse dela foi selecionado o aço de baixo carbono grau A por ser um aço comum que atende às nossas especificações, é facilmente usinável (para fazer as roscas) e é comum no mercado brasileiro.

Para a seleção da tubulação a ser utilizada para interligar a saída do compressor ao reservatório e da saída do reservatório aos dispensers, foi utilizada a fórmula de Weymouth extraída do livro “Tubulações Industriais – Cálculo”:

$$Q = 27,95 \cdot \sqrt{\frac{(P_1^2 - P_2^2) \cdot d^{5,33}}{\gamma \cdot L'}} \quad (5)$$

Onde:

$Q$  = vazão (pes<sup>3</sup>/h) a 16°C e 1 atm

$P_1$  e  $P_2$  = pressões nos extremos da tubulação (psi)

$\gamma$  = densidade do gás em relação ao ar na temperatura de escoamento

$d$  = diâmetro interno do tubo (pol.)

$L'$  = comprimento equivalente da tubulação (milhas terrestres)

E os valores conhecidos são:

$$Q = 1440 \text{ Nm}^3/\text{h} = 50853 \text{ pes}^3/\text{h}$$

$$P_1 = 235 \text{ bar} = 3408 \text{ psi}$$

$$P_2 = 220 \text{ bar} = 3190 \text{ psi}$$

$\gamma = 0,558$  (Foram considerados para o GNV e para o ar, a densidade igual a 0,72 e 1,29 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.)

$L' = 49 \text{ m} = 0,0304 \text{ milhas terrestres}$  (Foi considerado um comprimento de 35 m mais 7 curvas de 90° com comprimento equivalente de 2 m cada.)

Chega-se então a  $d = 0,55 \text{ pol} = 13,85 \text{ mm}$

Com isto foi encontrado um tubo que atendesse a este diâmetro interno e que suportasse a pressão máxima de 255 bar. Para isto utilizou-se da fórmula de estabelecida segundo o “American Standard Code for Pressure Piping” (ANSI.B.31) encontrada no livro “Tubulações Industriais – Cálculo”:

$$t = \frac{P.d}{2.(S_h.E + P.Y - P)} + C \quad (6)$$

Onde:

$P$  = pressão interna de projeto

$d$  = diâmetro interno

$t$  = espessura da parede

$S_h$  = tensão admissível do material na temperatura de projeto

$E$  = eficiência da solda

$Y$  = coeficiente de redução de acordo com o material e temperatura

$C$  = soma de sobreespessuras para corrosão, erosão e abertura de roscas e chanfros



$$P = 255 \text{ bar}$$

$$d = 13,85 \text{ mm}$$

$$S_h = 205,0 \text{ MPa (valor da tensão de escoamento do aço de baixo carbono grau$$

A segundo a norma ASTM-A-53)

$$E = 1 \text{ (valor para tubo sem costura conforme norma ANSI.B.31)}$$

$Y = 0,4$  (valor para aço carbono em temperaturas de até  $480^\circ\text{C}$  segundo norma ANSI.B.31)

Com estes valores chega-se então a  $t = 0,93 \text{ mm} = 0,04 \text{ pol.}$  sem se considerar a sobreespessura que no caso presente é necessária devido à escolha pelas uniões rosqueadas. Esta sobreespessura é recomendada no livro “Tubulações Industriais – Cálculo” com dimensão mínima de  $0,4 \text{ mm}$ . Analisando-se os tubos comerciais comuns o menor que atendesse as condições de diâmetro interno, espessura e sobreespessura é um tubo de diâmetro nominal  $\frac{1}{2}$ ” série 80 cujas características são:

Diâmetro externo:  $21,30 \text{ mm}$

Espessura da parede:  $3,73 \text{ mm}$

Peso de uma barra de 6 metros:  $9,7 \text{ kg}$

Para a utilização de rosca “Withworth” (de acordo com as normas PB-14, ISO R-7 e DIN-259) foi verificado que a altura dos filetes é compatível com a espessura desejada. Segundo a norma a altura dos filetes é de  $1,162 \text{ mm}$ . Outras características da rosca:

Números de fios por polegada: 14.

Passo:  $1,814 \text{ mm}$ .

Conicidade da rosca: 1:16.

Comprimento útil da rosca:  $11,4 \sim 15,0 \text{ mm}$ .

