

MINICURSO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS

MÓDULO II

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PET ENGENHARIA QUÍMICA

*MINICURSO DE PLANILHAS
ELETRÔNICAS
MÓDULO II
2024/02*

GRUPO PET ENGENHARIA QUÍMICA

Arthur Demio Padilha	Lorrane S. Elias Gomes de Castro
Eduardo de Oliveira Santos	Luiza de Oliveira Witcel
Evangelos Thalís Raftopoulos	Mariana Canizella Terluk
Gabriel Seiji Takehata	Maria Luiza Gassner
Gabriella Charneski	Pablo M. Rossari Filho
Guilherme Tupan Frare Moreira	Rafael Gobetti
Júlia Guimarães Mafioletti	Raul Bertin de Oliveira
Lara Ventorini	Vinícius Antônio Carletto Guzzo

TUTOR

Prof. Dr. Carlos Alberto Ubirajara Gontarski

Curitiba
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
GRUPO PET ENGENHARIA QUÍMICA

1ª Edição - 2013/02

Fillemon Edillyn
José Carlos Cordeiro Junior
Rafael Teruo Maruyama

Edições posteriores

<i>Ana Carla Corrêa Machado</i>	<i>Larissa Brunetta Guzzi</i>
<i>Ana Alice Fantini</i>	<i>Louseane Silva de Lima</i>
<i>Anna Ruth Lima</i>	<i>Luan Rafael Barancelli Fetter</i>
<i>Andreas Schwambach</i>	<i>Luana Medeiros do Amaral</i>
<i>Beatriz Fernanda Rossin</i>	<i>Lucas Godinho Casseiro Correa</i>
<i>Bianca Pierosan Hugen</i>	<i>Luís Felipe Mendes Bussola</i>
<i>Bruna Derlan</i>	<i>Marcelo Yuji Tamura</i>
<i>Caroline Inacio da Silva</i>	<i>Marco Andrey Salle Filho</i>
<i>Daniela Yuri Mori</i>	<i>Mariana Carlesso</i>
<i>Enzo Sennhauser</i>	<i>Mateus de Oliveira Nespolo</i>
<i>Estefany Costa Lima</i>	<i>Matheus Mendes</i>
<i>Felipe Silva Narvas</i>	<i>Mayara Mota Rodrigues</i>
<i>Flávia Batistão Cavalheiro</i>	<i>Patricia Cristina Pagnoncelli</i>
<i>Gabriel Souza Bonaroski</i>	<i>Thiago Nishimura</i>
<i>Gabriela Condi de Godoi</i>	<i>Thomas Gabriel Balduino</i>
<i>Gabriela Marcondes Palieraqui</i>	<i>Reckelberg</i>
<i>Geovana Mara Cielinski</i>	<i>Andreas Schwambach</i>
<i>Germano Henrique Ribeiro Goslar</i>	<i>Ezequias David</i>
<i>Guilherme Augusto Silva Surek</i>	<i>Luís Felipe Bavati Medri</i>
<i>Guilherme Frasato Bastos</i>	<i>Maryna Bornemann da Silva</i>
<i>Henrique Thomaz Saravia</i>	<i>Patrick Alves Bastos</i>
<i>Kamilla Marques Gonçalves</i>	<i>Paulo Vitor de Lima Carvalho</i>
	<i>Sabrina Ishikawa</i>

William Roberto Tangi

Yane Ogido Zerbetto

Revisão final

Henrique Thomas Saravia

Louseane Silva de Lima

Sabrina Ishikawa

William Roberto Tangi

Yane Ogido Zerbetto

Sumário

NOÇÕES BÁSICAS DE EXCEL	7
A PLANILHA	7
FRISOS	7
BARRA DE FÓRMULAS	9
BARRA DE STATUS	9
OPERADORES LÓGICOS	10
FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS E MATEMÁTICAS	10
NOMEAÇÃO DE CÉLULAS	11
GRÁFICOS	12
Linha de Tendência	14
TABELA DINÂMICA	15
MACROS	15
PROCH e PROCV	17
ATINGIR META	18
EXERCÍCIOS	22
RESPOSTAS	27
BALANÇO DE MASSA COM RECICLO, BYPASS OU PURGA	51
REVISÃO DE CONCEITOS DE QUÍMICA	51
RECICLO, PURGA E BYPASS	51
Reciclo – Retorno para o processo	51
Bypass/Desvio – Pulando etapa	52
Purga – Descarte do processo	53
EXERCÍCIOS	53
RESPOSTAS	56
A PROGRAMAÇÃO EM VBA, USER FORMS E SUB-ROTINAS	63
O EDITOR DO VBA	63
INTRODUÇÃO À FUNÇÕES NO VBA	64
DECLARANDO VARIÁVEIS	66
EXPRESSÕES ARITMÉTICAS, LÓGICAS E COMPARATIVAS	66
ESTRUTURAS DE CONTROLE	67
Else...If	67
Select Case	68

ESTRUTURA DO... LOOP	69
ESTRUTURA DO FOR... NEXT	70
SUB-ROTINAS	71
UserForm	72
Leitura de Macros em VBA	74
Orientação ao Objeto	74
Matrizes e Vetores	75
EXERCÍCIOS	76
RESPOSTAS	78
ÁLGEBRA LINEAR, AJUSTE DE MODELOS E BALANÇO ENERGÉTICO	98
SOLVER	98
Habilitando o Solver	98
O que o Solver faz?	99
Métodos de solução do Solver	99
Preparando o algoritmo no Solver	99
Estratégias de solução de problemas no Solver	100
SOLUÇÃO DE SISTEMAS LINEARES UTILIZANDO O SOLVER	101
AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS A DADOS EXPERIMENTAIS	109
BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMAS EM REGIME PERMANENTE	112
Balanço de energia em sistemas inertes e em regime permanente	112
Balanço de energia em sistemas reativos e em regime permanente	113
EXERCÍCIOS	114
RESPOSTAS	116
IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODOS MATEMÁTICOS	129
MÉTODOS MATEMÁTICOS	129
MÉTODO DE EULER EXPLÍCITO	129
Aplicação do Método de Euler no cálculo de reatores	130
MÉTODO DE RUNGE-KUTTA	131
Runge-Kutta de 4ª ordem	131
MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS	132
Condução unidimensional em regime permanente com geração de calor	132
EXERCÍCIOS	134
RESPOSTAS	135

CAPÍTULO 1

1. NOÇÕES BÁSICAS DE EXCEL

1.1. A PLANILHA

Para iniciar o Excel, clique sobre o ícone Microsoft Excel, localizado no menu *Iniciar/Todos os Programas/Microsoft Office do Windows*. O Excel exibe então uma pasta de trabalho em branco, mostrada na figura a seguir:

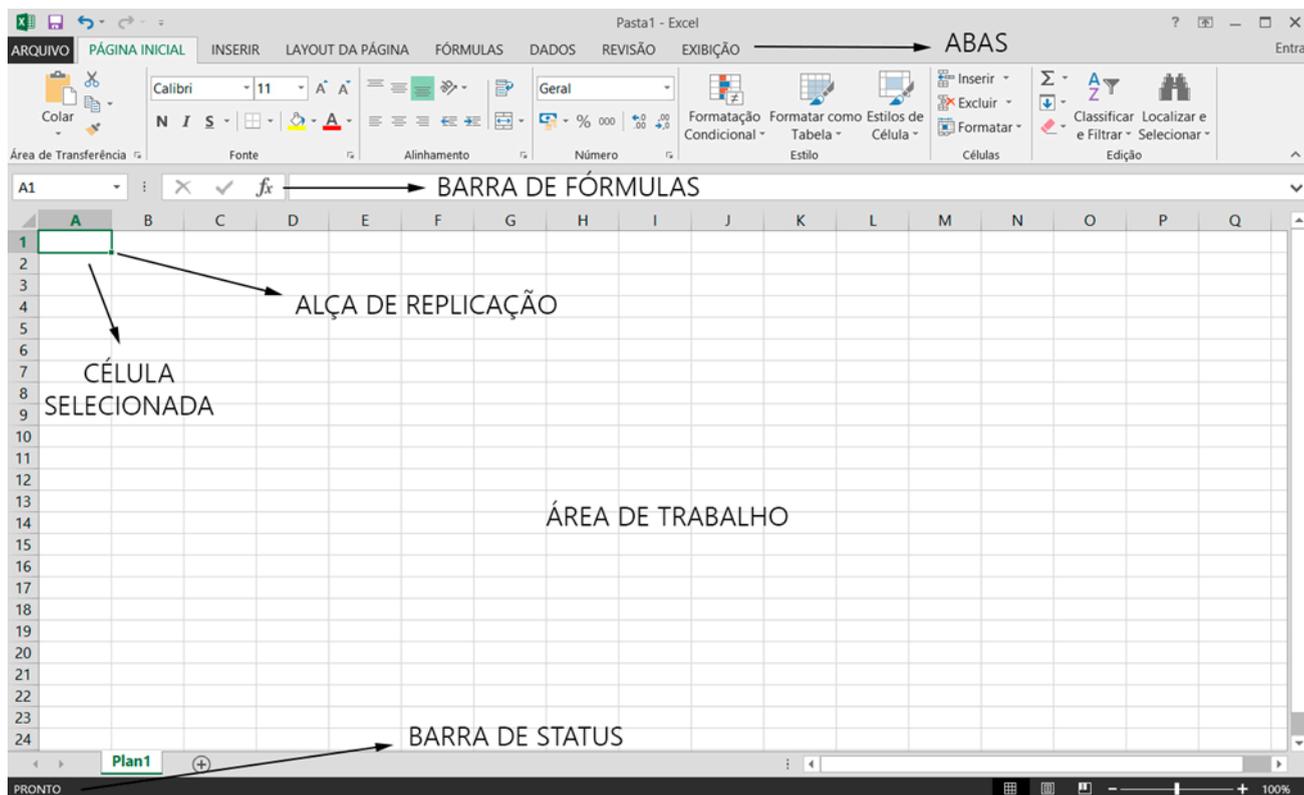


Figura 1 - Detalhes de uma Planilha.

A pasta de trabalho que o programa exibe é denominada “Pasta 1”. Se você abrir uma nova pasta de trabalho durante a mesma sessão de trabalho, o Excel a nomeia “Pasta 2”. Uma planilha é **uma grade** composta por linhas e colunas que delimitam mais de 17 bilhões de células, sendo as colunas nomeadas a partir de letras e as linhas por números. Para percorrer uma planilha vazia basta apertar as flechas de direção do teclado com a tecla Ctrl pressionada.

A célula atualmente selecionada é citada como célula ativa. A referência de célula para a célula ativa aparece na extremidade esquerda da barra de fórmulas, na Caixa de Nomes. A seleção de células é feita clicando-se sobre a célula desejada. Para selecionar mais de uma célula ao mesmo tempo, pressiona-se a tecla Ctrl e clica-se sobre as células desejadas. Para selecionar um conjunto de células delimitando o início e o fim, escolhe-se uma célula de início e pressiona-se a tecla Shift, mantém, e escolhe-se a célula final.

1.2. FRISOS

Ao alto da área de trabalho do Excel encontram-se os frisos. A interface gráfica do Office 2007 reúne em uma só ferramenta o que antes estava dividido entre barra de menus e barra de ferramentas. O friso possui comandos e ícones de diferentes tamanhos, de acordo com a sua importância. O programa detecta automaticamente o que pretendemos fazer num dado momento e passa para primeiro plano o friso respectivo.

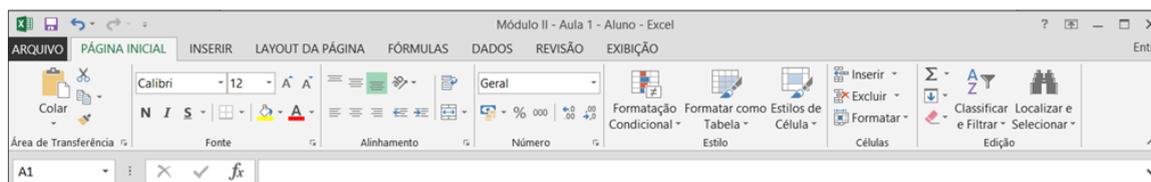


Figura 2 - Friso de fórmulas.

Há oito frisos no Excel, mais um nono, chamado Desenvolvedor, que pode ser ativado a partir das opções de personalização e que se destina a pessoas que criem macros (conjunto de instruções complexas) com o Excel. São eles: Arquivo, Página Inicial, Inserir, Layout de Página, Fórmulas, Dados, Revisão e Exibição.

O friso, qualquer que seja o separador que esteja ativo, está dividido em seções que agrupam funcionalidades semelhantes de forma lógica, para facilitar o seu acesso. Cada uma destas seções tem um nome, inscrito numa barra, na sua base. Em alguns casos, do lado direito dessa barra existe uma pequena área que pode ser clicada de forma a expandir a funcionalidade.

A seguir é mostrada uma lista com algumas ferramentas organizadas por frisos:

Arquivo	Novo (New) – Ctrl + O	Inicia uma nova planilha a ser trabalhada
	Abrir (Open) – Ctrl + A	Exibe uma caixa de diálogo para abrir uma planilha
	Fechar (Close)	Fecha uma planilha sem salvar as alterações
	Salvar Como (Save as) – F12	Salva a planilha com outro nome
	Salvar (Save)	Salva as alterações em disco
	Visualizar a impressão (Print Preview)	Exibe a forma na qual o documento será impresso
	Sair (Exit)	Fecha todas as planilhas e sai do programa

Tabela 1 - Ferramentas do friso Arquivo.

Página Inicial	Copiar (Copy) – Ctrl + C	Copia o conteúdo selecionado para a área de transferência.
	Recortar (Cut) – Ctrl + X	Transfere o conteúdo selecionado para a área de transferência.
	Colar (Paste) – Ctrl + V	Transfere o conteúdo da área de transferência para a área de trabalho.
	Fonte	Gerencia a fonte do texto.
	Alinhamento	Gerencia a localização do texto dentro da célula.
	Número	Gerencia o formato dos números usados nas células.
	Estilo	Ferramenta formatação condicional, formatação de tabelas e estilos de células.
	Células	Inserir, excluir e formatar células.
Edição	Classificar e filtrar dados, localizar e selecionar uma informação específica, e mais algumas funções automáticas personalizáveis.	
Inserir	Insere tabelas, gráficos, imagens, links e texto.	
Layout de Página	Configura páginas, temas, dimensionamento, opções de planilha e organização.	
Fórmulas	Biblioteca de funções	Aqui é possível encontrar todas as funções do Excel.
	Nomes definidos	Aqui é possível nomear células para que fique mais simples sua utilização nas fórmulas.

	Auditoria de fórmulas	Essa ferramenta permite gerenciar a origem dos valores em cada célula, entre outras coisas, facilitando a descoberta de possíveis erros.
	Cálculo	Gerencia quando os cálculos serão efetuados (o padrão do Excel é efetuar os cálculos automaticamente).
Revisão e Exibição	Revisão de texto, comentários, alterações, modos de exibição, zoom, janela e macros.	
Dados	Obter dados externos	Importa dados de outras fontes para o Excel.
	Conexões	Gerencia as conexões com dados provenientes de outras fontes fora da pasta atual.
	Classificar e Filtrar	Classifica e filtra os dados da planilha com base em diversos critérios personalizáveis.
	Ferramentas de dados	Diversas funções, em especial: teste de hipóteses, atingir meta.
	Análise	Solver.

Tabela 2 - Algumas das ferramentas dos demais frisos.

1.3. BARRA DE FÓRMULAS

A barra de fórmulas (2) é uma região em que podem ser inseridas as informações ou fórmulas de uma célula, de forma que o usuário possa optar por inserir os dados diretamente na planilha ou na barra de fórmulas. Na caixa de nome, à esquerda (1), é exibida a referência absoluta ou o nome da célula ativa. Durante a seleção de um conjunto de células, a caixa exibe as dimensões (número de linhas x número de colunas) do intervalo selecionado.



Figura 3 - Barra de fórmulas.

Os botões à direita da barra de fórmulas possuem a função de: I) cancelar a inserção de dados, possuindo o mesmo efeito que a tecla “Esc”; II) confirmar a inserção de dados, possuindo o mesmo efeito que a tecla “Enter”; III) inserir uma função da biblioteca de funções do Excel.

BOTÃO	FUNÇÃO
	Cancela a inserção de dados na célula ativa
	Confirma a inserção de dados na célula ativa
	Abre a biblioteca de funções do Excel

Tabela 3 - Botões à esquerda da barra de fórmulas

1.4. BARRA DE STATUS

A barra de status está localizada na parte de baixo da tela do Excel, ela exibe informações sobre a atividade ou modo atual. No canto direito da barra de status é possível mudar o zoom e o modo de visualização, além de visualizar qual é a planilha ativa e se a gravação de macros está ou não ativada.



Figura 4 - Barras de Status.

1.5. OPERADORES LÓGICOS

Além dos operadores aritméticos, existem os operadores lógicos, que servem para responder a uma condição de comparação, retornando valores de **VERDADEIRO** ou **FALSO**. Operadores desse tipo são comuns em todas as linguagens de programação.

Operador	Função
>	Maior que
<	Menor que
=	Igualdade
>=	Maior ou igual
<=	Menor ou igual
<>	Diferente

Tabela 6 - Operadores lógicos.

O exercício 1.3. no penúltimo tópico desse capítulo pode te ajudar a fixar esses conceitos.

1.6. FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS E MATEMÁTICAS

Boa parte da funcionalidade do Excel reside em sua enorme biblioteca de funções, a qual pode ser aumentada indefinidamente com funções do usuário. Apresentaremos apenas algumas funções do Excel, pois a quantidade de funções é enorme e a biblioteca pode ser expandida.

Função	Retorno
LN()	Logaritmo neperiano
LOG()	Logaritmo em uma base específica
LOG10()	Logaritmo em base 10
EXP()	Exponencial
SEN()	Seno (entrada em radianos)
SENH()	Seno hiperbólico (entrada em radianos)
ASEN()	Arco seno (em radianos)
ASENH()	Arco seno hiperbólico (em radianos)
GRAUS	Converte um valor em radianos para graus

Tabela 7 - Funções trigonométricas.

Para inserir qualquer função, pode-se ir ao ícone “Inserir função”, no friso Fórmulas. Também é possível inserir uma função digitando “=” em uma célula ou na barra de fórmulas e inserindo o nome da função, selecionando a função desejada e definindo seus parâmetros de execução.

1.7. NOMEAÇÃO DE CÉLULAS

Cada célula da planilha trabalhada apresenta um nome único, baseada em sua posição em relação às colunas e linhas da planilha. Dizemos que a célula apresenta uma referência absoluta pela concatenação da letra da coluna com o número da linha; **A1**, por exemplo.

Existem casos em Engenharia, porém, em que mesmo a referência absoluta pode ser muito complexa ou pouco explicativa. Como mecanismo facilitador, a caixa de nome (à esquerda da barra de fórmulas) permite a nomeação de uma célula ou conjunto de células. Para tanto, basta selecionar a célula ou conjunto de células e digitar o nome desejado na caixa de nome, teclando Enter para confirmar a nomeação. Vale ressaltar que após digitar o nome, a realização de qualquer outra ação antes de teclar Enter cancelará a nomeação.

Ainda, no friso Fórmulas se encontra o botão “Gerenciador de Nomes”, que possibilita a visualização de todos os nomes definidos pelo usuário para a pasta de trabalho atual, em forma de lista ordenada alfabeticamente, assim como é possível excluir ou editá-los.

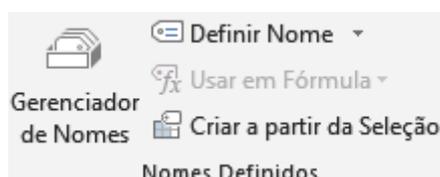


Figura 7 - Gerenciador de nomes.

Ao utilizar uma célula nomeada para a realização de cálculos, ela fica automaticamente fixada quando a expressão é repetida utilizando a alça de replicação.

A equação a seguir é conhecida como a equação de Van der Waals, proposta em 1873, que descreve o comportamento de gases de uma forma mais complexa comparada à equação do gás ideal. Ela relaciona as forças de atração e repulsão de uma molécula.

$$P = \frac{R^*T}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

Onde o valor de a e b são dados pelas equações a seguir:

$$a = \frac{27}{64} * \frac{(R^*T_c)^2}{P_c}$$

$$b = \frac{1}{8} * \frac{R^*T_c}{P_c}$$

Suponha que se deseja calcular a pressão. O cálculo da pressão ficaria:

$$P = \frac{(R^*T)}{V - \left(\frac{R^*T_c}{8} * P_c\right)} - \left(27 * \left(\frac{(R^*T_c)^2}{64} * P_c\right) / V^2\right)$$

Considerando que a equação é complicada, o cálculo da pressão não é tão difícil. No entanto, quando houver uma planilha com dezenas de células contendo dezenas de fórmulas, será bastante difícil associar o conteúdo da célula com a equação de Van der Waals. Talvez fosse melhor usar algo mais associável, ou seja, nomeando as células de a e b.