### 3.5 Seleção do reservatório

Através do algoritmo desenvolvido para estimar a quantidade de gás presente no interior do reservatório ao longo do tempo foi selecionado um compressor e um reservatório que melhor atendessem às necessidades. Para garantir que mesmo

durante o período de pico a pressão de fornecimento não cairia excessivamente, a massa de gás deveria ser de no mínimo 393,5 kg a 230 bar. Para isto o volume deve ser calculado por:

$$V = \frac{Z.m.R.T}{P} \quad (7)$$

Onde:

V = volume do reservatório

Z = fator de compressibilidade para o fluido de Lee – Kesler simples

m = massa de gás no reservatório

R = constante do metano

T = temperatura

P = pressão

Cujos valores são:

$$Z = 0,8476$$

$$m = 393,5 \text{ kg}$$

$$R = 518,35 \text{ J/kg.K}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

$$P = 23 \text{ MPa}$$

Resultando em:

$$V = 2,24 \text{ m}^3$$

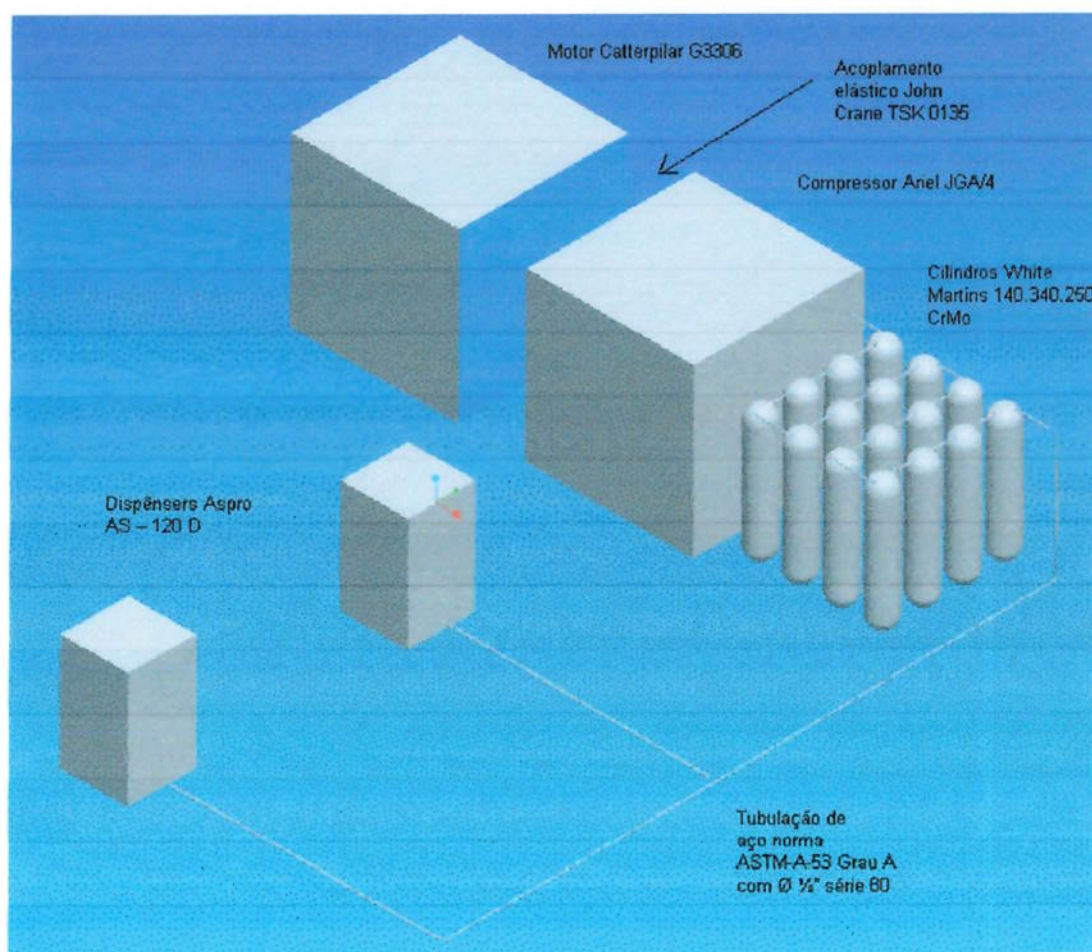
Portanto teve-se que selecionar um cilindro de reservatório que atendesse a este volume e que suportasse a pressão interna. Com isto foi selecionado um conjunto de 16 cilindros 140.340.250 CrMo, específicos para armazenamento de GNV e fornecidos pela White Martins, tendo cada um uma capacidade de 0,14 m<sup>3</sup>.

### **3.6 Seleção dos “dispensers”**

A seleção de “dispenser” não foi muito aprofundada uma vez que estes equipamentos não têm grandes diferenças entre eles, sendo a principal diferença o design. Portanto foi utilizado um critério prático e no caso deste volume de vendas, normalmente utilizam-se quatro bicos de abastecimento, sendo então escolhido dois dispensers da Aspro modelo AS – 120 D.

### **3.7 Desenho de conjunto**

Uma vez dimensionado cada componente funcional, a fim de melhorar a visibilidade e as relações entre os equipamentos, apresenta-se a disposição do aparelhamento na forma de desenho de conjunto:



**Fig. 11 - Desenho de conjunto dos equipamentos selecionados**

### **3.8 Compressor a eletricidade X Compressor a Gás natural**

O mercado varejista atual é sumariamente caracterizado pela competitividade. Então é do escopo deste projeto promover uma diferenciação que implique em benefício direto para o posto em termos de incremento de rentabilidade.

Como alternativa aos equipamentos hoje existentes em 95% dos postos, um estudo envolvendo o acoplamento de um motor movido a gás natural (GN), em substituição do atual movido à eletricidade, para acionamento do compressor que interliga a linha da Comgás aos pulmões reservatórios do estabelecimento foi

realizado. Este estudo é de extrema importância, pois os custos energéticos correspondem a mais de 60 % do custo operacional ligado ao fornecimento de GNV.

Para o motor selecionado, estimou-se o consumo energético deste e comparou-se com o consumo do motor movido à eletricidade. Conforme informações informais da Galileo, o consumo de energia do motor elétrico é de aproximadamente  $0,08\text{R}\$/\text{Nm}^3$  comprimido e é com este valor que será feita a comparação.

Para os cálculos, foi adotado um rendimento de 35% e portanto:

$$Q_H = \frac{W_m}{\eta} = \frac{132}{0,35} = 377,14\text{kw} \quad (8)$$

Com:

$Q_H$  = Potência térmica consumida em kw

$W_m$  = Potência no eixo do motor em kw

$\eta = 0,35$

E consumo de GN fica:

$$m = \frac{Q_H}{PCI} = \frac{377,14}{50010} = 0,007541\text{kg/s} \quad (9)$$

Com:

$m$  = consumo de GN em kg/s

PCI = poder calorífico inferior (pois nos produtos da combustão do GN tem-se água no estado gasoso) em kJ/kg

Como o consumo de GN é medido em  $\text{Nm}^3$  deve-se passar o consumo mássico para consumo volumétrico.

$$Q = m.v = 0,007541.1,543 = 0,011636\text{Nm}^3/\text{s} = 41,89068\text{Nm}^3/\text{h} \quad (10)$$

Com:

$v$  = volume específico do metano a 25°C e 1 bar

Então, para um fornecimento de 600 Nm<sup>3</sup>/h, gasta-se 41,89 Nm<sup>3</sup>/h

Portanto para cada Nm<sup>3</sup> comprimido tem-se  $\frac{41,89}{600} = 0,0698 \text{ Nm}^3$  de metano

consumido. Considerando-se um preço médio de compra do GN de 0,699R\$/Nm<sup>3</sup>, chega-se a um custo de 0,0488 R\$/Nm<sup>3</sup> comprimido. Conclui-se com isto que no quesito consumo energético, a alteração do motor elétrico por um movido a GN é viável economicamente, mas ainda com ressalvas para os custos de manutenção que é consideravelmente maior no motor movido a GNV, estando em torno de 5% do valor do motor (US\$ 50.000,00) ao ano, se comparado ao motor elétrico que praticamente não tem custo de manutenção.

### 3.9 Cálculos para geração do programa de dimensionamento

A massa de gás presente dentro do reservatório de estoque é calculado por:

$$m = \frac{PV}{ZRT} \quad (11)$$

onde:

$$R = \frac{\bar{R}}{M} \quad (12)$$

$Z$  é o fator de compressibilidade e depende da pressão e temperatura relativas dadas por:

$$P_{rel} = \frac{P}{P_{cr}} \quad (13)$$

$$T_{rel} = \frac{T}{T_{cr}} \quad (14)$$

A determinação de  $Z$  se dá pelo gráfico de Fator de compressibilidade para o fluido de Lee – Kesler simples. Em nosso trabalho foi utilizado o Software Catt2 anexo ao livro “Fundamentos da Termodinâmica”, 6ª edição.

Para a avaliação aproximou-se o GNV como sendo 100% gás metano, cujas constantes críticas são:

$$T_{cr} = 190,4K$$

$$P_{cr} = 4,6MPa$$

Os valores foram então determinados para uma faixa de pressão variando de 230 a 255 bar e uma temperatura constante de 298 K.