Essas são denominadas células nomeadas. É óbvio que isso diminui enormemente o nosso esforço e fica mais agradável de trabalhar, além de facilitar o entendimento de terceiros. Veja como é simples: selecione a(s) célula(s) que se quer nomear e, na Caixa de Nomes, escreva seu nome desejado (sem espaços).

A nomeação de células pode se estender na vertical, na horizontal ou em ambas, permitindo que se trabalhe com um conjunto de células, como se fossem vetores ou matrizes.

1.8. GRÁFICOS

Atualmente é quase inconcebível pensar em um sistema operacional sem interface gráfica. Uma orientação comum aos alunos é que engenheiros são pagos para resolver problemas, e, para resolvê-los, eles precisam analisar alternativas. Ora, convenhamos, é muito mais fácil analisar opções em um gráfico colorido do que em uma tabela.

O Excel tem uma capacidade gráfica bastante ampla, mas o que particularmente atrai é sua sensibilidade ao contexto: os gráficos vão se alterando automaticamente à medida que as células vão mudando seus valores. Isso permite até uma sensação de movimento, que é muito importante em problemas dinâmicos.



Figura 8 - Menu Inserir.

Clique no friso “Inserir”. Nesse friso, escolha o tipo de gráfico e ele será criado em branco, na mesma planilha. Ao clicar no botão do canto inferior direito indicado pela seta na figura, todas as opções de tipos de gráfico serão mostradas.

Uma vez que o gráfico foi plotado, pode-se alterar as suas configurações através do menu Ferramentas de Gráfico. Ao selecionarmos o gráfico na planilha, o menu Ferramentas de Gráfico aparece na guia superior, com duas subguias: Design e Formatar.



Figura 9 - Ferramentas de Gráfico - Design.

Na opção Design, podemos modificar diversos aspectos do gráfico, como os eixos, o tipo de gráfico, o estilo dos pontos plotados, entre diversas outras características.

Na opção Formatar, pode-se personalizar o aspecto visual do gráfico, como cores e dimensões.



Figura 10 - Ferramentas de Gráfico - Formatar.

Também é possível escolher os dados a serem plotados clicando no botão “Selecionar Dados” (ou simplesmente clicando com o botão direito do mouse no gráfico e selecionando a opção “Selecionar Dados”). A seguinte janela se abrirá:

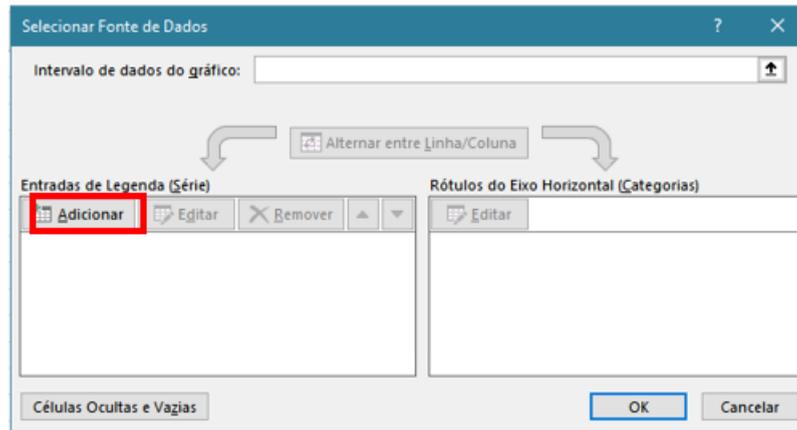


Figura 11 - Selecionar fonte de dados.

Clicando-se em “Adicionar”, pode-se escolher os valores de X e os valores de Y. Para adicionar mais uma sequência de dados, clica-se em “Adicionar”, e selecionam-se os dados referentes a essa sequência. É possível também adicionar mais de uma série de dados ou ainda editar uma série de dados já selecionada. A opção “Alternar entre Linha/Coluna” é aplicada para inverter os eixos de um gráfico.

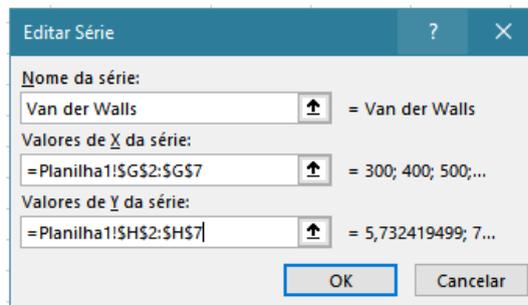


Figura 12 - Editar série de dados.

Com o auxílio do botão , seleciona-se com o mouse as células correspondentes aos valores dos eixos X e Y.

Para alterar a aparência do gráfico, é possível visualizar os elementos do gráfico cuja exibição está ativada clicando sobre o ícone “+” com o gráfico selecionado. As opções são: eixos, títulos dos eixos, título do gráfico, rótulos de dados, barras de erros, linhas de grade, legenda e linha de tendência. Ainda, no ícone em formato de pincel, é possível alterar o estilo e as cores do gráfico.

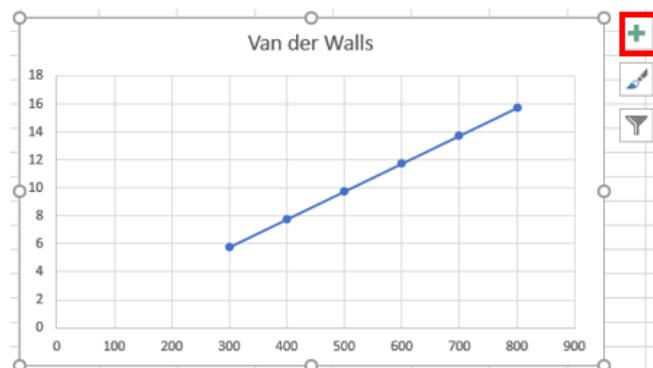


Figura 13 - Gráfico gerado para a série de dados selecionada.

Outra opção de edição dos gráficos é através das ferramentas “Formatar Série de Dados” e “Formatar Eixo”, que podem ser encontradas clicando com o botão direito nos pontos plotados ou nos eixos, respectivamente.

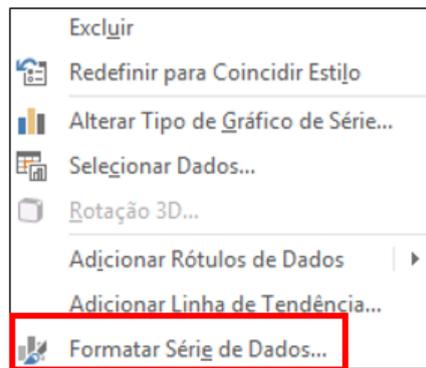


Figura 14 - Formatar série de dados.

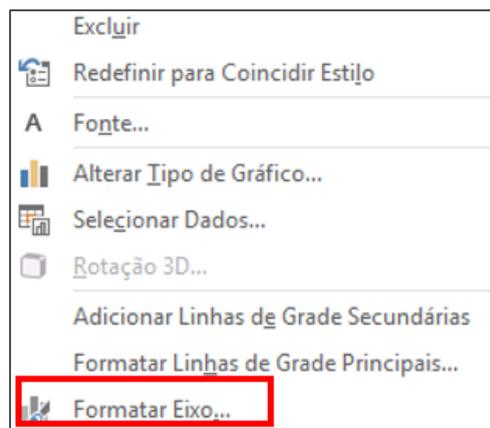


Figura 15 - Formatar eixo.

1.8.1. Linha de Tendência

Outra ferramenta muito útil presente neste software é a “Adicionar Linha de Tendência”. Esta opção nos permite encontrar de uma maneira rápida e eficiente a equação que melhor se ajusta a uma sequência de dados. Podemos encontra-la clicando com o botão direito em um ponto no gráfico e selecionando “Adicionar Linha de Tendência”.

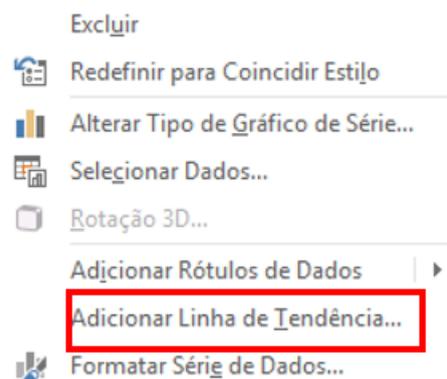


Figura 16 - Adicionar linha de tendência.

Uma nova janela irá se abrir, no qual é possível optar entre linhas exponenciais, lineares, logarítmicas, polinomiais, potências ou médias móveis; também há a possibilidade de exibir a equação no gráfico e o R^2 característico. Ademais, existe a possibilidade de formatar a linha de tendência da forma desejada quanto à cor, espessura, brilho, sombreado, entre outros.

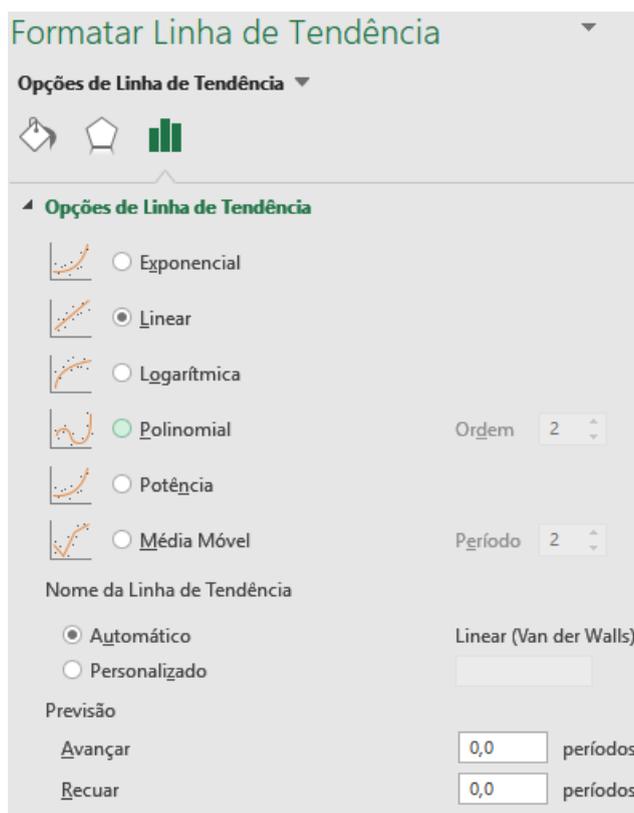


Figura 17 - Opções de linha de tendência.

Os exercícios 1.4. ao 1.7. são recomendáveis para testar seus aprendizados quanto a construção de gráficos e linhas de tendência.

1.9. TABELA DINÂMICA

Um tipo de tabela singular e com muitas utilidades presente no Excel é a “Tabela Dinâmica” (e também “Gráfico Dinâmico”). O principal fator que diferencia esta opção das outras tradicionais é a possibilidade de apresentar diversos dados separados por filtros e por rótulos de linha e coluna, gerando um aspecto mais organizado e esteticamente agradável. Podemos encontrar essa ferramenta no canto superior esquerdo do friso Inserir.

A criação de uma tabela dinâmica pressupõe a existência de uma tabela no documento atual ou em uma fonte de dados externa. Esse tipo de tabela vincula horizontalmente os registros existentes, possibilitando filtrações e classificações tal como desejado pelo usuário.

Os exercícios 1.8. e 1.9. podem te ajudar a aprender sobre o funcionamento de tabelas dinâmicas na prática.

1.10. MACROS

Uma macro é uma sequência de comandos (cliques de mouse ou toques de teclado) que são gravados em um Módulo VBA e podem ser executados, sempre que necessário. A grande vantagem de gravarmos uma sequência de comandos é que poderemos utilizá-la sempre que preciso. Para isso basta executar a macro na qual foi gravada a sequência de comandos.

As macros são uma excelente opção para automatizar tarefas repetitivas. Com o uso de macros temos um ganho de produtividade considerável, ao evitar que tenhamos que executar manualmente, os diversos passos de uma tarefa, passos estes que podem ser automatizados através do uso de uma macro.

Existem duas maneiras distintas para a criação de uma macro:

- Podemos usar o gravador de macros: Nesse caso o Excel grava cada uma das ações que farão parte da Macro e transforma essas ações nos comandos VBA equivalentes. Quando a macro for executada, os comandos VBA que serão efetivamente executados. Cada comando VBA corresponde a uma ação efetiva da macro.

- Criar a macro usando VBA: A partir do momento em que você domina a linguagem VBA, poderá criar a macro digitando os comandos VBA necessários. Isso é feito usando o Editor de VBA, conforme veremos nas próximas lições.

Como habilitar a Guia do Desenvolvedor no seu Office:

- Para a versão 2007:

1. Clique no Botão Office no canto superior esquerdo;



Figura 18 - Opções do Excel (versão 2007).

2. Em seguida clique em “Opções do Excel”;

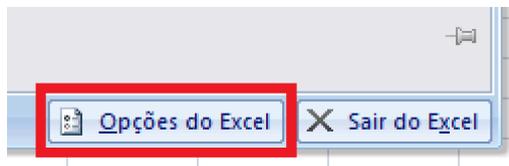


Figura 19 - Opções do Excel para a versão 2007.

3. Na tela que abriu, selecione a aba Mais Usados e marque a opção “Mostrar guia Desenvolvedor na Faixa de Opções”;

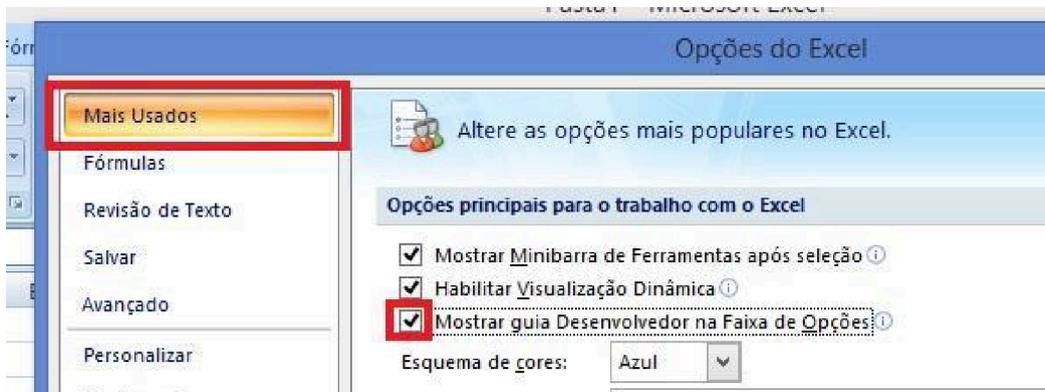


Figura 20 - Habilitar desenvolvedor na versão 2007.

4. Para finalizar clique em OK.

- Para as versões 2010 e 2013:

1. Vá a guia arquivo do office em que deseja começar sua macro;



Figura 21 - Botão arquivo nas versões 2010 e 2013.

2. Selecione “Opções”;



Figura 22 - Botão opções nas versões 2010 e 2013.

3. Selecione, agora, “Personalizar faixa de opções”;

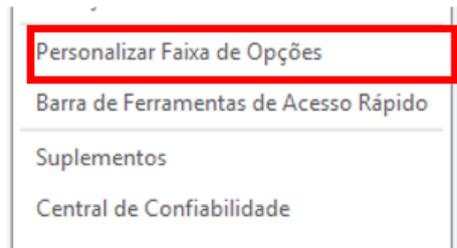


Figura 23 - Opção "Personalizar Faixa de Opções".

4. Duas colunas serão abertas. Na coluna da esquerda habilite a opção “Desenvolvedor”.

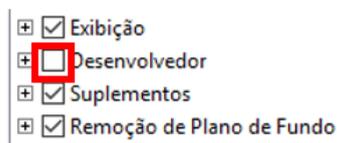


Figura 24 - Opção "Desenvolvedor".

Dessa maneira, a guia “Desenvolvedor” estará disponível na pasta de trabalho.

O exercício 1.10. é uma demonstração de como se gravar uma Macro, já o exercício 1.11. é uma aplicação de uma.

1.11. PROCH e PROCV

Algumas das funções mais importantes e utilizadas atualmente dentro do software são as funções de procura de dados. Dentre elas temos duas funções de procura em bancos de dados ou tabelas: PROCV (Procura Vertical) e PROCH (Procura Horizontal).

Elas apresentam os seguintes argumentos:

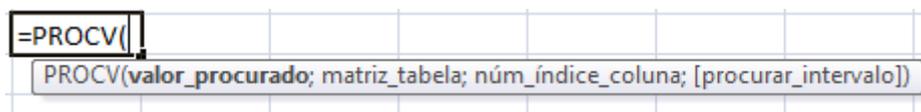


Figura 25 - Argumentos PROCV.

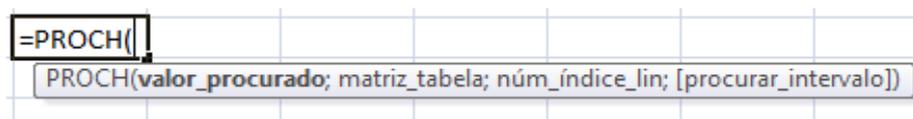


Figura 26 - Argumentos PROCH.

O argumento “valor_procurado” é o valor que a função terá como referência para encontrar outros valores no conjunto de dados que você selecionou. “Matriz_tabela” será o seu conjunto de dados, em que a função irá realizar a pesquisa. “Núm_índice_coluna” ou “Núm_índice_lin” são respectivamente o número da coluna e o número da linha

que você quer retirar os dados. E “[procurar_intervalo]” será uma opção que quando selecionada lhe dará como resposta o valor aproximado do que você está procurando ou o valor exato de acordo com a imagem:

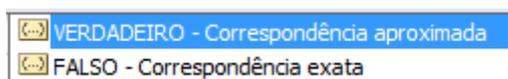


Figura 27 - Opção “[procurar_intervalo]” exibida no PROCV e PROCH.

A melhor opção nesse caso se resume a “FALSO - Correspondência exata”!

Assim, colocando os dados corretamente nas funções, o software lhe retornará o valor que está na coluna ou linha, na mesma linha ou coluna (respectivamente) que seu valor de referência está.

Os exercícios 1.12. e 1.13. podem te ajudar a compreender melhor PROCH e PROCV. Ambos os exercícios trazem uma visão aplicada destas duas funções.

Os exercícios 1.14. e 1.15. visam abranger boa parte dos conteúdos da aula.

1.12. ATINGIR META

Muitas vezes em um processo, você conhece o gargalo da produção. Esse pode ser a alimentação, um mínimo de produção diária ou até mesmo o limite volumétrico de algum equipamento. Como visto no primeiro módulo desse minicurso, existem balanços de massa que podem ser realizados diretamente conhecendo certa quantidade de informações. Entretanto, o mais comum é que alguma delas pareça estar faltando. Para isso, pode-se utilizar a ferramenta “Atingir Meta” (ou “Goalseek” para as versões em inglês), se você conhece o resultado que deseja obter de uma fórmula (como, por exemplo, o gargalo), mas não tem certeza sobre o valor de entrada necessário para chegar a esse resultado. Com esta ferramenta, o Microsoft Excel varia o valor de uma célula específica até a célula dependente retornar o resultado desejado utilizando-se de processos iterativos.

Consideremos a seguinte equação implícita:

$$y + \log \log y + 3x - 4 = 0$$

Desejamos saber o valor de y sendo x um valor já conhecido. Uma das formas de resolver este problema é encontrar o valor de y quando a equação é zerada utilizando a ferramenta “Atingir meta”. A planilha para a resolução pode ser preenchida da seguinte forma:

	A	B	C	D	E	F
1	y	x	Resultado			
2	2	1	1,30103			
3						

Figura 62 - Equação.

Foi considerado o valor de x como 1 e para y foi inserido um valor aleatório. Esse chute se mostra essencial para o procedimento, pois a ferramenta utiliza-o para iniciar o processo iterativo. Para encontrar o valor real de y a equação precisa ser zerada, para isso, basta clicar no friso Dados > Teste de hipóteses > Atingir meta e preencher o quadro com as informações requisitadas. A célula a ser definida é aquela cujo resultado é conhecido e servirá de base para as iterações da ferramenta. Em “Para valor”, deve ser inserido o valor desejado da célula de resultado – nesse caso, o valor zero para a célula C2. A célula a ser alternada é aquela cujo valor será modificado de acordo com as iterações, de forma a atingir o valor da célula definida. Aqui, a célula A2 será variada até a célula C2 atingir o valor 0.

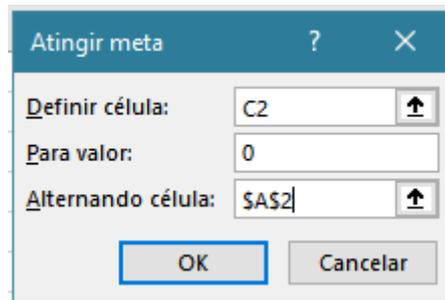


Figura 63 - Interface do "Atingir meta".

Nessa hora é preciso ter cuidado para que a célula que deverá atingir o valor determinado seja dependente da célula que será alterada, caso contrário o Excel mudará indefinidamente a célula A2 sem que o valor da célula C2 mude.

Quando o problema tiver mais de uma solução, os métodos numéricos encontram uma delas de cada vez. Além disso, a solução encontrada depende muito da estimativa inicial do valor da variável. Abaixo é apresentada uma figura de uma função parabólica. Esta função possui duas raízes, dessa forma, ao utilizar a ferramenta "Atingir metas", o método converge a uma determinada raiz de acordo com a estimativa inicial. No caso, se a estimativa inicial for mais próxima de "a", podendo ser menor que "a" ou no intervalo entre "a" e "h", tem-se como resultado obtido a raiz "a". Da mesma maneira, o método converge a "b" quando o valor inicial é mais próximo a "b". Ao lado é apresentada a figura de uma função parabólica. Fica evidente que, se a estimativa inicial for menor que a menor raiz, o método converge para esta, e vice-versa.

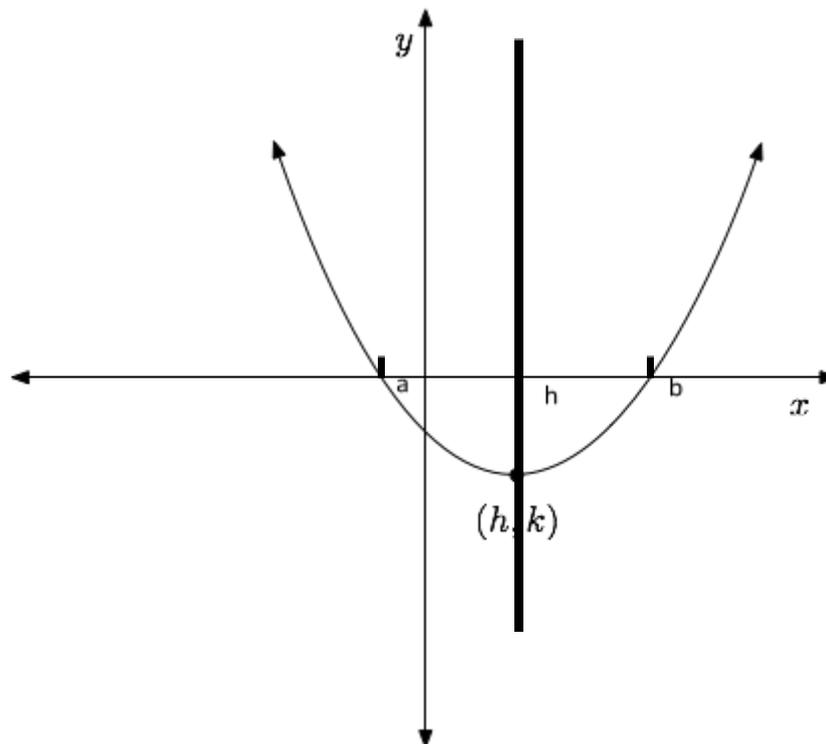


Figura 64 - Efeito da estimativa inicial.

Para exemplificar a parte de equações com duas raízes, consideremos seguinte equação de grau 2:

$$x^2 - 5x - 6 = 0$$

Essa equação dá origem ao gráfico da Figura 65:

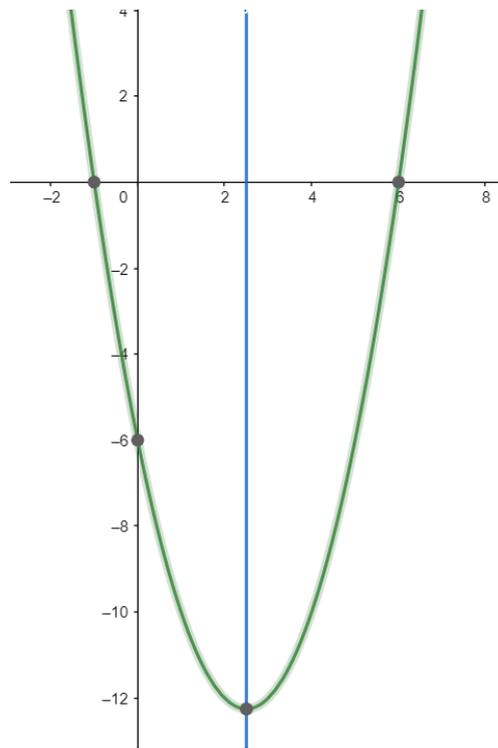


Figura 65 - Gráfico da equação de segundo grau.

É possível verificar, através do gráfico, que a equação tem duas raízes, $x_1 = -1$ e $x_2 = 6$. Logo vamos testar as estimativas para convergência inserindo primeiramente o valor de 1 para x.

	A	B	C	
1	Equação			
2	$x^2 - 5x - 6 = 0$			
3		X	RESULTADO	
4	X1	1	=x^2-5*x-6	
5	X2			

Figura 66 - Estimativa para encontrar a raiz x_1 .

Na célula C4 vamos usar o ativar meta. Como a estimativa inicial $x=1$ era mais próxima da raiz x_1 , o Excel convergiu para a essa raiz:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Equação							
2	$x^2 - 5x - 6 = 0$							
3		X	RESULTADO					
4	X1	-1	0,000					
5	X2							
6								
7								
8								
9								
10								

Status do comando ativar meta ? ✕

Atingir Meta com a célula C4 encontrou uma solução.

Valor de destino: 0

Valor atual: 0,000

OK Cancelar

Figura 67 - Usando ativar meta para x_1 .

Podemos fazer o mesmo para x_2 , dessa vez usamos uma estimativa inicial mais próxima de 6, no caso podemos tentar com 3.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Equação						
2	$x^2 - 5x - 6 = 0$						
3		X	RESULTADO				
4	X1	-1	0,000				
5	X2	3	18				
6							
7							
8							
9							
10							

Atingir meta ? X

Definir célula: C5

Para valor: 0

Alternando célula: \$B\$5

Figura 68 - Repetindo o processo para x_2 .

Com o cálculo iterativo encontramos:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Equação							
2	$x^2 - 5x - 6 = 0$							
3		X	RESULTADO					
4	X1	-1	0,000					
5	X2	6	0					
6								
7								
8								
9								
10								

Status do comando atingir meta ? X

Atingir Meta com a célula C5 encontrou uma solução.

Valor de destino: 0

Valor atual: -0

Figura 69 - Encontrando x_2 .

Observação: Como é um método iterativo, nem sempre uma solução exata será encontrada (o Excel chega, por exemplo, ao valor 0,9987 ou 1,02 quando desejamos atingir o valor 1). Assim, é possível fazer mais iterações para ter um resultado com um erro menor. Para isso, no Office 2007, é preciso ir ao Botão Office > Opções do Excel > Fórmulas. No Office 2016, é preciso ir ao friso Arquivo > Opções > Fórmulas.

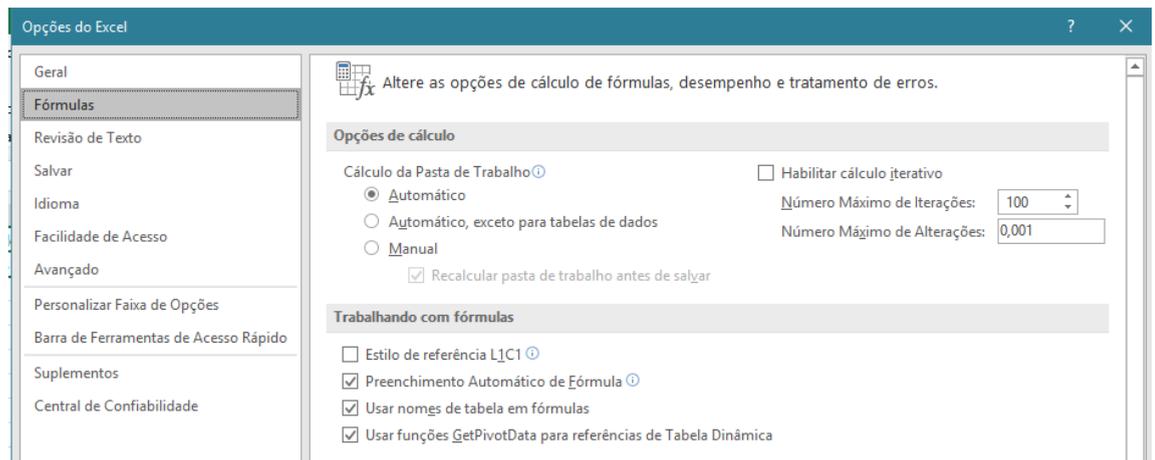


Figura 70 - Definindo configurações das iterações.

Assim é possível definir o número máximo de iterações ou qual o menor erro estabelecido (o Excel parará o comando quando qualquer uma das definições for alcançada).

Sistemas de equações de uma variável relativamente complexos também podem ser resolvidos com o Atingir Meta. A seguir, um exemplo onde o apoio gráfico é fundamental.

O primeiro exercício deste capítulo (localizado no tópico 2.4) é muito bom para fixar os conceitos de Atingir Meta.

1.13. EXERCÍCIOS

Exercício 1.1. Com o intuito de aprender diversas maneiras de se replicar informações nas células, faça o que se pede abaixo:

- Preencha todas as células com o mesmo valor.
- Preencha uma sequência de números nas células.
- Preencha as células com os dias úteis da semana.
- Preencha as células com os meses do ano.

Exercício 1.2. Realize as operações abaixo.

- Realize as operações matemáticas que estão escritas na tabela 1.
- Some todo o intervalo contido na tabela 2.
- Escreva uma frase utilizando o operador &.

Exercício 1.3. Compare as células com os operadores lógicos do Excel.

1	>	2
2	<	3
4	<=	4
5	>=	2
6	<>	6
7	=	8

Figura 28 - Operações lógicas do exercício 1.3.

Exercício 1.4. A equação a seguir é conhecida como a equação de Van der Waals, proposta em 1873, que descreve o comportamento de gases de uma forma mais complexa comparada à equação do gás ideal. Ela relaciona as forças de atração e repulsão de uma molécula.

$$P = ((Rcte * T)/(V - b)) - (a/V^2)$$

Complete a tabela disponibilizada com os cálculos necessários e faça um gráfico de pressão por temperatura utilizando como domínio o intervalo entre 300K e 800K indo de 100K em 100K.

Exercício 1.5. Usando a equação de Antoine, monte um gráfico para prever a pressão de vapor (Pv) em mmHg do 1,2-Dicloroetano de -20°C até 40°C. Use intervalos de 5°C para cada ponto. Coloque a Pv no eixo y e Temperatura no eixo x.

$$\ln Pv = A - (B / (T + C))$$

Exercício 1.6. Cálculo da média das temperaturas e o desvio padrão, registradas pelo Simepar.

Exercício 1.7. Bombas são equipamentos muito importantes e populares no universo dos engenheiros químicos. Para a escolha de uma, devemos levar em conta diversos fatores, entre eles, a vazão volumétrica (Q) e a altura manométrica (H). Em um laboratório, foram medidas a carga da bomba para diferentes vazões. Monte o gráfico característico desta bomba e adicione também barras de erro. (Tabela na planilha de exercícios).

Exercício 1.8. Seu chefe lhe pediu para realizar um levantamento da quantia gasta pela empresa com os salários dos funcionários por setor a partir da planilha com a lista de funcionários. Para facilitar o seu trabalho, você decidiu utilizar uma tabela dinâmica.

Lista de Funcionários		
Nome	Setor	Salário
Alice	RH	R\$ 2.829,00
Miguel	Financeiro	R\$ 3.012,00
Arthur	Qualidade	R\$ 1.528,00
Helena	Logística	R\$ 2.638,00
Sophia	Qualidade	R\$ 1.528,00
Bernardo	Financeiro	R\$ 1.937,00
Valentina	Logística	R\$ 3.826,00
Laura	RH	R\$ 1.693,00
Manuela	Logística	R\$ 1.223,00
Pedro	Financeiro	R\$ 2.810,00
Davi	Logística	R\$ 3.816,00
Heitor	RH	R\$ 3.109,00
Gabriel	Logística	R\$ 1.827,00
Júlia	Qualidade	R\$ 1.083,00
Heloisa	RH	R\$ 3.109,00
Luiz	Logística	R\$ 2.810,00
Enzo	Financeiro	R\$ 3.826,00
Matheus	Logística	R\$ 1.937,00
Maria Luiza	Qualidade	R\$ 3.109,00

Figura 29 - Lista de Funcionários do exercício 1.8.

Exercício 1.9. Crie uma tabela dinâmica que responda as seguintes perguntas:

- Qual o total de vendas de cada tipo de plano por vendedor?
- Mostre detalhes das vendas feitas por Joaquina de Plano Ouro.
- Quanto cada vendedor vendeu por estado?
- Mostre o total de vendas a cada trimestre.

Exercício 1.10. Esse exercício consiste em uma demonstração de como se gravar uma macro. Siga para a resolução para ver como esse processo é feito.

Exercício 1.11. Carlos quer controlar seu saldo bancário através de uma planilha do Excel, ao invés de sempre tirar o extrato no banco. Então, vamos criar uma macro que facilite esse processo para Carlos. Ele preparou uma tabela para colocar a Entrada e Saída de dinheiro em sua conta, a data dessas movimentações e o saldo remanescente.

Data	Entrada	Saída
	R\$ 1.200,00	R\$ 450,00

Data	Entrada	Saída	Saldo
10/04/2018			R\$ 4.500,00

Figura 30 - Tabela para o exercício 1.11.

Exercício 1.12. Você utiliza uma planilha como agenda de contatos que contém o nome, sobrenome, telefone e e-mail das pessoas. Como você possui muitos contatos, está tendo dificuldades para procurar as informações de determinadas pessoas. Para solucionar esse problema, você pensou em utilizar a função PROCV procurando pelo nome.

Você possui uma lista de contatos conforme a figura abaixo:

Nome	Sobrenome	Celular	E-mail
Dalva	Almeida	98290-2093	dalva@gmail.com
Adélia	Souza	99201-2938	adelia@hotmail.com
Kelvin	Oliveira	99812-0139	kelvin@hotmail.com
Jasmin	Costa	99940-9304	jasmin@yahoo.com.br
Láisa	Pereira	99284-0593	laisa@gmail.com
Iago	Silva	99800-9697	iago@gmail.com
Fátima	Rodrigues	99894-8284	fatima@gmail.com
Esther	Amaral	99839-9394	esther@hotmail.com
Adriel	Dias	99927-5963	adriel@gmail.com
Jean	Campos	99394-9340	jean@yahoo.com.br
Márcio	Moura	99930-1839	marcio@outlook.com
Cristiano	Barbosa	99984-0943	cristiano@gmail.com
Fabício	Freitas	99923-4901	fabricao@outlook.com
Mara	Castro	99938-4034	mara@outlook.com
Igor	Cavalcanti	99892-5832	igor@yahoo.com.br
Mariana	Lima	99203-9549	mariana@hotmail.com
Luca	Campos	99949-4092	luca@gmail.com
Cynthia	Fernandes	99823-3201	cynthia@outlook.com
Ícaro	Pereira	99934-5679	icaro@gmail.com
Manoel	Araújo	99248-2948	manoelito@gmail.com
Jéssica	Carvalho	99923-5744	jessica@yahoo.com.br
Lívio	Gomes	99857-4913	livio@gmail.com
Keila	Martins	99928-2133	keila@outlook.com
Adriane	Mendes	99843-2839	adriane@gmail.com
Luciano	Castro	99983-8341	luciano@gmail.com

Tabela 8 - Base de dados do Exercício 1.12.

Exercício 1.13. Uma empresa quer começar a exportar seus produtos e para isso criou uma planilha que calcula qual o preço final do seu produto. Utilize PROCV e resolva o problema da empresa.

Exercício 1.14. A Pyro S.A. utiliza uma planilha do Excel para controlar o funcionamento do seu reator principal. Nesta planilha são lançadas informações diárias do reator, e estas devem ser analisadas pela Gerência para averiguar a situação da produção diária, a eficiência de seus equipamentos e a manutenção dos mesmos. Para isso, os gestores devem avaliar algumas questões como Nível de eficiência, Nível da temperatura e nível da pressão, no entanto as informações estão lançadas em uma única tabela e todas misturadas, para ajudar na gestão desta indústria devemos criar um relatório que os ajude a visualizar as informações que são lançadas na planilha. Veja um modelo que os ajudaria:

Relatório da Gerência

Turno:

Pressão: Normalidade
 Anômalo

Temperatura: Normalidade
 Anômalo

Eficiência: Normalidade
 Anômalo

Data	Turno	Situação	Temperatura (°C)	Pressão (atm)	Eficiência
03/05/2014	06:00	Funcionamento	300	20	84,47%
04/05/2014	06:00	Funcionamento	300	20	84,52%
06/05/2014	06:00	Funcionamento	300	20	84,47%
07/05/2014	06:00	Funcionamento	300	20	84,52%
11/05/2014	06:00	Funcionamento	300	20	84,47%
12/05/2014	06:00	Funcionamento	300	20	84,52%
14/05/2014	06:00	Funcionamento	300	20	84,47%
15/05/2014	06:00	Funcionamento	300	20	84,52%

Figura 31 - Modelo do Relatório da Gerência do exercício 1.14.

A empresa entende como **Normalidade**: **Pressão** igual a **20 atm**; **Temperatura** igual a **300°C**; e **Eficiência** entre **84%** e **85%**. E Anormalidade seriam as demais condições possíveis.

Neste exercício abordaremos os seguintes tópicos: Layout e estilos, Botões, Botões de Opção, Caixa de Combinação, Filtro avançado, Remover Duplicatas, Macros;

Exercício 1.15. Ana precisa automatizar o cadastro de vendas de sua loja e para isso é necessário criar uma macro que receba as informações da venda dos seus produtos e salve na planilha de pedidos.

Exercício 1.16. Você é um comerciante e necessita saber de forma rápida qual o desconto necessário para que o preço da CALOI 10, que custa R\$ 1.250,00, seja apenas R\$900,00. Para resolver tal problema, utilize o atalho meta em sua planilha de preços.

Produto	Valor inicial	Desconto	Preço Final
Specialized Sport	R\$ 3.499,00	6,0%	R\$ 3.289,06
Monark 1	R\$ 600,00	7,0%	R\$ 558,00
Prince v12	R\$ 350,00	15,0%	R\$ 297,50
Caloi 10			

Exercício 1.17. Encontrar os valores de x nas interseções das funções:

$$f_1 = \sqrt{x} - \ln(x) - 0,8 \quad f_2 = 0,03 \cdot x^{\frac{5}{x}} - 0,04$$

1.14. RESPOSTAS

Exercício 1.1.

Letra a)

1. Digitar **1** na célula **C13**.
2. Selecionar a célula e “puxá-la” pela alça até a linha **20**.
3. Resultado: o valor **1** foi replicado em **C14** até **C20**.

Letra b)

1. Digitar **1** na célula **D13** e **2** na célula **D14**.
2. Selecionar **D13** e **D14**.
3. “Puxar” a seleção até a linha **20**.
4. Resultado: os valores foram incrementados em **1** em **1** até **8**.

Letra c)

1. Digite uma data de sua preferência (**dia/mês/ano**) na célula **E13**.
2. Com o botão direito do mouse, replique a data até a célula **E20**.
3. No canto inferior direito aparecerá uma caixa de “**opções de autopreenchimento**”. Selecione **dias da semana**. Dessa forma as células foram preenchidas apenas com os dias úteis da semana escolhida através da data da célula **E13**.

Letra d)

1. Escreva algum mês do ano na célula **F13**.
2. Replique até a célula **F20**. O resultado é que os meses seguintes ao que você escolheu foram preenchidos nas células.

Fica fácil entender o uso dessa alça, mas seu verdadeiro potencial será visto com o uso de fórmulas mais adiante.

Exercício 1.2.

Letra a)

1. Nas células correspondentes da coluna **F**, introduza as fórmulas contendo os operadores algébricos, conforme mostra a figura a seguir:

	A	B	C	D	E	F	G	
9		Tabela 1 - letra a						
10		10	+	13	=	23		
11		15	-	5	=	10		
12		7	x	3	=	21		
13		12	/	2	=	6		
14								

Figura 32 - Operadores Algébricos.

Letra b)

1. Clique na célula L13 e escreva =SOMA(.

2. Selecione todas as células da Tabela 2 – letra b e feche os parênteses. Dessa forma todos os valores da tabela serão somados.

Letra c)

1. Selecione a célula N10 e digite ="Eu gosto" e pressione Tab.
3. Selecione a célula O10 e digite =" de morango." e pressione Tab.
4. Selecione a célula P10 e digite =N10&O10. O resultado será a frase toda escrita nessa célula.

Exercício 1.3.

Aplique nas células **F6** até **F116** as fórmulas de comparação, conforme a próxima figura:

	C	D	E	F
5	Tabela para estudar operadores lógicos			
6	1	>	2	FALSO
7	2	<	3	VERDADEIRO
8	4	<=	4	VERDADEIRO
9	5	>=	2	VERDADEIRO
10	6	<>	6	FALSO
11	7	=	8	FALSO

Figura 33 - Operadores lógicos.

Exercício 1.4.