**Tabela 3: Fator de compressibilidade  $Z$  do gás metano como função da pressão reduzida  $P_r$  para  $T_r = 1,56$**

Pressão	$T_r$	$P_r$	$Z$
2,55E+07	1,56512605	5,543478261	0,8693
2,50E+07	1,56512605	5,434782609	0,8646
2,45E+07	1,56512605	5,326086957	0,8601
2,40E+07	1,56512605	5,217391304	0,8557
2,35E+07	1,56512605	5,108695652	0,8516
2,30E+07	1,56512605	5,000000000	0,8476

Posteriormente foram calculadas as massas para um reservatório de 2,24 m<sup>3</sup>.

**Tabela 4: Cálculo da massa no reservatório para diferentes pressões**

$P$	$V$	$Z$	$R$	$T$	$M$
2,55E+07	2,24	0,8693	518,35	298	425,382
2,50E+07	2,24	0,8646	518,35	298	419,308
2,45E+07	2,24	0,8601	518,35	298	413,072
2,40E+07	2,24	0,8557	518,35	298	406,723
2,35E+07	2,24	0,8516	518,35	298	400,167
2,30E+07	2,24	0,8476	518,35	298	393,501

Para o cálculo do dimensionamento do compressor e do reservatório, foi desenvolvido um algoritmo em VBA e o funcionamento deste encontra-se abaixo. Outrossim, o código de programação se encontra em anexo.

Primeiramente lê-se o valor do reservatório a cada momento em kg e se compara com os limites pré-estabelecidos utilizados como referência para os limites máximo e mínimo. Na eventualidade do reservatório estar com estoque abaixo do mínimo, inicia-se uma rotina que acrescenta o valor fornecido pelo compressor e subtrai a venda dentro do volume de controle, incrementando um contador referente à quantidade de vezes que o compressor liga durante o dia.

Esta rotina se repete até que o limite máximo seja alcançado. Em seguida entra-se num outro laço descontando-se somente a venda (já que o compressor estará na posição desligado).

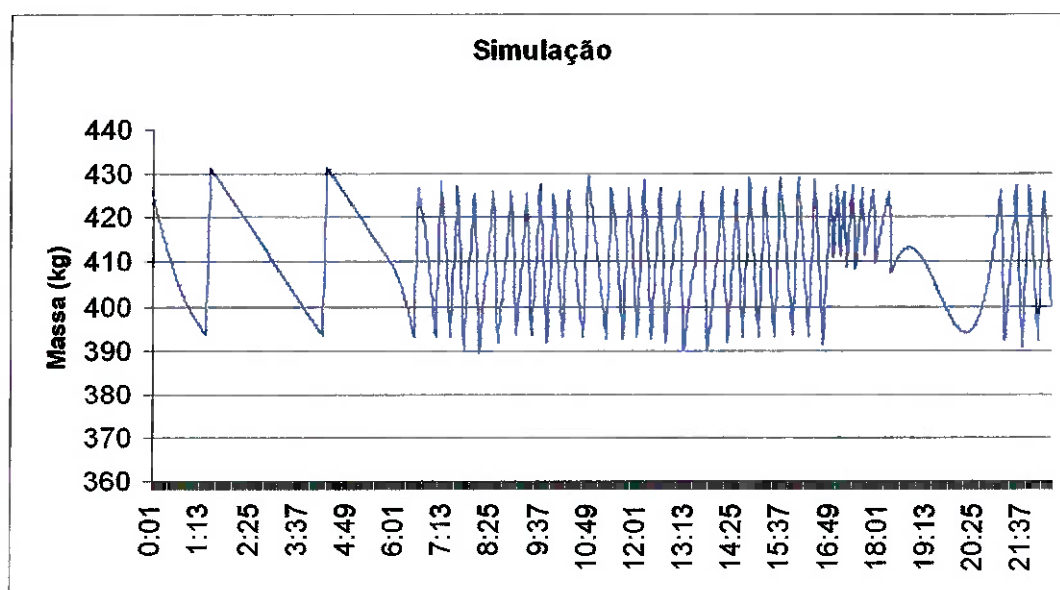
Este programa prevê ainda um tempo de espera que funciona conforme explicado no item 2.2.