1. Nomeie as células **B10**, **C10** até **I10** como **Tc**, **Pc**, **a**, **b**, **Rcte**, **V**, **T** e **P**, respectivamente.
2. Selecione a célula **B11** e, na Caixa de Textos, digite **Tc**. Teclie Enter para confirmar.
3. Selecione a célula **C11** e, na Caixa de Textos, digite **Pc**. Teclie Enter para confirmar.
4. Assim, respectivamente até **V**.
5. Preencha a Tabela com os valores de **Tc**, **Pc**, **R** e **V**.
6. Nas células **H11:H16** digite os valores desejados de temperatura, por exemplo, de 300 a 800K.
7. Na célula **F11**, digite a seguinte equação = $(27/64) * ((Rcte * Tc)^2 / Pc)$
8. Na célula **G11**, digite a seguinte equação = $(1/8) * (Rcte * Tc) / Pc$
9. Na célula **I11**, digite a equação de Van der Walls da seguinte forma = $Rcte * H11 / (V - b) - a / V^2$

Tc (K)	Pc (atm)	Rcte (atm L / K mol)	V	a	b	T (K)	P (atm)
282,4	49,74	0,0089	0,4527	0,05358	0,00632	300	5,719964
						400	7,713764
						500	9,707564
						600	11,70136
						700	13,69516
						800	15,68896

Figura 34 - Nomeando células.

10. A partir dos dados de pressão e temperatura, é possível gerar um gráfico. Para tanto, no friso Inserir, selecione o gráfico de Dispersão com linhas suaves e marcadores, gerando um gráfico em branco.



Figura 35 - Localização do gráfico de dispersão.



Figura 36 - Localização do gráfico de dispersão com linhas suaves e marcadores.

11. Clique sobre o gráfico com o botão direito do mouse e clique em “Selecionar dados”.
12. No campo “Nome da série”, digite “Van der Walls”.
13. Para plotar um gráfico de pressão em função da temperatura, no campo “Valores de X da série”, selecione as células **H11:H16**. No campo “Valores de Y da série”, selecione as células **I11:I16**. Em seguida, dê “OK” duas vezes.

Exercício 1.5.

1. Insira a temperatura inicial (253,15K) na célula **F10**;
2. Na célula **F11**, digite **=F10+5** e tecla Enter;
3. Selecione a célula **F11** e replique os valores de temperatura até o final da tabela;
4. Selecione a célula **E10** e calcule as temperaturas em graus Célsius, a fórmula resultante é: **=F10-273,15**. Replique para que todas as temperaturas sejam calculadas.
5. Na célula **G10**, insira a fórmula da pressão de vapor. Lembre se de fixar os valores de A, B e C usando o atalho do teclado F4. A fórmula resultante é: **=EXP(\$C\$10-\$C\$11/(F10+\$C\$12))** e os cifrões indicam que a célula em questão está fixada. Replique a fórmula para que a pressão de vapor seja calculada.
6. Insira um gráfico de dispersão com linhas suaves e marcadores.
7. Clique com o botão direito do mouse na área de trabalho do gráfico e depois em “Selecionar Dados...”
8. Adicione uma nova série com nome Pressão de Vapor (mmHg) e selecione todos os valores de temperatura (em °C) no eixo x e todos os valores de Pv no eixo y.

Exercício 1.6.

1. A resolução é bem simples, uma vez que o Excel contém um pacote com ferramentas de estatística prontas para o uso;
2. Na célula **F9** digite **=MÉDIA()** e selecione as células **C6** até **C29**;
3. Na célula **F10** digite **=DESVPAD.A()** e selecione as células **C6** até **C29**.

Exercício 1.7.

1. Calcule a média das vazões usando a fórmula **=MÉDIA()**.
2. Calcule o erro usando o desvio padrão amostral **=DESVPAD.A()**.
3. Insira no gráfico os valores médios de vazão no eixo x e o head no eixo y.
4. Selecione o gráfico e clique no botão “Adicionar elemento gráfico”, no canto superior direito do Excel, aba de Design, ou ainda, no botão “+” ao lado do gráfico.
5. Adicione Barra de Erros do tipo Erro Padrão.
6. Clique com o botão direito do mouse em cima da barra de erro e em “Formatar barra de erros...”.
7. Altere a opção “Erro Padrão” para a opção “Personalizado”, e clique em “Especificar Valor”.
8. Na caixa de mensagem “Barra de Erros Personalizadas”, clique na seta para cima do “Valor de Erro Positivo” e selecione as células **G10:G16**.
9. Repita o procedimento 8 para o “Valor de Erro Negativo”.

Exercício 1.8.

1. Primeiramente, selecione toda a lista de funcionários, incluindo o título.
2. Vá para o friso “Inserir”, no menu Tabelas, selecione a opção “Tabela Dinâmica”.



Figura 37 - Acesso da Tabela Dinâmica.

3. Ao clicar na opção “Tabela Dinâmica” aparecerá uma nova janela. Nela você pode ver ou selecionar a tabela com os dados desejados. Você pode escolher se deseja que a tabela dinâmica seja criada em uma nova planilha ou em uma planilha existente. Para esse exemplo, selecione para a tabela ser colocada em uma “nova planilha”. Após preencher todos os espaços, clique em “Ok”.

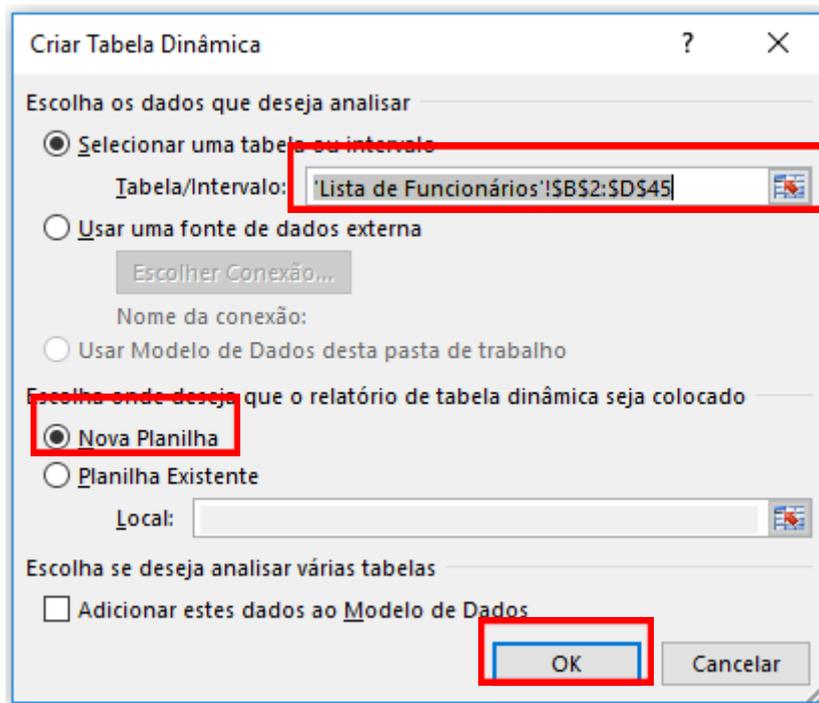


Figura 38 - Seleção de dados.

4. Uma nova planilha será criada com uma aba no canto direito da tela, mostrando o título de cada coluna da tabela de dados que nós selecionamos.

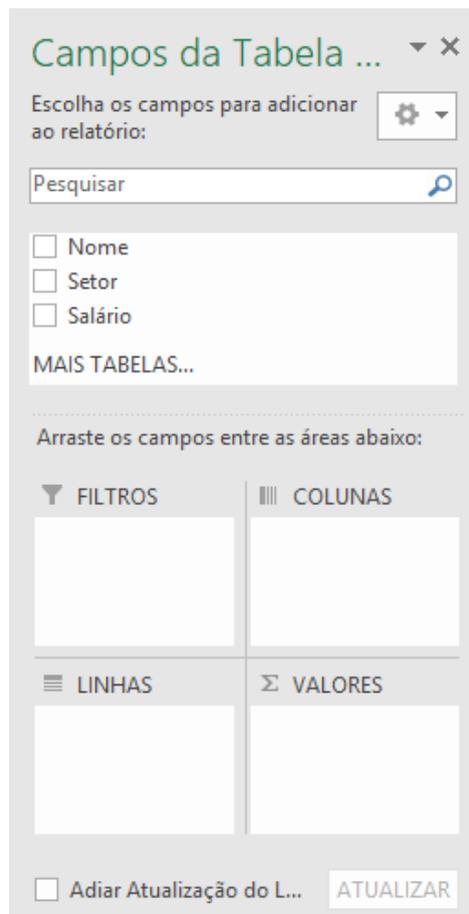


Figura 39 - Campos da Tabela Dinâmica.

5. Para esse exemplo, iremos arrastar o título “Setor” para a área de “Linhas” e o título “Salário” para a área de “Valores”. Com isso, já fizemos o que nos foi pedido.

6. Podemos acrescentar mais algumas informações a nossa tabela, como a quantidade de funcionários trabalhando em cada setor e a porcentagem que cada setor gasta com o salário de seus funcionários em relação ao total. Para isso, podemos arrastar o título “Salário” mais duas vezes para a área “Valores”.
7. Para alterar os valores de uma das colunas de salário para a contagem de funcionários por setor, basta clicar com o botão direito do mouse sobre o título da coluna que se deseja mudar, selecionar “Resumir valores por”, e escolher “Contagem”.

Rótulos de Linha	Soma de Salário	Soma de Salário2	Soma de Salário3
4 Financeiro	28154		
5 Logística	34814		
6 Qualidade	23875		
7 RH	18507		
8 Total Geral	105350		

Figura 40 - Alterar coluna para contagem.

8. E para alterar uma das colunas para a porcentagem que cada setor gasta com os salários dos funcionários em relação ao todo, basta clicar com o botão direito no título da coluna que se deseja mudar, selecionar “Mostrar Valores como” e escolher “% do Total Geral”.

Soma de Salário3
28
34
23
18
105

Figura 41 - Alterar coluna para porcentagem do total.

9. Agora você pode alterar os títulos das colunas e o formato dos números para facilitar sua visualização. Por fim, sua tabela possuirá o seguinte formato.

Rótulos de Linha	Contagem de Salário	Soma de Salário2	Soma de Salário3
Financeiro	12	R\$ 28.154,00	26,72%
Logística	13	R\$ 34.814,00	33,05%
Qualidade	10	R\$ 23.875,00	22,66%
RH	8	R\$ 18.507,00	17,57%
Total Geral	43	R\$ 105.350,00	100,00%

Figura 42 - Tabela Dinâmica com os salários por setor.

Exercício 1.9.

1. Selecione toda a tabela Relatório de vendas – Plano de Saúde (inclusive o título).
2. Em inserir>Tabelas, Clique em **Tabela Dinâmica**.
3. Arraste “Vendedor” para Linhas, “Plano” para colunas, “Estado” para Filtros, “Valor vendido” para Valores e “Data” para Filtros. O resultado encontra-se na figura abaixo.

Estado		(Tudo)		
Meses		(Tudo)		
Soma de Valor Vendido	Rótulos de Coluna			
Rótulos de Linha	Bronze	Ouro	Prata	Total Geral
Alfredo	R\$ 35.535,00	R\$ 53.614,00	R\$ 37.853,00	R\$ 127.002,00
João	R\$ 28.363,00	R\$ 30.941,00	R\$ 20.551,00	R\$ 79.855,00
Joaquina	R\$ 27.573,00	R\$ 47.694,00	R\$ 32.075,00	R\$ 107.342,00
José	R\$ 34.476,00	R\$ 39.984,00	R\$ 32.264,00	R\$ 106.724,00
Maria	R\$ 24.218,00	R\$ 22.726,00	R\$ 35.965,00	R\$ 82.909,00
Total Geral	R\$ 150.165,00	R\$ 194.959,00	R\$ 158.708,00	R\$ 503.832,00

Figura 43 - Tabela dinâmica do exercício 1.9.

Exercício 1.10.

1. Abra a Pasta de Trabalho “Exercício 1.10”;
2. Entre na guia Desenvolvedor, no menu Código e escolha Gravar Macro;



Figura 44 - Interface do grupo código do Desenvolvedor.

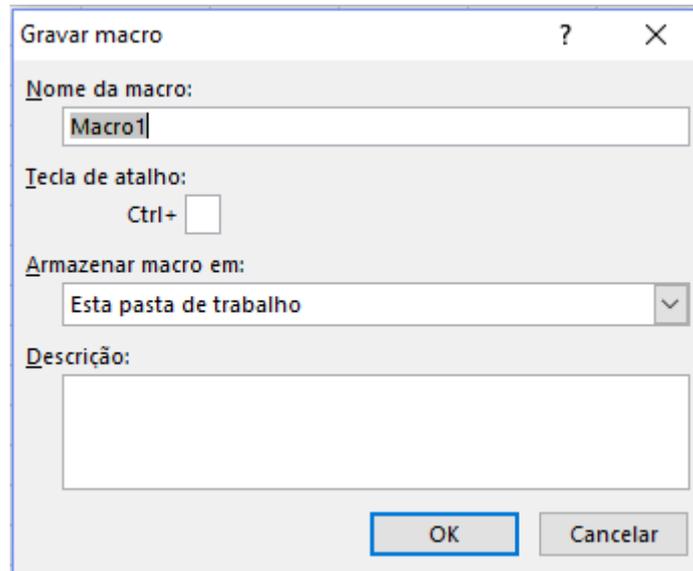


Figura 45 - Gravação da macro.

3. Esta tela serve para identificação da Macro que iremos criar;
- No campo **Nome da macro** devemos escrever um nome sem conter espaços vazios. Neste exemplo daremos o nome de *MinhaPrimeiraMacro*;
 - O campo **Tecla de atalho** serve para nomear um comando de atalho para execução da sua macro, neste campo digite i (minúscula);
 - O campo **Armazenar macro em** serve para indicar onde será armazenada a macro que está sendo criada:
 - **Pasta de trabalho pessoal de macros:** Você salvará a macro em seu computador e poderá usá-la em qualquer pasta de trabalho do Excel. A macro será gravada na pasta do Excel de nome Personal.xlsb;
 - **Nova pasta de trabalho:** A macro poderá ser usada em todas as novas pastas de trabalho criadas depois desta;
 - **Esta pasta de trabalho:** A macro só poderá ser utilizada nesta pasta de trabalho;

Selecione a opção “Esta pasta de trabalho”;

- O campo **Descrição** serve para em um breve parágrafo você identificar a utilidade da macro para caso alguém ou você mesmo que irá utilizá-la futuramente saiba seu funcionamento;

Escreva o seguinte: “Aprendendo a usar macro no Excel”.

- Em seguida clique em OK.

4. Agora faça exatamente o que for pedido pois tudo que fizer será gravado pela macro. Clique na célula **D7**. Escreva na célula que está selecionada: Esta macro serviu para me ensinar a gravar macros

Pressione a tecla Enter. Em seguida, pressione o botão **Parar gravação**.



Figura 46 - Botão "Parar gravação".

5. Agora vamos executar a macro que criamos. Apague o conteúdo da célula **D7** e selecione-a. Primeiro iremos utilizar a tecla de atalho que digitamos: Segure CTRL e pressione i. Apague novamente o conteúdo da célula **D7** e selecione-a. Se você esquecer qual foi o atalho que você criou para executar sua macro, vá ao menu Código

na guia Desenvolvedor e selecione Macros. Na janela que se abriu, selecione a macro *MinhaPrimeiraMacro* e clique no botão Executar.

- Clique novamente em **Macros**, selecione a macro *MinhaPrimeiraMacro* e clique em **Editar**. Essa é a tela do **Visual Basic**, a qual apresenta o código da macro que criamos. Além disso, nela podemos criar macros diretamente a partir de códigos, pois toda macro seja ela gerada pelo gravador ou escrita é um código, o qual é uma série de comandos que serão executados pelo Excel para atingir o objetivo pelo qual a macro foi gerada. Dessa maneira, o código gerado é o seguinte:

```

Sub MinhaPrimeiraMacro()
'
' MinhaPrimeiraMacro Macro
' Aprendendo a usar macro no Excel
'
' Atalho do teclado: Ctrl+i
Range("D7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Esta macro serviu para me ensinar a
Range("D8").Select
End Sub

```

Figura 47 - Código gerado pela macro.

Na primeira linha temos: **Sub MinhaPrimeiraMacro()**.

O termo **sub** indica o início de uma sub-rotina, no caso, de nossa macro e **MinhaPrimeiraMacro** é o nome desta macro. Nas demais linhas iniciadas com apóstrofe simples e em verde estão as características digitadas na tela de início da gravação da macro, tais como Nome, Descrição e Tecla de Atalho.

Nas demais linhas seguintes em preto temos o código da macro, o procedimento que será executado pelo Excel. Nossa primeira ação foi digitar “Esta macro serviu para me ensinar a gravar macros”, então foi gravado o seguinte código: `ActiveCell.FormulaR1C1 = " Esta macro serviu para me ensinar a gravar macros"`.

Um dos modos principais que o Visual Basic funciona é especificando um objeto e então uma **ação** a ser imposta ao objeto. É por isso que o *Visual Basic* é chamado de linguagem orientada ao objeto.

ActiveCell é um objeto, a célula ativa. O Excel precisa trabalhar com itens os quais ele conheça, ou seja, seus objetos, tais como Planilhas, Células, Pastas, etc. Então quando queremos efetuar uma ação precisamos definir em qual objeto ela será feita.

Em seguida está escrito **“.FormulaR1C1”** que refere-se ao conteúdo do objeto selecionado, que define a ação. Depois **“=”** seguido de **“Esta macro serviu para me ensinar a gravar macros”**, ou seja, estamos atribuindo um conteúdo ao objeto. Algumas ações requerem uma atribuição, por exemplo, definir o conteúdo de uma célula ou definir o valor de uma variável. Portanto, estamos atribuindo a frase ao conteúdo da célula ativa.

Na próxima linha temos: `Range("A2").Select` que foi referente ao Enter que teclamos após digitar a frase. **Range()** também é um objeto, que pode ser uma célula ou um intervalo de células. **“.Select”** é a ação a ser feita com o objeto. Então temos: Selecionar a Célula A2, que foi o que fizemos ao teclar Enter.

Obs: Perceba que o Excel entendeu o Enter por um comando de seleção da célula **D8** e não como ir para a célula abaixo da célula ativa, quando gravamos uma macro desta forma o Excel grava as referências das células e não o comando em si. No caso ele gravou a célula e não o comando ir para baixo, por assim dizer.

Por fim, o comando **End sub** indicará ao Excel que o código de sua macro acaba aqui.

- Agora clique em outra célula e execute a macro novamente. Perceba que independente da célula que você selecionar, ela sempre terminará selecionando a célula **D8**, como vimos no código da macro.
- Para fazer com que depois de escrever o conteúdo na célula o Excel selecione a célula diretamente abaixo da célula ativa vamos gravar outra macro.

9. Limpe a área de trabalho e clique no botão Gravar Macro.
10. Nome da Macro: **MinhaSegundaMacro**. Tecla de Atalho: **o** (minúsculo). Armazenar em: **“Esta pasta de trabalho”**.
11. Clique na opção Usar Referências Relativas, e note que ela fica selecionada, ou seja é uma opção que “liga e desliga”.
12. Escreva na **célula ativa**: “Esta macro utiliza Referência Relativa.”, em seguida, pressione **Enter**.
13. **Clique em Parar Gravação**.
14. Agora, vamos executar a segunda macro para ver a diferença. Perceba como essa macro adiciona um texto à célula ativa e depois seleciona a célula diretamente abaixo dela. Veremos adiante como essa ferramenta é útil.

Exercício 1.11.

1. Abra a pasta de trabalho **“Exercício – Controle Financeiro”**. Carlos preparou uma tabela simples para colocar a Entrada e Saída de dinheiro em sua conta, a data dessas movimentações e o saldo remanescente.
2. Vamos fazer uma macro que automatize o processo de colocar os dados na tabela e calcular o saldo final. Inicie a gravação. Outra forma de iniciar a gravação da macro é pelo botão situado na barra inferior do Excel.



Figura 48 - Botão para iniciar gravação de macros.

3. Agora vamos ordenar a célula da data (B7), para que Carlos não precise corrigi-la toda vez que quiser fazer um novo lançamento. Vamos utilizar uma função do Excel chamada **HOJE()**, para inserir uma função teclamos = e depois escrevemos o nome da função, enquanto você escreve o nome da função o Excel já disponibiliza para você todas as funções disponíveis que começam com aquelas iniciais. Para selecionar a função é só pressionar a tecla TAB. O Excel também disponibiliza uma breve descrição do que aquela função faz. A função **HOJE()** copia a data do seu computador na célula selecionada e a formata como data.

Data	Entrada	Saída	
=hoje			
<div style="border: 1px solid gray; padding: 2px;"> HOJE Retorna a data de hoje formatada como uma data </div>			
Data	Entrada	Saída	Saldo
10/01/2018			R\$ 1.500,00

Figura 49 - Inserção da função "Hoje".