Abaixo segue o gráfico que ilustra a saída do programa de simulação e os parâmetros de entrada:

**Tabela 5: Parâmetros para dimensionamento**

<b>Dimensionamento do compressor e do reservatório</b>	
Padrão de vendas (m <sup>3</sup> )	150.000
Fator multiplicativo	1,00
Vendas (m <sup>3</sup> )	150.000
Capacidade do reservatório (m <sup>3</sup> )	2,240
Capacidade máxima do compressor(m <sup>3</sup> /h)	600
Pressão máxima (Pa)	25.500.000
Pressão mínima (Pa)	23.000.000
Pressão máxima em horário de pico (Pa)	25.500.000
Pressão mínima em horário de pico (Pa)	24.500.000
Stand By Time (min)	20
Calcular	
Nº de vezes que o compressor liga	8





**Fig. 12: Variação da massa de gás no reservatório**

No caso de um aumento de vendas, uma substituição ou adição de um compressor é de difícil viabilidade devido ao seu elevado custo de aquisição. Pode-se, porém, no caso de um pequeno aumento de vendas, sanar este problema através de uma aquisição de novos cilindros de armazenamento. Uma simulação é realizada abaixo com um aumento de 5% nas vendas e uma adição de oito novos cilindros:

**Tabela 6: Parâmetros para dimensionamento com vendas 5% acima do esperado**

<b>Dimensionamento do compressor e do reservatório</b>	
Padrão de vendas (m <sup>3</sup> )	150.000
Fator multiplicativo	1,05
Vendas (m <sup>3</sup> )	157.500
Capacidade do reservatório (m <sup>3</sup> )	3,360
Capacidade máxima do compressor(m <sup>3</sup> /h)	600
Pressão máxima (Pa)	25.500.000
Pressão mínima (Pa)	23.000.000
Pressão máxima em horário de pico (Pa)	25.500.000
Pressão mínima em horário de pico (Pa)	24.500.000
Stand By Time (min)	20
Calcular	
Nº de vezes que o compressor liga	10

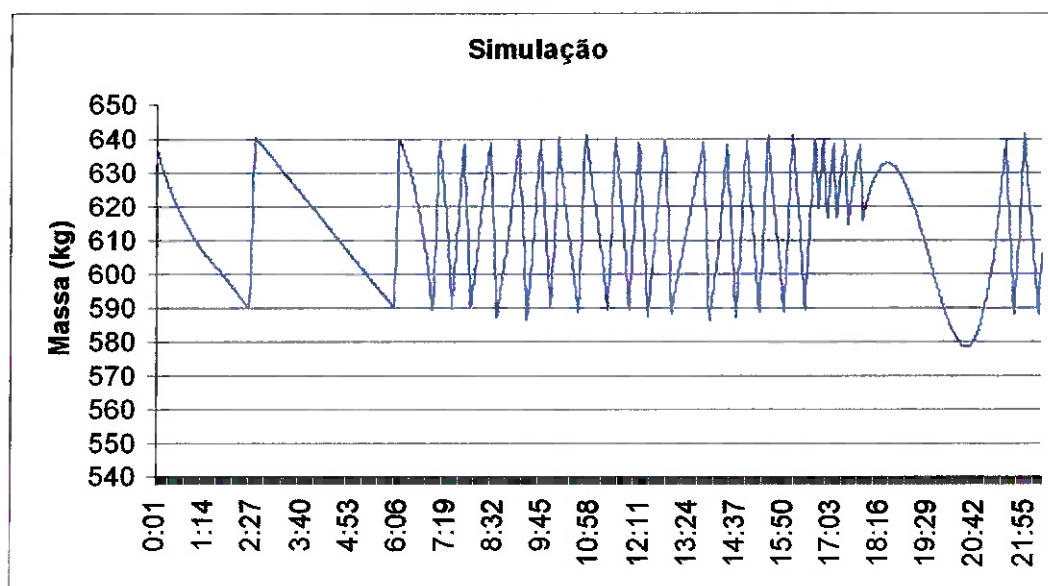


Fig. 13: Variação da massa de gás para vendas 5% acima do esperado

## 4 Conclusões

O estudo de viabilidade para implantação do fornecimento de GNV, para o posto estudado e para qualquer posto que pretenda ter este tipo de produto, deve ser iniciado com um estudo profundo da demanda esperada, pois desta estimativa parte todo o dimensionamento do equipamento a ser instalado. Por isto, neste trabalho foi dada ênfase neste tópico e foi desenvolvida uma metodologia específica para este cálculo, mas esta não é a única, nem a melhor, cabendo ao empreendedor decidir qual a melhor metodologia a ser utilizada, aplicando-se nela todas as variáveis às quais estão sujeitas as vendas.

## Referências bibliográficas

<http://brasil.cat.com/cda/layout?x=102>

<http://www.aspro.com.br/>

<http://www.bndes.gov.br>

<http://www.comgas.com.br/templates/index.asp>

<http://www.igara.com.br/>

<http://www.leasingabel.com.br/>

<http://www.receita.fazenda.gov.br/>

<http://www.sotreq.com.br/>

Ashby, M. F., “Materials Selection in Mechanical Design”, Pergamon Press, 1997.

Ehrlich, P. J., Moraes E. A., “Engenharia Econômica”, Editora Atlas S.A., 2005.

Gall, T. L., “Metals Handbook – Desk Edition”, American Society for Metals., 1985.

Guimarães, M. F., “Análise das Demonstrações Financeiras”, Vestcon Editora LTDA., 2003.

Paiva, R., “Banco Central Matéria Básica”, Editora Central de Concursos LTDA., 2004.

Sasaki, F., “Estudo de Viabilidade Econômica da Implantação da Revenda de GNV num Posto de Abastecimento”, Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

Silva, R. B., “Compressores, Bombas de Vácuo e Ar Comprimido”, Grêmio Politécnico-DLP, 1980.

Telles, P. C. S., “Tabelas e Gráficos para Projetos de Tubulações”, Editora Interciência LTDA., 1985.

Telles, P. C. S., “Tubulações Industriais – Materiais, Projeto e Desenho”, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1982.

Telles, P. C. S., “Tubulações Industriais - Cálculo”, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1982.

Telles, P. C. S., “Tubulações Industriais - Materiais, Projeto e Montagem”, Livros Técnicos e Científicos S.A., 1993.

Viceconti, P. E. V., Neves, S., “Introdução à Economia”, Frase Editora LTDA., 2003.

Waterman, N. A., Ashby, M. F., “CRC-Elsevier Materials Selector”, CRC Press, 2000.

Wylen, G. J. V., Borgnakke, C., Sonntag, R. E. “Fundamentos da Termodinâmica”, 6ª Edição, Editora Edgard Blücher LTDA., 2003.

## Anexo I

Código da programação do dimensionamento do compressor e do reservatório:

```
Private Sub CommandButton1_Click()
Dim coluna_consumo, coluna_hora, liga, k As Integer
Dim p, hora As Double

p = 25000000000#
hora = 0
liga = 0
k = 0
x = 0
stdby = Worksheets("Definitivo").Cells(19, 3)

'Fator multiplicativo de vendas
mult = Worksheets("Vendas").Cells(4, 2)
'Massa de gás do reservatório p/ pressão de 255 bar
bateria = Worksheets("Z").Cells(3, 11)

'Pressão > 230 bar
'0:00 - 1:00
For hora = 1 To 60
    If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then
        If x > stdby Then
            liga = liga + 1
        End If
        x = 0
    Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 60
```

```

        bateria = bateria - (mult * (-0.8695 * hora / 10 + 9.5645) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) *
Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then
            hora = hora + 1
        End If
    Loop
    If hora > 60 Then
        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)
            bateria = bateria - (mult * 3.478 * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) /
10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) * Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
            hora = hora + 1
            k = k + 1
        Loop
        hora = 60
    End If
Else
    bateria = bateria - (mult * (-0.8695 * hora / 10 + 9.5645) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
    x = x + 1
End If
Next

'Pressão > 230 bar
'1:00 - 5:40
For hora = 61 To 340

```

```

If hora = 61 Then
    hora = hora + k
End If
k = 0
If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then
    If x > stdby Then
        liga = liga + 1
    End If
    x = 0
    Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 340
        bateria = bateria - (mult * 3.478 * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
+ Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) * Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then
            hora = hora + 1
        End If
    Loop
    If hora > 340 Then
        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)
            bateria = bateria - (mult * (0.3501 * ((hora - 340) / 10) ^ 2 + 0.1223 *
((hora - 340) / 10) + 2.7948) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) +
Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) * Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
            hora = hora + 1
            k = k + 1
        Loop
        hora = 340
    End If
Else
    bateria = bateria - (mult * 3.478 * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)

```

```

Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
x = x + 1
End If
Next

'Pressão > 230 bar
'5:40 - 7:00
For hora = 341 To 420
    If hora = 341 Then
        hora = hora + k
    End If
    k = 0
    If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then
        If x > stdby Then
            liga = liga + 1
        End If
        x = 0
        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 420
            bateria = bateria - (mult * (0.3501 * ((hora - 340) / 10) ^ 2 + 0.1223 *
((hora - 340) / 10) + 2.7948) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) +
Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) * Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
            If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then
                hora = hora + 1
            End If
        Loop
        If hora > 420 Then
            Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)
                bateria = bateria - (mult * (0.0093 * ((hora - 420) / 10) ^ 3 - 0.8643 *
((hora - 420) / 10) ^ 2 + 13.666 * ((hora - 420) / 10) + 15.14) *