4. Então podemos começar a gravar a macro. O **Nome da Macro** será **CalcularSaldo**, a **Tecla de Atalho** será **y** (minúsculo). **Armazenar macro**: nesta pasta de trabalho. **Descrição**: automatização do controle financeiro de Carlos.
5. Vamos começar selecionando as informações da primeira tabela, essa primeira tabela só serve para inserir os dados, depois de executada a macro irá transferir esses dados para a segunda tabela e a primeira ficará em branco para que a próxima movimentação seja inserida. Com as células **B7:D7 selecionadas** copiamos o conteúdo delas pressionando **Ctrl+C** e clicamos na célula **B9**.
6. Em seguida vamos no **friso Desenvolvedor**, e clicamos na opção **Usar Referências Relativas**, e repare que a opção ficou selecionada, ou seja é uma opção que “liga e desliga”. Pressione a **seta para baixo** novamente. Agora **segurando Ctrl** pressionamos a seta para baixo, note que agora você chegou a célula B10, e agora clique novamente na seta para baixo, chegando na célula B11. Esse comando fará com que o Excel percorra a coluna da célula ativa até encontrar a *última célula com conteúdo*. Se a célula selecionada estivesse vazia, o Excel iria percorrer a coluna até encontrar a *primeira célula com conteúdo*. Outra maneira de realizar esse comando é pressionar a tecla End e depois pressionar a direção na qual você deseja ir, no caso do exercício, para baixo.

A Ferramenta **Usar Referência Relativa** serve para o Excel não gravar a célula em si, mas sim os comandos que você usou, ou seja, ao invés de ele gravar *selecionar a célula B11*, quando apertou a seta para a baixo, ele gravará *selecionar a célula abaixo da célula ativa*.

7. Estando a célula **B11** selecionada vamos usar a opção do Excel **Colar Especial**, escolhendo a opção **Valores e Formatação de Número**. Dessa forma o Excel não vai copiar a fórmula **HOJE()** da Data, mas somente o valor da data, mantendo a formatação da célula em data.
8. Agora, com a opção Usar Referências Relativas ainda selecionada, pressionamos a tecla **seta para a direita três vezes**, deixando a célula **E11** como célula ativa. Podemos desativar a opção **Usar Referências Relativas**.
9. Agora, vamos fazer uma fórmula para calcular o saldo final, pressionamos a tecla = e selecionamos a célula do saldo anterior (**E10**), mais a entrada **C10** menos a saída de dinheiro (**D10**). Clicando Enter o Excel calcula o valor do saldo final.
10. Então, só falta limpar a primeira tabela. Selecionamos **C7:D7** e pressionamos a tecla Del para deletar seu conteúdo.
11. Agora que já realizamos o cálculo do saldo, vamos formatar a tabela para facilitar a sua visualização. Uma sugestão de formatação é:
 - a) Texto centralizado;
 - b) Formato dos valores em reais.
12. Selecione as células **C7** e **D7**, e no grupo Número, altere o Formato do número para “Moeda”.
13. Em seguida, vamos formatar a tabela do cálculo do saldo. Clique na célula **B12**, ligue a opção **Usar Referências Relativas** no grupo Código do friso Desenvolvedor, execute o comando **Ctrl+Seta para baixo**, para selecionar a célula de início do título.
14. Execute o comando **Ctrl+Shift+Seta para baixo** e, logo em seguida, **Ctrl+Shift+Seta para direita** para selecionar todas as células da tabela de saldo que possuem conteúdo.
15. Utilize as setas e o comando **Ctrl+Shift+Seta** para selecionar todo o conjunto de valores e coloque-os no formato de “Moeda”.
16. Clique em **Parar a gravação**.
17. Teste a sua macro utilizando novos valores para a entrada e a saída da conta bancária de Carlos.

Exercício 1.12.

Para o Sobrenome, escreveremos a função na célula **C7**. Para usar o PROCV, o “valor_procurado” será a célula contendo o nome da pessoa desejada, que para esse caso é a célula **B7** e a “matriz_tabela” será o conjunto de células com todos os dados (**G7:J31**). O “núm_índice_coluna” será o índice da coluna de onde queremos retirar a informação, então para o sobrenome será o valor 2. E como queremos o valor exato, o valor de “[procurar_intervalo]” será FALSO. Para o Celular e para o E-mail, basta substituir o “núm índice coluna”. Após escrever todas as funções, as informações aparecerão imediatamente nas células ao lado ao escrevermos o nome da pessoa na célula **B7**.

Exercício 1.13.

1. Selecione a célula **C8**, entre no friso de **DADOS**, selecione em **ferramenta de dados, validação de dados**.
2. Em permitir, escolha **Lista** e seleciona em fonte as células **B13:B24**. Dessa forma limitamos o usuário de inserir apenas dados válidos para a empresa.
3. Selecione a célula **F8** e escreva a fórmula de procura vertical **=PROCV(C8;B12:E24;4;FALSO)**.

4. Repita a passo 1 e 2, agora na célula **I8**, assim, limitamos o usuário de inserir apenas países válidos para a empresa.
5. Selecione a célula **L8** e escreva a fórmula de procura horizontal **=PROCH(I8;I13:L14;2;FALSO)**.
6. Selecione a célula **O8** e calcule o preço final do produto com a fórmula: **=F8+(F8*L8)**.

Exercício 1.14.

1. Abra a Pasta de Trabalho “Relatório da Gerência”.
2. Para facilitar as coisas, vamos dividir nosso procedimento em etapas. Primeira Etapa será montar o Layout do Relatório. Selecione a planilha **Relatório da Gerência**.
3. Clique no número **1** na linha 1 com o botão direito e selecione **altura da linha**. Digite **9** e tecla **Enter**.
4. Selecione o grupo de células **B2:K28** e clique com o botão direito sobre esta área e selecione **formatar células....**
5. Selecione a guia **Borda**, na tabela dos **Estilos**, selecione o penúltimo da coluna da esquerda, mude a cor para: Branco, Plano de fundo 1, Mais escuro 25%.
6. Clique em **Contorno** e clique em **OK** ou tecla **Enter**. Agora temos a base do nosso layout:

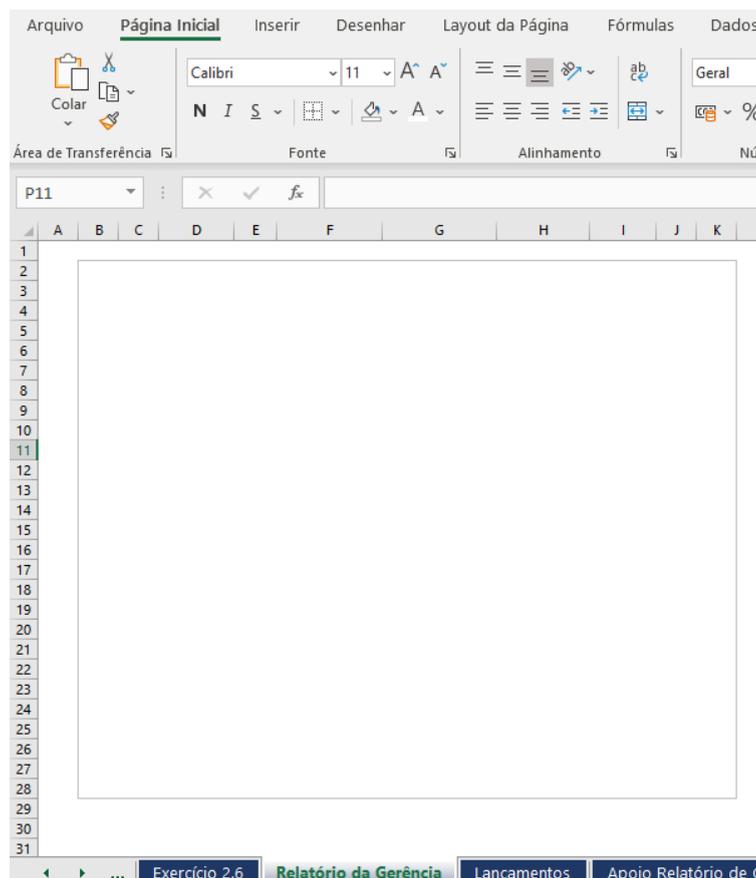


Figura 50 - Layout do Relatório.

7. Agora precisamos saber a largura da coluna do relatório, para isso selecione a planilha
8. **Lançamentos**.
9. Selecione o grupo de células de **B3:G3**. Tecla **Ctrl+C**.
10. Selecione a planilha **Relatório da Gerência**.

11. Selecione o grupo de células de **D3:I3**. Tecele **Ctrl+Alt+V**(Colar Especial).
12. Na tela do Colar Especial selecione a opção **Largura da Coluna** e Tecele **Enter**.

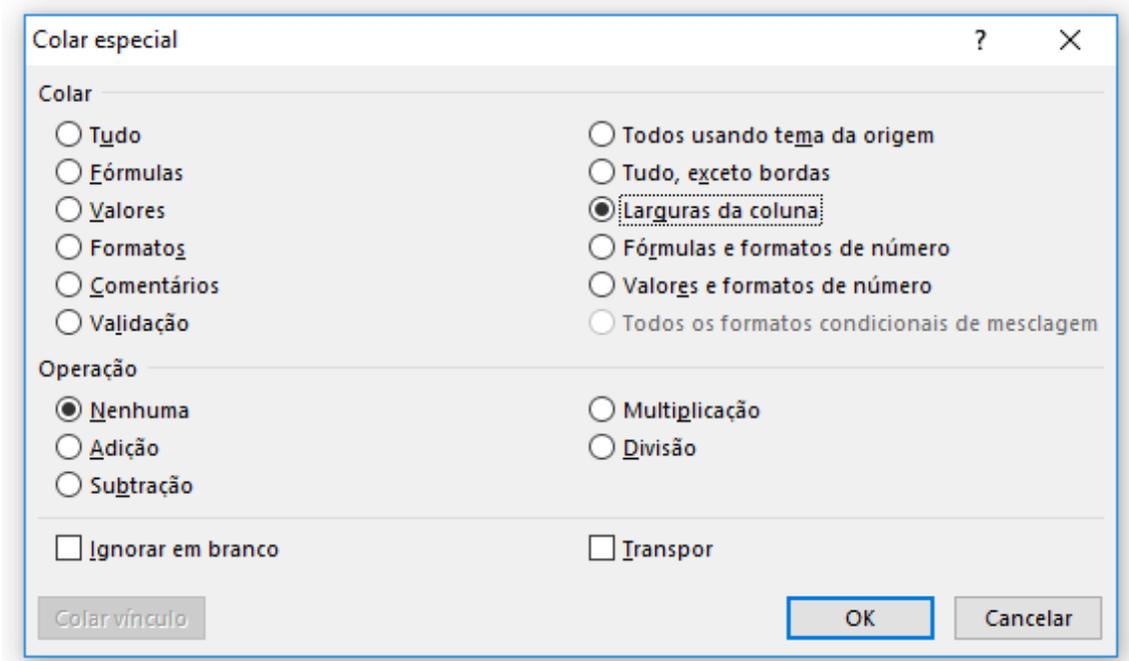


Figura 51 - Colar Especial.

13. Agora temos as larguras certas do relatório, só precisamos acertar as larguras laterais. Selecione as colunas **B** e **C**, pressione **Ctrl** e selecione as colunas **J** e **K**. Clique com o botão direito sobre uma destas quatro colunas e selecione **Largura da Coluna...** Digite **5** e Tecele **Enter**.
14. Vamos inserir o Título do Relatório, selecione as células **D3:I5** e mescle.
15. Digite **Relatório da Gerência**. Formate a fonte para **Cambria (Títulos)**, tamanho **28**, e cor do texto Branco e cor do fundo **Azul, Ênfase 1, Mais escuro 50%**.
16. Em seguida selecione o grupo de células **C17:J27**. Clique com o botão direito dentro da área selecionada e clique em **Formatar células...**
17. Selecione a guia **Borda**, na tabela dos **Estilos**, selecione o penúltimo da coluna da esquerda.
18. Clique na caixa da cor e selecione: Branco, Plano de fundo 1, mais escuro 25%, e em seguida clique em **Contorno**, depois clique em **OK** ou tecele **Enter**.

Até agora temos:

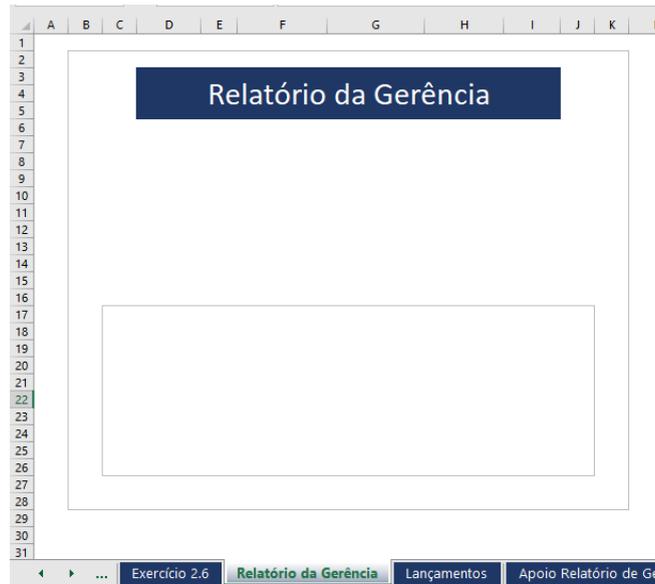


Figura 52 - Layout do Relatório - Parte 2.

19. Vá para o friso exibir, e selecione as linhas de grade.
20. Agora iremos para a Segunda Etapa do nosso procedimento, seleção de botões.
21. Os Botões se encontram na guia do desenvolvedor, no grupo Controles, em Inserir:

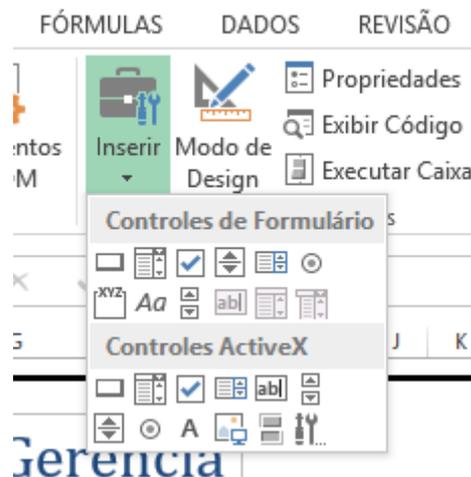


Figura 53 - Botões.

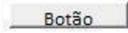
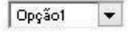
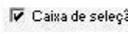
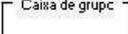
Ícone	Nome	Layout	Saída	Aplicação
	Botão			Ao clicar no botão ele executa uma macro.
	Caixa de Combinação		1	Lista suspensa, ao selecionar uma opção ele retorna o valor.
	Caixa de Seleção		VERDADEIRO	Indica se uma opção foi selecionada ou não, e retorna esse valor.
	Botão de Rotação		1	Defini-se um Limite Inferior e um Limite Superior e permite-se rolar entre eles dado um incremento pré definido.
	Caixa de Listagem		2	Lista opções, e retorna a opção selecionada.
	Botão de Opção		1	Indica se uma opção foi selecionada ou não, e retorna esse valor.
	Caixa de Grupo			Permite-se agrupar botões e usá-los em conjunto, por exemplo com botões de opção, onde somente um pode ser selecionado.
	Rótulo			Uma caixa de texto
	Barra de Rolagem		7	Defini-se um Limite Inferior e um Limite Superior e permite-se rolar entre eles dado um incremento pré definido.

Figura 54 - Descrição dos Botões.

22. Selecione uma **Caixa de Grupo**. Coloque-a na **região E7:F10**.
23. Clique com o botão direito em cima da Caixa e abra **Formatar controle**.
24. Em tamanho, escolha altura 1,50cm e largura 5cm.
25. Alinhe sua Caixa de grupo, para que ela fique rente às margens superior e esquerda da célula **D7**.
26. Dando dois cliques sobre o texto “Caixa de grupo 1”, troque o nome para “Turno:”. Clique fora da área da caixa e verifique a alteração.
27. Agora selecione uma Caixa de Combinação. Coloque-a no centro na Caixa de Grupo “Turno:”.
28. Selecione uma nova Caixa de Grupo. Coloque-a na região da metade da **G7** até **H10**.
29. Abra o Formatar controle, altere o tamanho da mesma forma que na Caixa de grupo anterior e alinhe a Caixa com as margens superior e direita da célula I7.
30. Troque o nome para “Pressão:”. Clique fora da área da caixa e verifique a alteração.
31. Selecione um Botão de Opção. Coloque-o dentro da segunda Caixa, posicionado na metade superior. Posteriormente será inserido outro botão metade inferior da mesma Caixa.
32. Troque o nome para “Normalidade”. Clique fora da área da caixa e verifique a alteração.
33. Selecione um novo Botão de Opção. Coloque-o dentro da caixa da pressão, na metade inferior da Caixa. Você pode mover os botões deixando-os alinhados.
34. Troque o nome para “Anômalo”. Clique fora da área da caixa e verifique a alteração.
35. Selecione uma nova Caixa de Grupo. Coloque-a na região **E12:F15**. Abra o Formatar controle e escolha o mesmo tamanho da primeira Caixa de grupo. Alinhe a Caixa rente às margens superior e esquerda da célula **D11**.
36. Troque o nome para “Temperatura:”. Clique fora da área da caixa e verifique a alteração.
37. Posicione dois Botões de Opção dentro da caixa da Temperatura. Um com o nome “Normalidade” e outro com o nome “Anômalo”.
38. Selecione a última Caixa de Grupo. Posicione-a na região na metade do **G12** até a **H15**. Abra novamente o Formatar controle, escolha o mesmo tamanho da primeira Caixa, feche e alinhe a Caixa com as margens superior e direita da célula **I11**.

39. Troque o nome para “Eficiência:”. Clique fora da área da caixa e verifique a alteração.
40. Posicione dois Botões de Opção dentro da caixa da Eficiência. Um com o nome “Normalidade” e outro com o nome “Anômalo”.
41. Até o momento você deve ter algo parecido com:

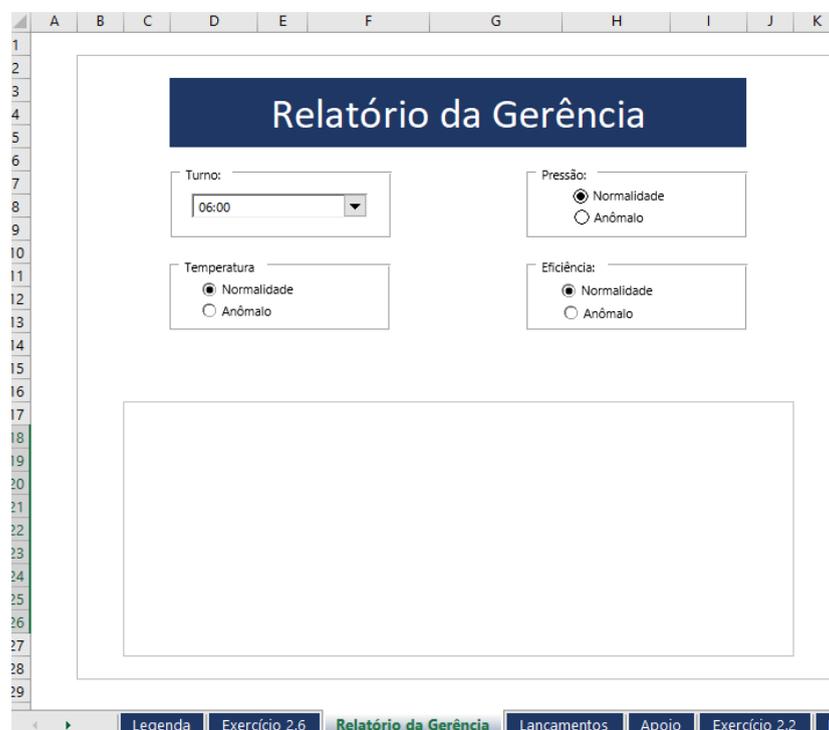


Figura 55 - Layout com Botões posicionados.

42. Assim terminamos a parte de posicionamento dos botões.
43. Agora iremos para a Terceira Etapa, configuração dos botões.
44. Primeiro Botão a ser configurado será a Caixa de Combinação do Turno. Esta caixa precisa de valores de entrada para serem mostrados na lista, para isso vamos selecionar os turnos existentes na planilha de Lançamentos.
45. Selecione a planilha **Lançamentos**.
46. Selecione a **coluna C** e **copie-a**.
47. Selecione a planilha **Apoio**.
48. Selecione a **coluna I** e **cole**.
49. Com a **coluna I** ainda selecionada, clique na guia Dados e seguida selecione **Remove Duplicatas** no grupo Ferramentas de Dados.
50. Clique em **OK**, e em seguida o Excel mostrará um aviso com a quantidade de itens que foram removidos e a quantidade de itens que foram mantidos, clique em **OK** novamente.
51. Agora nós temos os valores de entrada para o nosso botão.
52. Em seguida iremos montar uma tabela de apoio para o filtro.
53. Ainda na planilha Apoio, selecione o grupo de células **A1:E3**.
54. Clique com o botão direito e clique em **Formatar Células**.
55. Na guia **Borda**, Selecione a **borda fina** (última da coluna da direita) e selecione a cor: Branca, Plano de fundo 1, Mais escuro 25% e clique em **Interna** e em
56. **Contorno**. Clique em **OK**.

57. Selecione a planilha **Lançamentos**. Selecione as células **C3, E3, F3 e G3**. E **copie**.
58. Retorne a planilha **Apoio**. Selecione o grupo de células **A1:D1**. Tecla **Ctrl+Alt+V** e Selecione no grupo Colar a opção **Valores**. Clique em **OK**.
59. Selecione a célula **D1** e **copie** para a célula **E1**, selecione **D3:E3** e **Mescle** as células.
60. Selecione a planilha **Relatório da Gerência**.
61. Clique com o botão direito na **Caixa de Combinação** dentro do grupo “**Turno:**”, e selecione
62. **Formatar Controle**.

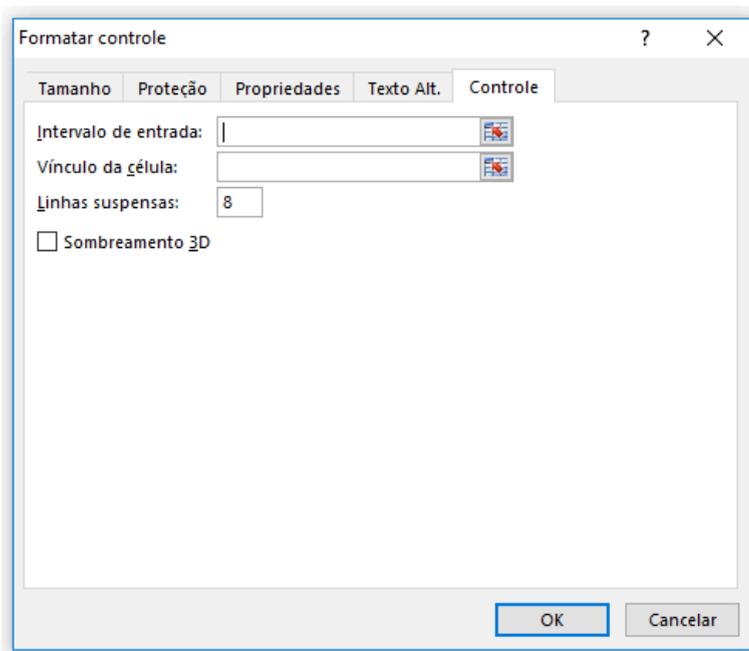


Figura 56 - Formatar Controle.

63. Clique na seta vermelha ao lado de **Intervalo de Entrada**.
64. Selecione a planilha **Apoio**.
65. Selecione o grupo de células **I3:I6** e tecla **Enter**.
66. Agora nós precisamos indicar onde será lançado o valor retornado pelo botão, ou seja, o valor que o usuário selecionou.
67. Clique na seta vermelha ao lado de **Vínculo da Célula**.
68. Selecione a planilha **Apoio**.
69. Selecione a Célula **A3** e tecla **Enter**.
70. A opção linhas suspensas indica a quantidade máxima de opções que podem aparecer, enquanto as demais ficaram escondidas e podem ser visualizadas pela barra de rolagem do botão.
71. A opção Sombreamento 3D é meramente estética, selecione-a.
72. Em seguida clique em **OK**.
73. Clique em outro local fora do botão para desmarcá-lo e use-o, verifique se nossa lista está aparecendo. Selecione a opção **00:00**.
74. Selecione a planilha **Apoio**.
75. Veja que temos um **1** na célula **A3**, este valor vem do retorno do botão. Os botões retornam valores que são contagens, por exemplo, temos opção A e opção B, se selecionarmos a opção A, ele retornará 1, se

selecionarmos a opção B, ele retornará 2. Porém para usarmos o filtro temos que ter o nome da opção e não a contagem, para isso usaremos uma função que transcreve a contagem para a opção selecionada.

76. Para usarmos esta função precisamos fazer algumas configurações:
77. Selecione o grupo de células **H3:H6** e coloque **bordas simples**. Altere o formato da célula para hora no campo número.
78. Selecione o grupo de células **H2:I2** e **mescle**.
79. Selecione **H3** e digite **1**, Selecione **H4** e digite **2**, Selecione **H5** e digite **3** e selecione **H6** e digite **4**.
80. Centralize os números.

Turno	
1	00:00
2	06:00
3	12:00
4	18:00

Figura 57 - Tabela Turnos.

81. Agora iremos escrever a função. Selecione a Célula **A2**.
82. Digite **=PROCV**(Esta fórmula é uma fórmula de procura, então, ela receberá um valor que deverá ser procurado **A3**; Este valor será procurado na primeira coluna de uma matriz **H3:I6**; Tendo encontrado o valor na matriz, ela retornará um valor correspondente de uma das colunas desta linha, no caso da coluna **2**. E tecla **Enter** para finalizar nossa função.

Então temos **=PROCV(Apoio!A3;Apoio!H3:I6;2)**, sendo Apoio! a definição da planilha onde se encontram as células selecionadas.

Sintaxe da Função:

PROCV(valor_procurado; matriz_tabela; núm_índice_coluna; [procurar_intervalo])

Figura 58 - Sintaxe Função PROCV.

83. Agora vamos configurar os demais botões.
84. Selecione a planilha **Relatório da Gerência**.
85. Clique com o botão direito no botão **Normalidade** do grupo **Pressão** e selecione Formatar Controle.
86. Temos uma tela parecida com a do botão de combinação, porém este não possui entrada de dados.
87. Clique na seta vermelha ao lado de **Vínculo da Célula**.
88. Selecione a planilha **Apoio**, selecione a Célula **B3** e tecla **Enter**.
89. Marque a opção **sombreamento 3D** e clique em **OK**.
90. Agora clique com o botão direito no botão **Anômalo** ainda do grupo **Pressão** e selecione Formatar Controle.
91. Perceba que o **Vínculo da Célula** já está preenchido, pois ambos os botões estão na mesma **Caixa de Grupo**, então compartilham das mesmas configurações, no entanto o **sombreamento 3D** não vem marcado, então selecione-o e clique em **OK**.
92. Repita o mesmo procedimento para **Temperatura**, porém no **Vínculo de Célula** selecione **Apoio!C3**, e para **Eficiência**, selecione **Apoio!D3**.
94. Ainda na planilha Relatório da Gerência, selecione todas as opções **Normalidade**.

95. Selecione a planilha **Apoio**.
96. Agora temos que criar as funções para Pressão, Temperatura e Eficiência.
97. Selecione a Célula **B2**.
98. Agora tente pensar em como podemos fazer essa função. Dica: Use a função SE.
99. Digite =SE(B3=1;20;"<>20").

Sintaxe da função:

SE(teste_lógico; [valor_se_verdadeiro]; [valor_se_falso])

Figura 59 - Sintaxe da Função SE.

100. Fazemos um teste lógico, B3=1, ou seja, se a opção marcada foi Normalidade. Se verdadeiro, retorna o valor 20, pressão na normalidade, se falso, retorna <>20 (Diferente de 20). Perceba que o número nós podemos digitar normal, já número com operadores temos que colocar entre aspas.
101. Obs: Dados no início do Exercício.
102. Agora façamos para a temperatura. Selecione **C2**.
103. Tente montar a função, sozinho, primeiro.
104. **95.** Digite =SE(C3=1;300;"<>300").
105. Mesmo processo, fazemos um teste lógico, C3=1, ou seja, se a opção marcada também foi Normalidade. Se verdadeiro, retorna o valor 300, temperatura na normalidade, se falso, retorna
106. <>300 (Diferente de 300).
107. Por fim vamos fazer a função para a eficiência, no entanto esta é um pouco diferente pois sua normalidade é um conjunto de valores entre 84% e 85%, por isso teremos que fazer duas funções, uma para o limite superior e uma para o limite inferior. Novamente, tente pensar na função.
108. Selecione a Célula **D2**.
109. 99. Digite =SE(D3=1;">=84%";"<84%").
110. 100. Selecione a Célula **E2**.
111. 101. Digite =SE(D3=1;"<=85%";">85%").
112. Agora já temos nosso filtro configurado, e ao alterar os botões ele altera automaticamente as configurações do filtro.
113. Agora vamos criar nossa macro que fará uma pesquisa automática.
114. Selecione a planilha **Apoio**.
115. Clique em **gravar macro**.
116. **Nome da Macro:** RelatóriodaGerência
117. **Tecla de Atalho:** R (maiúsculo), ou seja, Ctrl+Shift+R.
118. **Armazenar macro em:** Esta pasta de trabalho.
119. **Descrição:** Macro de busca automática do Relatório da Gerência.
120. Clique em **OK**.
121. Selecione a planilha **Relatório da Gerência**.
122. Selecione a guia **Dados** e selecione Avançado no grupo Classificar e Filtrar:

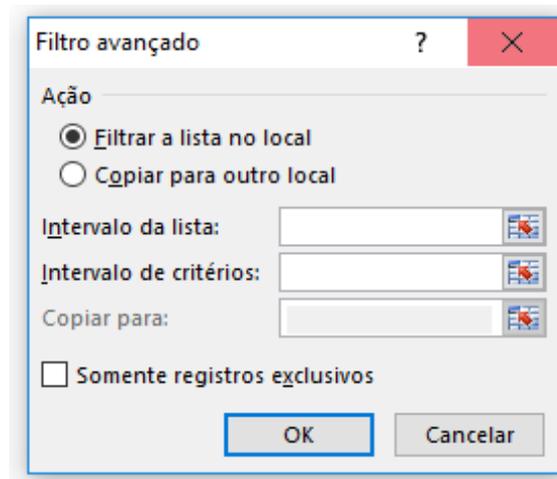


Figura 60 - Filtro Avançado.

123. Marque a opção Copiar para outro local.
124. Clique na seta vermelha ao lado de Intervalo da lista.
125. Selecione a planilha Lançamentos, selecione o grupo de células B3:G63 e tecle Enter.
126. Clique na seta vermelha ao lado de Intervalo de Critérios.
127. Selecione a planilha Apoio, selecione o grupo de células A1:E2 e tecle Enter.
128. Agora clique na seta vermelha ao lado de Copiar para.
129. Selecione o grupo de células D18:I26 (Desta própria planilha – Relatório da Gerência) e tecle Enter.
130. Clique em OK.
131. Clique em Parar gravação.
132. Agora para finalizar nosso relatório vamos criar um botão. Clique na guia do Desenvolvedor, Inserir e selecione o Botão (o primeiro).
133. Posicione-o na região I14:J16.
134. Ao soltar o botão aparecerá a seguinte tela:

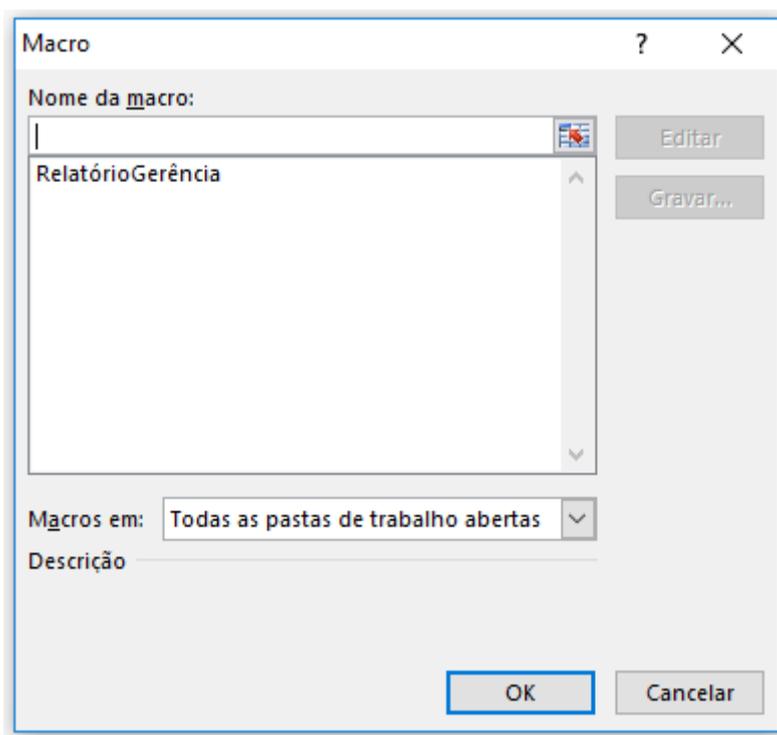


Figura 61 - Macro do Botão.

135. Selecione a macro **Relatório da Gerência** e clique em **OK**.
136. Altere o nome do Botão para **Procurar**.
137. Finalizamos nosso Relatório, faça alguns testes e verifique o relatório. Não se esqueça de ir em macros e ver o código gerado pela macro que gravamos para associar os comandos aos códigos.

Exercício 1.15.

1. Selecione a célula C5 e em clique dados>ferramenta de dados>validação de dados
2. Em permitir, escolha lista e selecione o intervalo de produtos da planilha “Exercício 1.15 Preço”. Desta forma o usuário será limitado a escolher produtos da loja de Ana.
3. Selecione a célula C7 e digite a fórmula que fará a procura do preço do produto desejado. Aqui vamos também utilizar a fórmula “Se erro”, pois quando o usuário não tiver digitado o produto, a célula não retornará um aviso sobre erro. A fórmula se erro entra com o teste lógico primeiro e depois pede para o usuário informar qual será o aviso caso o erro do teste ocorra. Sendo assim, escreva na célula: **=SEERRO(PROCV(C5;'Exercício 1.15 Preço'!A1:B267;2;FALSO);"").** (Os "" significam que a célula retornará um vazio).
4. Para o cálculo do preço total da venda, vamos multiplicar o valor da célula C6 pela C7. Aqui novamente vamos utilizar a fórmula se erro, para evitar avisos desnecessários quando o usuário não tiver digitado nenhum produto. A fórmula fica da seguinte maneira: **=SEERRO(C6*C7;"").**
5. Agora, para a criação da macro vamos em desenvolvedor, gravar macros.
6. Escolha o nome como “CadastroVendas” e a letra V como atalho, clique em OK.
7. Selecione as células C4:C8 e copie as vá para a planilha de “Pedidos”.
8. Já na planilha pedidos, clique na célula A1.
9. Selecione Ctrl e seta para baixo.
10. Clique em “usar referências relativas”.

11. Pressione a seta para baixo mais uma vez e clique com o botão direito do mouse na célula A10. Selecione Colar especial.
12. Na nova janela que foi aberta, selecione somente valores e transporte. Aperte o OK.
13. Clique novamente em “usar referências relativas” para desligar o botão.
14. Clique em uma célula qualquer e volte para a planilha “Cadastrar”.
15. Limpe as células C4:C6.
16. Clique novamente na célula C4 e pare a gravação.
17. No friso desenvolvedor, em controles, inserir, escolha um “botão (controle de formulário)” e o coloque na região das células E5 E F5
18. Mude seu nome para cadastrar.
19. Atribua a macro criada para este botão.

Teste o botão para se certificar que a macro funciona.

Exercício 1.16.

Para resolver tal problema, o comerciante utilizou o atingir meta em sua planilha de preços.

	A	B	C	D	E
1					
10		Produto	Valor inicial	Desconto	Preço Final
11		Caloi 10	\$1.250,00	10,00%	\$1.125,00
12		Monark 1	\$600,00	7,00%	\$558,00
13		Prince v12	\$350,00	15,00%	\$297,50
14		Specialized Sport	\$3.499,00	6,00%	\$3.289,06

Figura 62 - Planilha de descontos.

Figura 63 - Formulário atingir meta para desconto.

O comerciante terá que fornecer um desconto de 28% aos seus clientes. Conforme a relação a seguir:

	A	B	C	D	E
1					
10		Produto	Valor inicial	Desconto	Preço Final
11		Caloi 10	\$1.250,00	28,00%	\$900,00
12		Monark 1	\$600,00	7,00%	\$558,00
13		Prince v12	\$350,00	15,00%	\$297,50
14		Specialized Sport	\$3.499,00	6,00%	\$3.289,06

Figura 64 - Formulário final dos preços.

Exercício 1.17.

Construa um gráfico contendo as duas funções. Para isso, faça uma tabela com três colunas: uma contendo os valores de x , outra contendo os valores de f_1 e a terceira, os valores de f_2 . Utilize um domínio de x entre 0,75 e 12, com um passo de 0,25. Plote o gráfico e perceba em quais intervalos acontecem as interseções.

A face do gráfico é a seguinte:

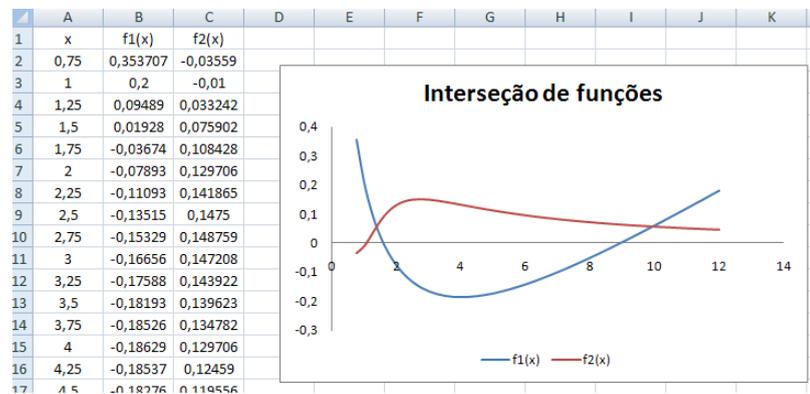


Figura 65 - Gráfico das funções f_1 e f_2 .

1. Construir uma tabela como a seguinte:

	A	B	C	D	E
1					
2					
3		x	f1	f2	f3
4		1,00			
5		10,00			

Figura 66 - Estimativa das interações entre duas funções.

2. Nomear **B4** como **xMenor** e **B5** como **xMaior**;
3. Nomear **C4** como **f1Menor** e **C5** como **f1Maior**;
4. Nomear **D4** como **f2Menor** e **D5** como **f2Maior**;
5. Nomear **E4** como **f3Menor** e **E5** como **f3Maior**;
6. Introduzir a fórmula “=RAIZ(xMenor)-LN(xMenor)-0,8” em **C4**;
7. Introduzir a fórmula “=RAIZ(xMaior)-LN(xMaior)-0,8” em **C5**;
8. Introduzir a fórmula “=0,03*xMenor^(5/xMenor)-0,04” em **D4**;
9. Introduzir a fórmula “=0,03*xMaior^(5/xMaior)-0,04” em **D5**;

10. Introduzir a fórmula “=f2Menor-f1Menor” em E4;
11. Introduzir a fórmula “=f2Maior-f1Maior” em E5;
12. **Ferramentas > Atingir Meta** para f3Menor e depois para f3Maior:

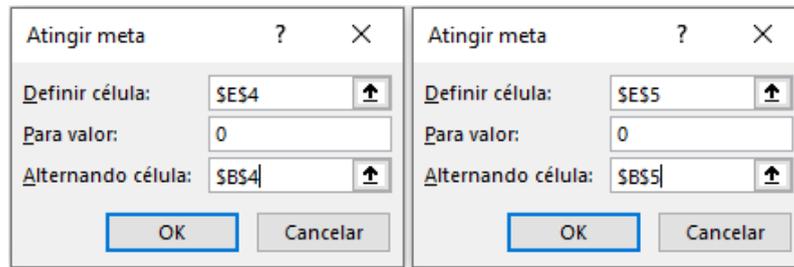


Figura 67 - Atingir meta f3Menor e f3Maior.

13. Resultarão os valores $x = 1,37$ e $x = 9,92$.

CAPÍTULO 2

2. BALANÇO DE MASSA COM RECICLO, BYPASS OU PURGA

2.1. REVISÃO DE CONCEITOS DE QUÍMICA

Antes de seguir, é importante revisar alguns conceitos de reação química.

CONCEITO	DEFINIÇÃO
Reagente limitante	Reagente em menor quantidade estequiométrica, ou seja, que tende a ser consumido por completo em primeiro lugar. É o que limitará a conversão da reação química. Por isso, as propriedades da reação são expressas em relação ao reagente limitante.
Reagente em excesso	É o reagente que está presente em excesso em relação à quantidade equivalente estequiométrica do reagente limitante.

Tabela 9 - Conceitos de reagente limitante e em excesso.

CONCEITO	DEFINIÇÃO	EQUACIONAMENTO
Conversão	É a fração do reagente limitante consumida e convertida em produtos, calculada pelo quociente entre o número de mols do reagente limitante que reage sobre o número de mols total do reagente limitante.	$X_A = \frac{n_{A \text{ que reage}}}{n_{A \text{ total}}}$
Seletividade	Na literatura há diferentes definições de seletividade. Em termos práticos, essa propriedade expressa a preferência da conversão dos reagentes pela reação principal, ou seja, a de interesse no processo.	$S = \frac{n_{A \text{ principal}}}{n_{A \text{ conv. total}}}$
Rendimento	Também há diferentes definições de rendimento na literatura. Neste curso, será definido como a fração de reagente limitante que se transformou efetivamente no produto desejado.	$\eta = X_A \cdot S$
Excesso	É a quantidade de reagente alimentada, além da quantidade estequiométrica. Faz referência a parte de reagente que não reage.	$E_A = \frac{n_{A \text{ alimentada}}}{n_{A \text{ estequiométrica}}} - 1$

Tabela 10 - Conceitos de conversão, seletividade, rendimento e excesso.