```



```

Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) *
Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
    hora = hora + 1
    k = k + 1
Loop
    hora = 420
End If
Else
    bateria = bateria - (mult * (0.3501 * ((hora - 340) / 10) ^ 2 + 0.1223 * ((hora -
340) / 10) + 2.7948) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
    x = x + 1
End If
Next

'Pressão > 230 bar
'7:00 - 9:40
For hora = 421 To 580
    If hora = 421 Then
        hora = hora + k
    End If
    k = 0
    If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then
        If x > stdby Then
            liga = liga + 1
        End If
        x = 0
        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 580

```

```

        bateria = bateria - (mult * (0.0093 * ((hora - 420) / 10) ^ 3 - 0.8643 * ((hora - 420) / 10) ^ 2 + 13.666 * ((hora - 420) / 10) + 15.14) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) *
Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)

        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then
            hora = hora + 1

        End If
    Loop
    If hora > 580 Then
        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)
            bateria = bateria - (mult * (-0.0193 * ((hora - 580) / 10) ^ 3 + 0.991 *
((hora - 580) / 10) ^ 2 - 10.988 * ((hora - 580) / 10) + 54.704) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) *
Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)

            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
            hora = hora + 1
            k = k + 1
        Loop
        hora = 580
    End If
    Else
        bateria = bateria - (mult * (0.0093 * ((hora - 420) / 10) ^ 3 - 0.8643 * ((hora - 420) / 10) ^ 2 + 13.666 * ((hora - 420) / 10) + 15.14) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        x = x + 1
    End If

```

Next

'Pressão > 230 bar

'9:40 - 12:10

For hora = 581 To 730

    If hora = 581 Then

        hora = hora + k

    End If

    k = 0

    If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then

        If x > stdby Then

            liga = liga + 1

        End If

        x = 0

        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 730

            bateria = bateria - (mult \* (-0.0193 \* ((hora - 580) / 10) ^ 3 + 0.991 \* ((hora - 580) / 10) ^ 2 - 10.988 \* ((hora - 580) / 10) + 54.704) \*

Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) \*

Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)

        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria

        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora

        If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then

            hora = hora + 1

        End If

    Loop

    If hora > 730 Then

        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)

            bateria = bateria - (mult \* (-0.6563 \* ((hora - 730) / 10) ^ 2 + 10.043 \* ((hora - 730) / 10) + 42.411) \* Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) +

Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) \* Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)

        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria

```

        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        hora = hora + 1
        k = k + 1
    Loop
    hora = 730
End If
Else
    bateria = bateria - (mult * (-0.0193 * ((hora - 580) / 10) ^ 3 + 0.991 * ((hora -
580) / 10) ^ 2 - 10.988 * ((hora - 580) / 10) + 54.704) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
    x = x + 1
End If

Next

'Pressão > 230 bar
'12:10 - 14:10
For hora = 731 To 850
    If hora = 731 Then
        hora = hora + k
    End If
    k = 0
    If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then
        If x > stdby Then
            liga = liga + 1
        End If
        x = 0
    Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 850

```

```

        bateria = bateria - (mult * (-0.6563 * ((hora - 730) / 10) ^ 2 + 10.043 * ((hora
- 730) / 10) + 42.411) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) +
Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then
            hora = hora + 1
        End If
    Loop
    If hora > 850 Then
        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)
            bateria = bateria - (mult * (0.4891 * ((hora - 850) / 10) ^ 2 - 8.7736 *
((hora - 850) / 10) + 69.549) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) +
Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) * Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
            hora = hora + 1
            k = k + 1
        Loop
        hora = 850
    End If
Else
        bateria = bateria - (mult * (-0.6563 * ((hora - 730) / 10) ^ 2 + 10.043 * ((hora -
730) / 10) + 42.411) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        x = x + 1
    End If
Next

'Pressão > 230 bar
'14:10 - 16:40

```

```

For hora = 851 To 1000
  If hora = 851 Then
    hora = hora + k
  End If
  k = 0
  If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then
    If x > stdby Then
      liga = liga + 1
    End If
    x = 0
    Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 1000
      bateria = bateria - (mult * (0.4891 * ((hora - 850) / 10) ^ 2 - 8.7736 * ((hora - 850) / 10) + 69.549) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) * Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
      Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
      Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
      If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then
        hora = hora + 1
      End If
    Loop
    If hora > 1000 Then
      Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(2, 11)
        bateria = bateria - (mult * (-0.0053 * ((hora - 1000) / 10) ^ 3 - 0.0066 * ((hora - 1000) / 10) ^ 2 + 4.8927 * ((hora - 1000) / 10) + 49.88) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        hora = hora + 1
        k = k + 1
      Loop
      hora = 1000
    End If
  End If

```

Else

bateria = bateria - (mult \* (0.4891 \* ((hora - 850) / 10) ^ 2 - 8.7736 \* ((hora - 850) / 10) + 69.549) \* Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)

Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria

Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora

x = x + 1

End If

Next

'Pressão > 250 bar

'16:40 - 21:40

For hora = 1001 To 1300

If hora = 1001 Then

hora = hora + k

End If

k = 0

If hora < 1000 Or hora > 1240 Then

If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then

If x > stdby Then

liga = liga + 1

End If

x = 0

Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 1300

bateria = bateria - (mult \* (-0.0053 \* ((hora - 1000) / 10) ^ 3 - 0.0066 \* ((hora - 1000) / 10) ^ 2 + 4.8927 \* ((hora - 1000) / 10) + 49.88) \*

Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)

Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria

Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora

If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then

hora = hora + 1

End If

```

Loop
If hora > 1300 Then
    Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)
        bateria = bateria - (mult * (0.0032 * ((hora - 1300) / 10) ^ 3 - 0.0177 *
        ((hora - 1300) / 10) ^ 2 - 2.6798 * ((hora - 1300) / 10) + 41.966) *
        Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10 + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) *
        Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        hora = hora + 1
        k = k + 1
    Loop
    hora = 1300
End If
Else
    bateria = bateria - (mult * (-0.0053 * ((hora - 1000) / 10) ^ 3 - 0.0066 * ((hora
    - 1000) / 10) ^ 2 + 4.8927 * ((hora - 1000) / 10) + 49.88) *
    Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
    x = x + 1
End If
Else
    'Mudança de critério para suprir uma maior demanda
    If bateria < Worksheets("Z").Cells(5, 11) Then
        If x > stdby Then
            liga = liga + 1
        End If
        x = 0
        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(2, 11) Or hora > 1300

```



```

        bateria = bateria - (mult * (-0.0053 * ((hora - 1000) / 10) ^ 3 - 0.0066 *
((hora - 1000) / 10) ^ 2 + 4.8927 * ((hora - 1000) / 10) + 49.88) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then
            hora = hora + 1
        End If
    Loop
    If hora > 1300 Then
        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)
            bateria = bateria - (mult * (0.0032 * ((hora - 1300) / 10) ^ 3 - 0.0177 *
((hora - 1300) / 10) ^ 2 - 2.6798 * ((hora - 1300) / 10) + 41.966) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10) + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) *
Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
            hora = hora + 1
            k = k + 1
        Loop
        hora = 1300
    End If
Else
        bateria = bateria - (mult * (-0.0053 * ((hora - 1000) / 10) ^ 3 - 0.0066 * ((hora
- 1000) / 10) ^ 2 + 4.8927 * ((hora - 1000) / 10) + 49.88) *
Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
        x = x + 1
    End If
End If
Next

```

'Pressão > 230 bar

'21:40 - 24:00

For hora = 1301 To 1440

    If hora = 1301 Then

        hora = hora + k

    End If

    k = 0

    If bateria < Worksheets("Z").Cells(14, 11) Then

        If x > stdby Then

            liga = liga + 1

        End If

        x = 0

    Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11) Or hora > 1440

        bateria = bateria - (mult \* (0.0032 \* ((hora - 1300) / 10) ^ 3 - 0.0177 \* ((hora - 1300) / 10) ^ 2 - 2.6798 \* ((hora - 1300) / 10) + 41.966) \*

        Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10 + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) \*

        Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)

        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria

        Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora

        If bateria < Worksheets("Z").Cells(3, 11) Then

            hora = hora + 1

        End If

    Loop

    If hora > 1440 Then

        Do Until bateria > Worksheets("Z").Cells(3, 11)

            bateria = bateria - (mult \* (-0.8695 \* (hora - 1440) / 10 + 9.5645) \*

            Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10 + Worksheets("Vendas").Cells(14, 25) \*

            Worksheets("Vendas").Cells(14, 24)

            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria

            Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora

            hora = hora + 1

```
k = k + 1
Loop
hora = 1440
End If
Else
    bateria = bateria - (mult * (0.0032 * ((hora - 1300) / 10) ^ 3 - 0.0177 * ((hora - 1300) / 10) ^ 2 - 2.6798 * ((hora - 1300) / 10) + 41.966) * Worksheets("Vendas").Cells(22, 40) / 10)
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 1) = bateria
    Worksheets("Vendas").Cells(hora + 149, 2) = hora
    x = x + 1
End If
Next

Worksheets("Vendas").Cells(148, 2) = liga

End Sub
```