2.2. RECICLO, PURGA E BYPASS

2.2.1. Reciclo – Retorno para o processo

Reciclar é reaproveitar qualquer material, recuperando-o todo ou parcialmente. É raro que uma reação química $A \rightarrow B$ seja completada em um reator. Não importa quão pouco A está presente na alimentação ou quanto tempo a mistura permaneça no reator, alguma quantidade de A é normalmente encontrada no produto.

Lamentavelmente, você tem que pagar por todos os reagentes que entram no processo, não apenas pela fração que reage, e qualquer A que deixe o processo representa recursos desperdiçados. Suponha, no entanto, que você pode achar uma maneira de separar a maior parte ou todo o reagente não consumido da corrente dos produtos. Você pode então vender o produto relativamente puro e reciclar os reagentes não consumidos de volta para o reator. Os equipamentos de separação e reciclo continuarão compondo o custo, mas ele pode ser compensado pela compra de menos reagente e a venda de um produto mais puro com maior valor agregado.

Um fluxograma rotulado de um processo químico envolvendo reação, separação dos produtos e reciclo aparece abaixo. Note a distinção entre a alimentação virgem do processo e a alimentação do reator, que é a soma da alimentação virgem e da corrente de reciclo.

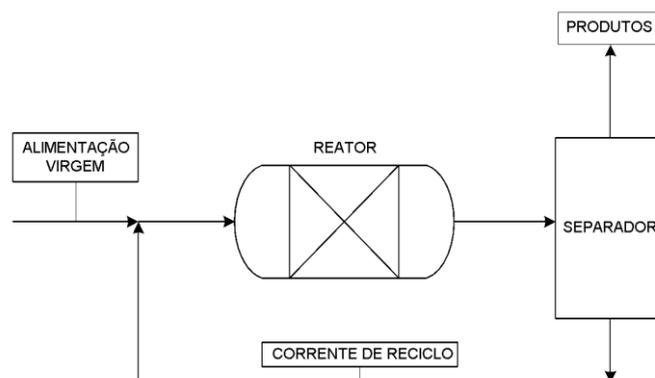


Figura 71 - Reciclo.

De forma geral, uma corrente de reciclo retorna uma parte ou o todo da massa de um ponto no processo para uma etapa anterior, por onde a mesma massa já tenha passado. É possível que o reciclo tenha origem tanto em um divisor de correntes como em um equipamento separador. Não há acréscimo ou perda de massa dentro do processo ou na corrente de reciclo.

Além do exemplo apresentado acima, há muitos outros processos industriais que utilizam o reciclo, tais como:

- Recuperação de catalisadores de reação;
- Em operações de secagem, em que a umidade do ar é controlada pela recirculação de parte do ar úmido que deixa o secador;
- Em colunas de fracionamento, no refluxo do destilado para a coluna a fim de manter a quantidade de líquido no seu interior;
- Circuitos de água de resfriamento em alguns processos.

2.2.2. Bypass/Desvio – Pulando etapa

Bypass é uma palavra inglesa que significa *desvio*. Uma corrente de *bypass* é caracterizada por um desvio do processo, em que a corrente em questão pula uma ou mais etapas, voltando a integrar o processo em um estágio mais avançado. Observe o esquema:

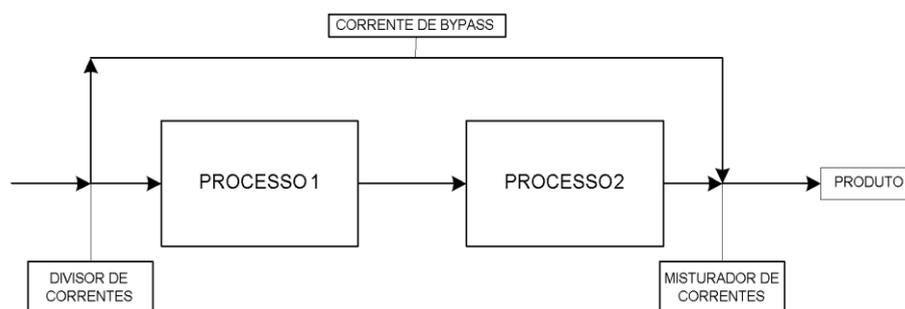


Figura 72 - Bypass/Desvio.

As correntes de *bypass* sempre são originadas em um divisor de correntes e terminam em um misturador.

A corrente de *bypass* é utilizada, principalmente, no controle da composição da corrente final do processo, ou ainda, é comum o *bypass* em um só equipamento, com o valor da vazão sendo manipulado para manter as condições de saída desejada. Além de controle de composição, também é usada no controle de temperatura. Se num processo

de aquecimento de um tanque encamisado for utilizado um líquido de determinada temperatura e vazão, uma válvula de controle pode ser usada para manipular a fração dessa vazão que será destinada ao aquecimento do tanque e o restante retorna para ser reaquecida e utilizada novamente para o aquecimento.

2.2.3. Purga – Descarte do processo

Em alguns processos pode haver formação de produtos inertes ou indesejáveis, que poderiam ocasionar um acúmulo prejudicial caso mantidos no processo; é necessário, portanto, removê-los. Para isso utilizamos a corrente de purga, que retira do processo os produtos indesejáveis e os descarta. Esta corrente pode ser utilizada juntamente com a corrente de reciclo, como no exemplo abaixo:

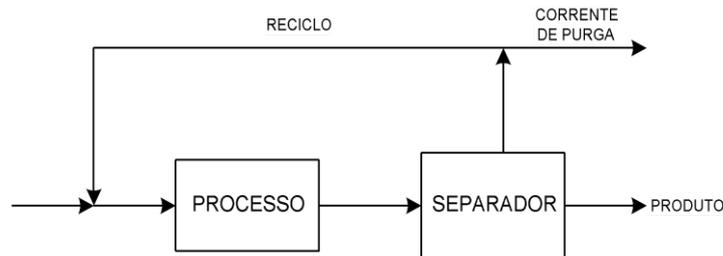
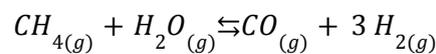


Figura 73 - Purga e reciclo.

2.3. EXERCÍCIOS

Exercício 2.1. Encontre o valor da conversão para a reação abaixo, que será processada em um reator fechado a 500 °C e 1 bar, sabendo que a alimentação de água é realizada na proporção 2:1 em relação ao metano. Qual seria a pressão necessária para aumentar a conversão em 25%?



Dado: $K_{eq}(500\text{ °C}) = 0,9999\text{ bar}^2$

Exercício 2.2. Em uma indústria deseja-se produzir metanol/água contendo 52% em massa de metanol. Para isso, 1000 kg/h de uma solução contendo 20% em massa de metanol são alimentados a uma coluna de destilação. O produto de fundo contém 7% em massa de metanol. Calcule o reciclo sabendo-se que a razão entre o reciclo e a corrente 3 é 2.

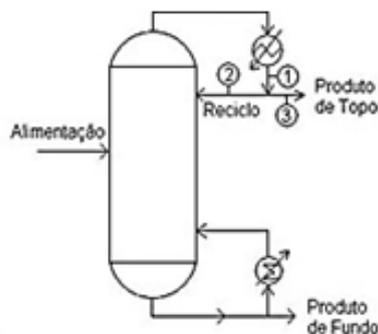


Figura 74 - Coluna de destilação do exercício 2.2.

Exercício 2.3. Uma câmara de secagem deverá ser alimentada com ar com umidade de 4 g de água/kg de ar seco. Para isso o ar ambiente com 15 g de água/kg de ar seco é alimentado a um secador que retira a água por

condensação até uma umidade de 1 g de água/kg de ar seco. Um bypass permite que se regule a umidade final do ar para o valor desejado. Determine o bypass para que se obtenha 500 kg/h de ar nas condições desejadas.

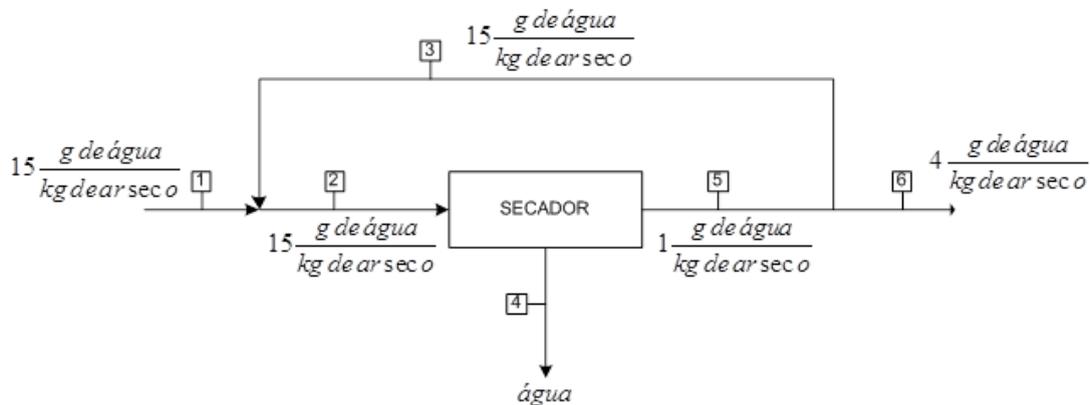
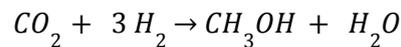


Figura 75 - Diagrama do exercício 2.3.

Exercício 2.4. Metanol pode ser produzido pela reação entre dióxido de carbono e hidrogênio:



A alimentação virgem contém hidrogênio, dióxido de carbono e 0,4% molar de inertes. O efluente do reator passa por um condensador, que retira essencialmente todo o metanol e a água formados e nenhum dos reagentes ou inertes. Estas substâncias são recicladas para o reator. Para evitar o acúmulo de inertes no sistema, uma corrente de purga é retirada do reciclo. A alimentação do reator possui 20 kmol/h de inertes. A conversão do CO₂ é de 80% e o excesso de H₂ é de 10%. Calcule as vazões e as composições molares da alimentação virgem, a alimentação total do reator, a corrente de reciclo e a corrente de purga para uma produção de 200 kmol/h de metanol.

Considere que na purga temos apenas inertes, e a porcentagem de inertes que saem na purga é desconhecida.

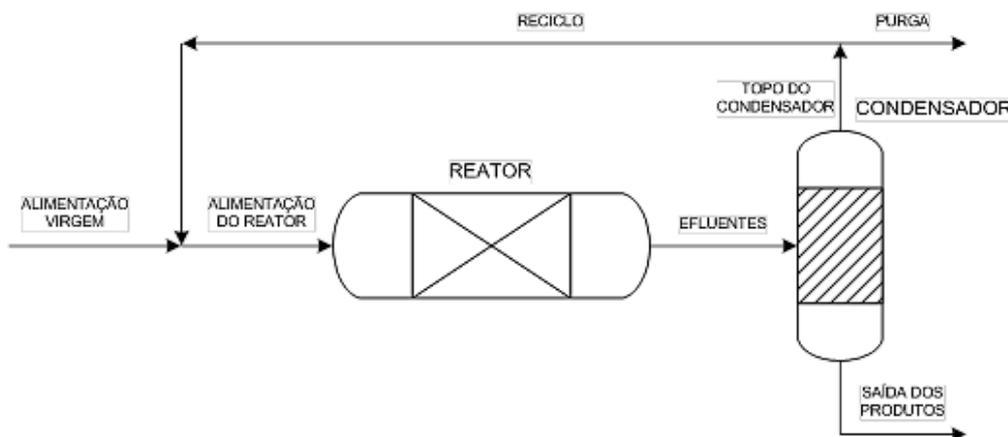


Figura 76 - Fluxograma do exercício 2.4.

Exercício 2.5. A corrente 01(C-01) composta de 60% molar de benzeno e 40% molar de tolueno entra na coluna de destilação 01 (D-01) que tem como objetivo separar esses dois compostos. A recuperação do benzeno na corrente de topo da coluna de destilação é de 96% e a corrente de fundo é 94% molar de tolueno. Então, a corrente de fundo (C-03) segue para o reator (R-01) que também é alimentado pela corrente 04 (C-04), a qual é composta de hidrogênio. No reator (R-01) ocorre a reação descrita a seguir, cuja finalidade é converter o tolueno em benzeno por meio de uma reação de hidrodesalquilação. Na reação mencionada, o hidrogênio está com 40% de excesso. A corrente efluente do reator segue para o vaso de separação (V-01) cuja eficiência é de 100%, ou seja, todo metano e hidrogênio são separados dos compostos aromáticos presentes na corrente

efluente do reator (R-01). Os compostos aromáticos saem pela corrente de fundo do vaso de separação e são encaminhados para a coluna de destilação 02 (D-02). Nessa coluna de destilação, 99% do benzeno é recuperado na corrente de topo e a corrente de fundo é 95% molar de tolueno. Com base nas informações mencionadas, desenvolva o balanço material na planta para uma alimentação de 400 kmol/h na coluna de destilação 01 sabendo-se que a corrente de topo da destiladora 02 (D-02) é composta de 96% de benzeno.

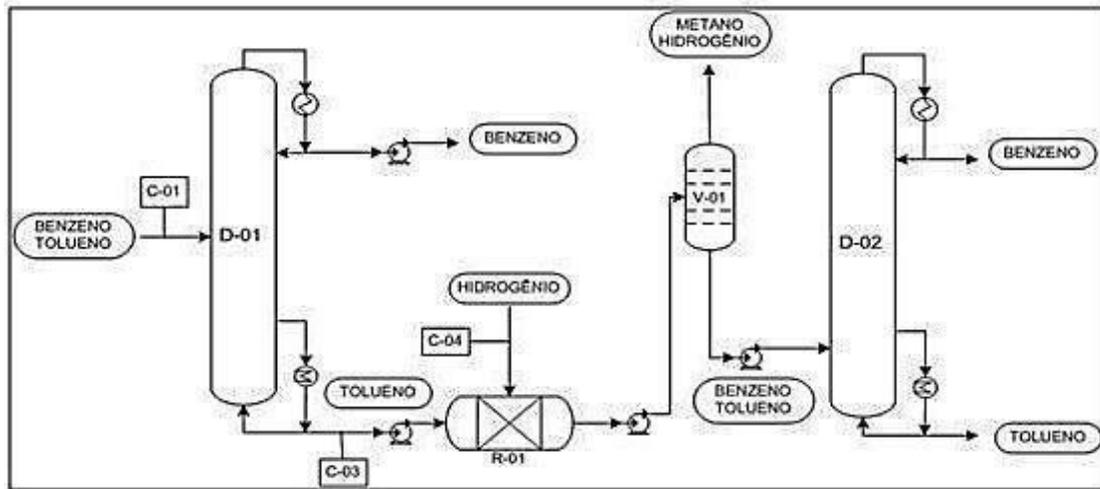


Figura 77 - Fluxograma do exercício 2.5.

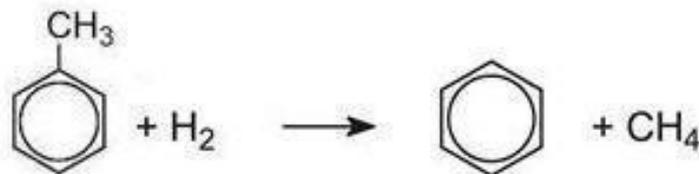


Figura 78 - Reação Química da Obtenção de Benzeno e Metano.

Exercício 2.6. A água do mar é dessalinizada por osmose reversa usando o esquema indicado na figura abaixo. Use os dados fornecidos na figura para determinar a vazão do reciclo de salmoura que sai da corrente efluente da célula de osmose (que atua essencialmente como um separador).

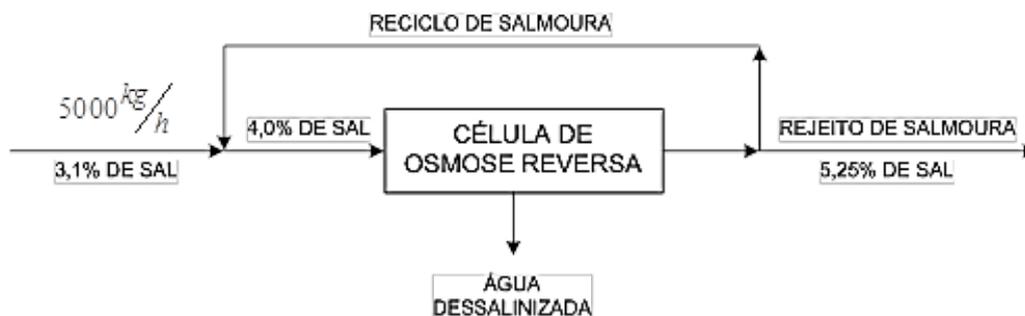
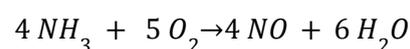


Figura 79 - Diagrama o exercício 2.6.

Exercício 2.7. Numa tentativa de gerar NO de modo econômico, NH₃ é oxidada com 20% de excesso de O₂ e com conversão de 70% da amônia alimentada:



A corrente efluente do reator é enviada a uma coluna de separação para separar a amônia que não reagiu, a qual é reciclada para o reator. Desenvolva o balanço material para uma alimentação de 100 kmol/h de amônia no reator.

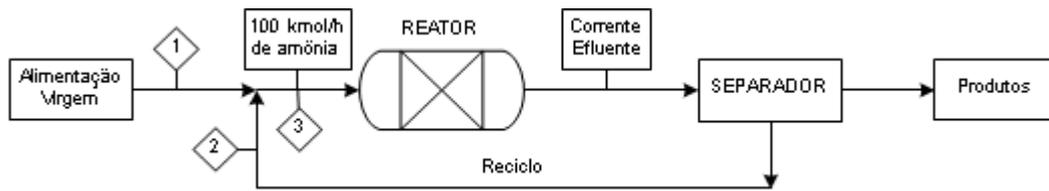


Figura 80 - Fluxograma do exercício 2.7.

Exercício 2.8. Propõe-se produzir óxido de etileno (C_2H_4O) por oxidação do etileno (C_2H_4).

A razão ar/C_2H_4 na carga bruta de alimentação do reator é de 10 para 1, e a conversão de C_2H_4 é de 18%. O etano que não reagiu é separado dos produtos que saem do reator e é reciclado conforme mostrado na figura abaixo. Desenvolva o balanço material na planta para uma alimentação de 250 kmol/h de etano no reator.

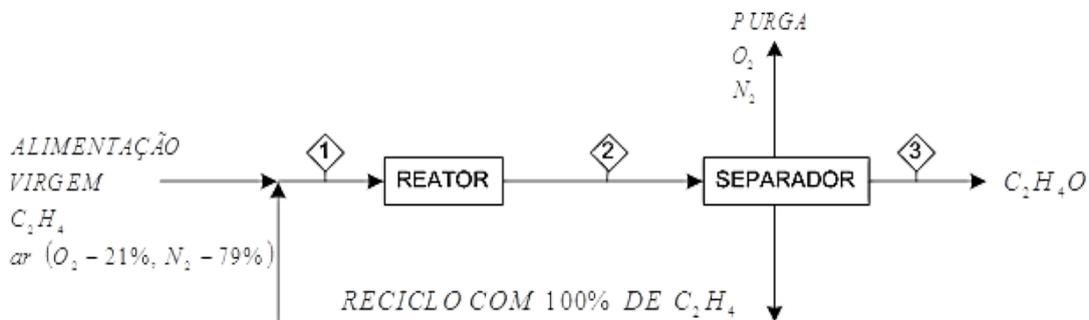


Figura 81 - Diagrama do exercício 2.8.

2.4. RESPOSTAS

Exercício 2.1.

1. Primeiramente, deve-se entender que esse é um problema que envolve equilíbrio químico, portanto o equacionamento será realizado em função da conversão (X_A):

$$K_{eq} = \frac{(y_{H_2})^3 \cdot (y_{CO})}{y_{CH_4} \cdot y_{H_2O}} \cdot P^2 = \frac{(3 \cdot X_A)^3 \cdot (X_A) \cdot P^2}{(1 - X_A) \cdot (2 - X_A) \cdot (3 + 2 \cdot X_A)^2}$$

2. Essa equação pode ser resolvida de maneira muito simples utilizando a ferramenta atingir metas. Para isso, faça uma tabela com os dados que possui:

	A	B	C	D	E
1		K (500 °C)=		0,9999	
2		P (bar)	Xa	Resultado	
3		1,0000			
4					
5					
6					

Figura 82 – Tabela com os dados do problema.

3. Como não conhecemos o valor de X_A , podemos chutar um valor inicial e inserir a fórmula do equilíbrio na célula Resultado:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	K (500°C)		0,9999						
2	P (bar)	Xa	Resultado						
3	1,0000	0,1	0,0002014						

Figura 83 - Estimativa de conversão.

4. Com isso, podemos usar o at atingir metas (Dados > Teste de Hipóteses > Atingir Meta) para que a célula de resultado tenha valor numérico igual ao da constante de equilíbrio.

Figura 84 - Atingir meta para a conversão.

5. Resultará o valor $X_A = 0,7170$.
6. Agora, queremos aumentar a conversão em 25% e desejamos saber a pressão, por isso definimos nossa conversão como $X_A = 0,07170 * 1,25$.
7. Assim, usamos o at atingir metas (Dados > Teste de Hipóteses > Atingir Meta) para que a célula de resultado tenha valor numérico igual ao da constante de equilíbrio alterando a célula da pressão.

Figura 85 - Atingir meta para pressão.

8. Resultará o valor $P = 0,3884$ bar.

Entretanto, ressalta-se a importância de um chute inicial apropriado, pois ao iniciar uma conversão maior que 1 para o exercício proposto, o recurso de cálculo iterativo não retorna valor viável (tente $X_A = 1,9$).

Exercício 2.2.

Dados	
Alimentação da Destiladora (kg/h)	1000
Razão de refluxo	2
Fração mássica da produção de metanol	0,52
Fração mássica da alimentação de metanol	0,2
Fração mássica de metanol no fundo	0,07

Desvio de correntes						
kg/h	A		Reciclo		F2	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	416,00	0,48	277,33	0,48	138,67	0,48
Metanol	450,67	0,52	300,44	0,52	150,22	0,52
TOTAL	866,67	1,00	577,78	1,00	288,89	1,00

Balanço Global da Destiladora						
kg/h	F1		F2		F3	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	800,00	0,80	138,67	0,48	661,33	0,93
Metanol	200,00	0,20	150,22	0,52	49,78	0,07
TOTAL	1000,00	1,00	288,89	1,00	711,11	1,00

Exercício 2.3.

Dados		
Corrente	g de água / kg de ar	Fração
F1	15	0,015
F2	15	0,015
B - Bypass	15	0,015
F5	1	0,001
F6	4	0,004

Misturador de Correntes						
Kg/h	F5		Bypass		F6	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	0,39	0,001	1,61	0,015	2,00	0,004
Ar seco	392,43	0,999	105,57	0,985	498,00	0,996
TOTAL	392,82	1,000	107,18	1,000	500,00	1,000

Secador						
kg/h	F2		F4		F5	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	5,98	0,015	5,58	1,000	0,39	0,001
Ar seco	392,43	0,985	0	0,000	392,43	0,999
TOTAL	398,41	1,000	5,58	1,000	392,82	1,000

Exercício 2.4.

Dados	
Inertes	0,004
Conversão	0,8
Excesso	0,1

Reator - Balanço Molar				
kmol/h	CO2	H2	CH3OH	H2O
Coefficiente	1	3	1	1
Entra	250,00	825,00	0,00	0,00
Reage	200,00	600,00	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	200,00	200,00
Sai	50,00	225,00	200,00	200,00

Condensador						
kmol/h	F3		F4		F5	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
CO2	50,00	0,07	0,00	0,00	50,00	0,17
H2	225,00	0,32	0,00	0,00	225,00	0,76
CH3OH	200,00	0,29	200,00	0,50	0,00	0,00
H2O	200,00	0,29	200,00	0,50	0,00	0,00
Inertes	20,00	0,03	0,00	0,00	20,00	0,07
TOTAL	695,00	1,00	400,00	1,00	295,00	1,00

Separador de Correntes						
kmol/h	F5		R - Reciclo		P - Purga	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
CO2	50,00	0,17	50,00	0,17	0,00	0,00
H2	225,00	0,76	225,00	0,77	0,00	0,00
CH3OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inertes	20,00	0,07	16,79	0,06	3,21	1,00
TOTAL	295,00	1,00	291,79	1,00	3,21	1,00

Misturador de Correntes						
kmol/h	F1		R - Reciclo		F2	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
CO2	200,00	0,25	50,00	0,17	250,00	0,23
H2	600,00	0,75	225,00	0,77	825,00	0,75
CH3OH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inertes	3,21	0,00	16,79	0,06	20,00	0,02
TOTAL	803,21	1,00	291,79	1,00	1095,00	1,00

Exercício 2.5.

Dados:		
D-01	Recuperação do Benzeno Topo	0,96
R-01	Conversão do Tolueno	0,80
	Excesso de Hidrogênio	0,40

V-01	Eficiência	1,00
D-02	Recuperação do Benzeno Topo	0,99

DESTILADORA D-01						
kmol/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Benzeno	240	0,60	230,4	0,96	9,60	0,06
Tolueno	160	0,40	9,6	0,04	150,40	0,94
TOTAL	400	1,00	240,0	1,00	160	1,00

REATOR R-01 - Balanço Molar				
kmol/h	Tolueno	H2	Benzeno	CH4
Coeficiente	1	1	1	1
Entra	150,40	210,56	9,60	0,00
Reage	120,32	120,32	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	120,32	120,32
Sai	30,08	90,24	129,92	120,32

VASO DE SEPARAÇÃO V-01						
kmol/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Benzeno	129,92	0,35	0,00	0,00	129,92	0,81
Tolueno	30,08	0,08	0,00	0,00	30,08	0,19
H2	90,24	0,24	90,24	0,43	0,00	0,00
CH4	120,32	0,32	120,32	0,57	0,00	0,00
TOTAL	370,56	1,00	210,56	1,00	160,00	1,00

DESTILADORA D-02						
Componentes	Alimentação		Topo		Fundo	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Benzeno	129,92	0,81	128,62	0,96	1,30	0,05
Tolueno	30,08	0,19	5,40	0,04	24,68	0,95
TOTAL	160,00	1,00	134,02	1,00	25,98	1,00

Exercício 2.6.

Misturador de Correntes						
kg/h	Entrada virgem		Entrada da célula		Reciclo	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	4845,00	0,97	8256,00	0,96	3411,00	0,95
Sal	155,00	0,03	344,00	0,04	189,00	0,05
TOTAL	5000,00	1,00	8600,00	1,00	3600,00	1,00

Célula de Osmose Reversa						
kg/h	Entrada da célula		Água dessalinizada		Saída da célula	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração

Água	8256,00	0,96	2047,62	1,00	6208,38	0,95
Sal	344,00	0,04	0,00	0,00	344,00	0,05
TOTAL	8600,00	1,00	2047,62	1,00	6552,38	1,00

Divisor de Correntes						
kg/h	Saída da célula		Reciclo		Rejeito de Salmoura	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	6208,38	0,95	3411,00	0,95	2797,38	0,95
Sal	344,00	0,05	189,00	0,05	155,00	0,05
TOTAL	6552,38	1,00	3600,00	1,00	2952,38	1,00

Exercício 2.7.

Dados	
Excesso de O ₂	0,2
Conversão de NH ₃	0,7
Alimentação no reator (kmol/h)	100,0

Reator - Balanço Molar				
kmol/h	NH ₃	O ₂	NO	H ₂ O
Coefficiente	4	5	4	6
Entra	100,00	150,00	0,00	0,00
Reage	70,00	87,50	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	70,00	105,00
Sai	30,00	62,50	70,00	105,00

Separador						
kmol/h	F3		F4		Reciclo	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
NH ₃	30,00	0,11	0,00	0,00	30,00	1,00
O ₂	62,50	0,23	62,50	0,26	0,00	0,00
NO	70,00	0,26	70,00	0,29	0,00	0,00
H ₂ O	105,00	0,39	105,00	0,44	0,00	0,00
TOTAL	267,50	1,00	237,50	1,00	30,00	1,00

Encontro de Correntes						
kmol/h	F1		Reciclo		F2	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
NH ₃	70,00	0,32	30,00	1,00	100,00	0,40
O ₂	150,00	0,68	0,00	0,00	150,00	0,60
NO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	220,00	1,00	30,00	1,00	250,00	1,00

Exercício 2.8.

Dados		
Razão Ar/C ₂ H ₄		10
Conversão de C ₂ H ₄		0,18
Ar	O ₂	0,21
	N ₂	0,79

Reator - Balanço Molar				
kmol/h	C ₂ H ₄	O ₂	C ₂ H ₄ O	N ₂
Coeficiente	1	0,5	1	0
Entra	250,00	525,00	0,00	1975,00
Reage	45,00	22,50	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	45,00	0,00
Saída	205,00	502,50	45,00	1975,00

Separador								
kmol/h	Corrente 2		Reciclo		Purga		Corrente 3	
	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
C ₂ H ₄	205,00	0,08	205,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O ₂	502,50	0,18	0,00	0,00	502,50	0,20	0,00	0,00
C ₂ H ₄ O	45,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	45,00	1,00
N ₂	1975,00	0,72	0,00	0,00	1975,00	0,80	0,00	0,00
Total	2727,50	1,00	205,00	1,00	2477,50	1,00	45,00	1,00

Misturador						
kmol/h	Alimentação Virgem		Reciclo		Corrente 1	
	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
C ₂ H ₄	45,00	0,02	205,00	1,00	250,00	0,09
O ₂	525,00	0,21	0,00	0,00	525,00	0,19
C ₂ H ₄ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂	1975,00	0,78	0,00	0,00	1975,00	0,72
Total	2545,00	1,00	205,00	1,00	2750,00	1,00

CAPÍTULO 3

3. A PROGRAMAÇÃO EM VBA, USER FORMS E SUB-ROTINAS

Nesta parte do curso, entraremos na parte que envolve programação no Excel utilizando o VBA (*Visual Basic for Applications*). A grande vantagem que esse recurso nos traz em relação ao gravador de macros, o qual utilizamos até agora, é a flexibilidade e maior complexidade dos mecanismos que podemos criar no Excel. Além disso, as macros que gravamos até agora são, em si, código de VBA que o Excel escreve automaticamente para nós conforme as ações que realizamos na planilha. Contudo, o gravador não nos permite usar o máximo potencial do Excel, pois sua funcionalidade ainda é limitada e é por isso que conhecer como o código funciona e poder escrever o seu próprio código é tão interessante.

3.1. O EDITOR DO VBA

Para criar mecanismos no Excel, primeiro devemos conhecer o nosso novo local de trabalho, pois não é na planilha em que escrevemos códigos, mas sim no Editor do Visual Basic. Para acessar esse local, vá até o friso Desenvolvedor e, no menu Código, clique em Visual Basic. Alternativamente, use o atalho **Alt+F11** e seja bem-vinda/o ao Editor!

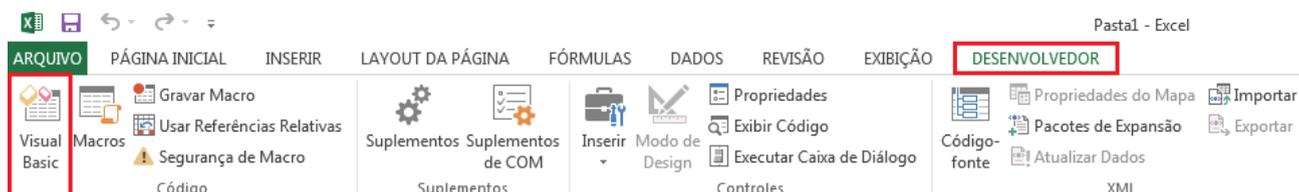


Figura 86 - Acesso ao editor do Visual Basic.

Nesta nova janela, vemos, à esquerda, dois locais: **Projeto – VBAProject** e **Propriedades**. No primeiro, estão os elementos que fazem parte do projeto. Já no segundo, encontram-se propriedades dos objetos que podemos vir a utilizar quando escrevemos um código, mas essa janela será vista de forma mais aprofundada futuramente. Se, porventura, alguma das duas janelas não estiver ali, é possível visualizá-las clicando, no menu, em Exibir e, em seguida, clicando em **Project Explorer** (atalho **Ctrl+R**) e/ou em **Janela ‘Propriedades’** (atalho **F4**).

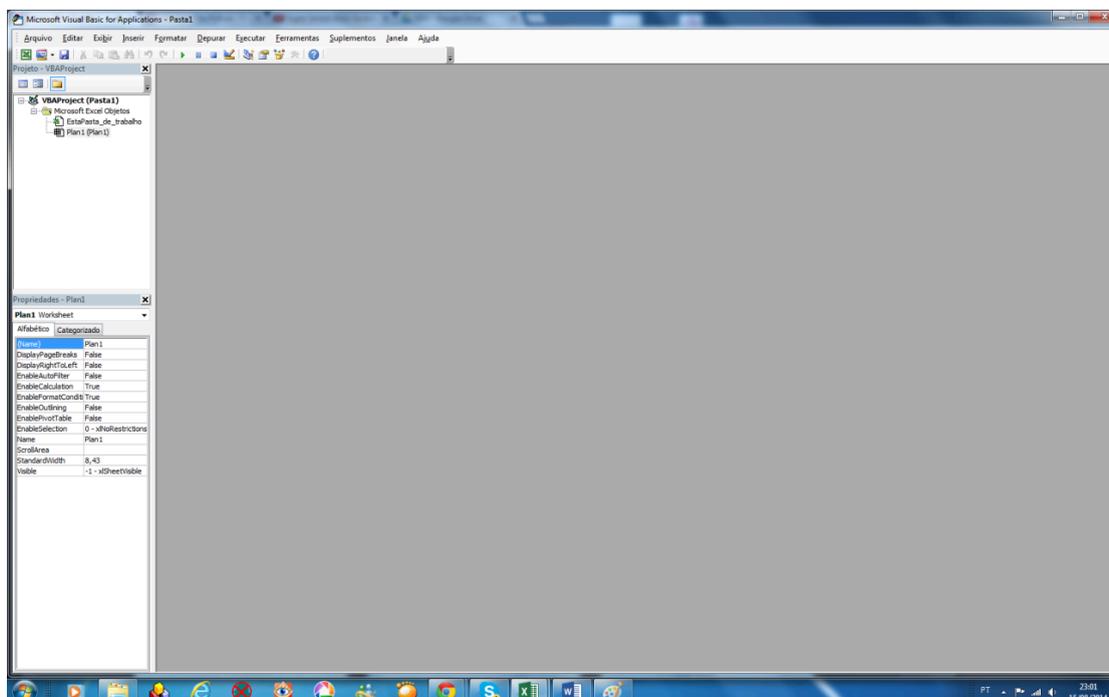


Figura 87 - Interface do VBA.

Importante: “Projeto” deve ser entendido como o grupo de macros e de planilhas de Excel utilizados para uma determinada funcionalidade.

O primeiro passo que devemos executar para criar macros e funções é inserir um **Módulo** onde podemos codificar. Para isso, vá ao menu e clique em **Inserir** e depois em **Módulo**. Note que na janela **Projeto – VBAProject** surge um novo diretório, chamado *Módulo1*. Se você abrir outro, este será o *Módulo2* e assim por diante. Perceba também que foi aberta uma janela em branco no centro da tela denominada **Pasta 1 – MóduloX (Código)**, em que X é o número do módulo aplicado e a denominação Pasta1 pode ser substituída pelo nome da planilha que está sendo utilizada. Essa janela é a interface para a inserção dos comandos, na qual inscrevemos nossos códigos.

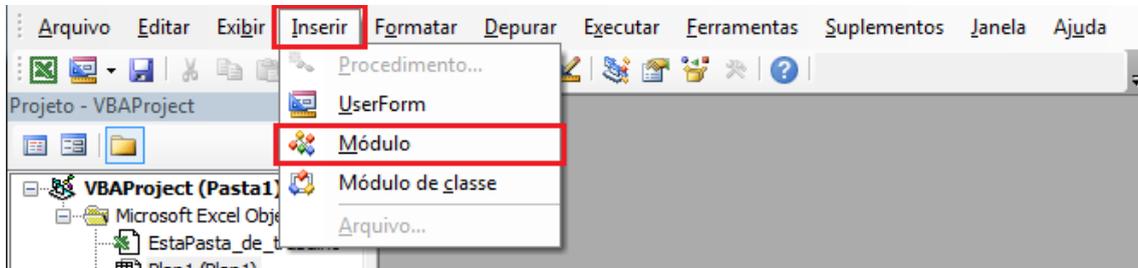


Figura 88 - Inserção de um Módulo.

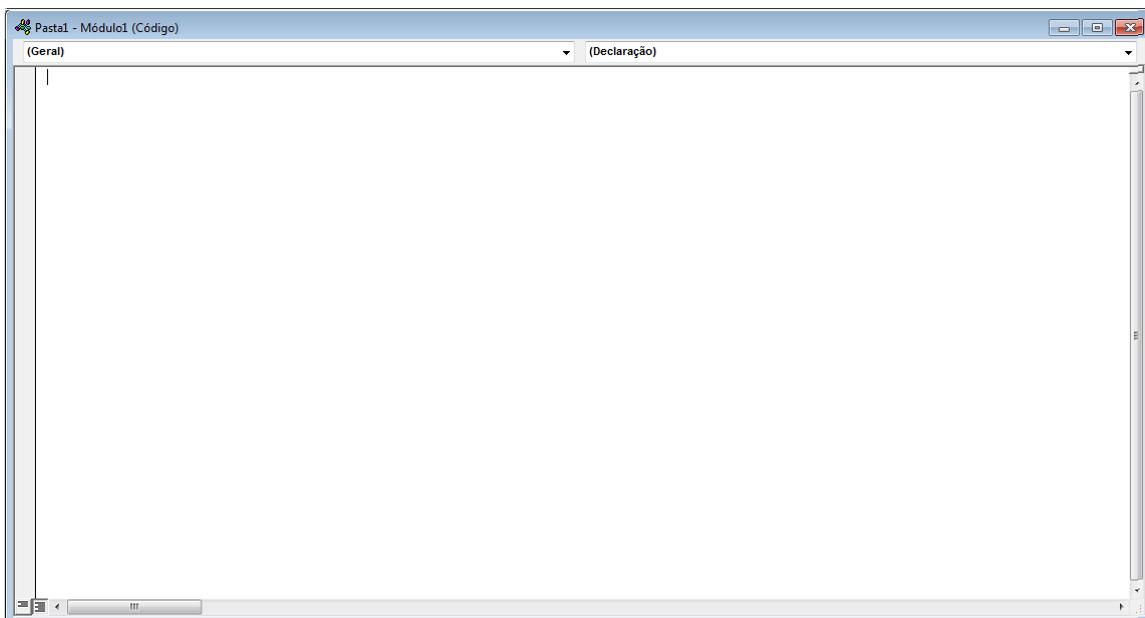


Figura 89 - Módulo no VBA.

3.2. INTRODUÇÃO À FUNÇÕES NO VBA

A programação em VBA nos traz inúmeras possibilidades, não somente a criação de macros, como a criação de funções. Já imaginou se algum trabalho ou projeto que você esteja desenvolvendo no Excel necessite do uso de uma fórmula complexa, que não está no banco de fórmulas, e você precisasse usá-la diversas vezes? Isso o deixa mais suscetível a cometer erros, além de tornar o trabalho mais tedioso do que ele precisa ser. A realidade é que você é capaz de criar uma função para tornar essa situação mais prática.

Assim como existem as diversas funções, como SEN(), COS(), SOMA(), entre outras, para as quais tudo o que você precisa fazer é indicar os parâmetros da função e o Excel retornará o valor que você deseja, você pode criar no VBA uma função definida pelo usuário que fará o mesmo para a expressão que você quiser.

Vejamos, então, a estrutura mais básica de uma função:

Function NomeDaFunção (Parâmetro1 *As Tipo*, Parâmetro2 *As Tipo*, ...) *As Tipo*

Corpo da função

End Function

Onde *NomeDaFunção* é o nome que você quer dar a sua função, *Parâmetro1, 2,...* são os parâmetros requeridos pela sua função e *As Tipo* se refere a característica de um parâmetro (dentro do parênteses) ou do valor retornado pela função (fora do parênteses). Na hora de escrever a função é importante lembrar que o *As* deve ser mantido e o tipo deve ser um dos disponíveis na primeira coluna da tabela abaixo:

TIPO DE DADO	VALORES	DESCRIÇÃO
Boolean	True ou False	Aceita os valores lógicos verdadeiro ou falso. Reserva 2 bytes de memória.
Byte	0 a 255	Armazena valores inteiros, reservando 1 byte de memória.
Currency	[-922.333.203.477,5808 até 922.333.203.477,5808]	Armazena valores monetários e decimais fixos, reserva 8 bytes.
Date	1/1/1900 a 31/12/9999	Utilizada para armazenar datas e horas. 8 bytes de memória.
Double	[-1,79769313486232E308 até -4,94065645841247E-324] e positivos [1,79769313486232E308 até 4,94065645841247E-324]	Armazena ponto flutuante de dupla precisão, reservando 8 bytes.
Integer	Valores inteiros entre -32.768 até 32.767	Reserva 2 bytes
Single	Valores de -3,402823E38 até -1,401298E-45 e positivos de 1,401298E-45 até 3,402823E38	4 bytes de memória. Armazena valores de ponto flutuante de simples precisão
String	Textos de 1 até 65.400 caracteres	1 byte de memória por caractere em cada string
Long	Valores inteiros grandes entre -2.147.483.648 até 2.147.483.647	Reserva 4 bytes
Variant	Pode armazenar qualquer tipo de dado	16 bytes de memória + 1 byte por caractere e aceita qualquer tipo de dado

Tabela 11 - Tipos de variáveis.

Caso você não especifique o tipo de suas variáveis e/ou funções, elas serão automaticamente tratadas como sendo do tipo *Variant*, que é o que mais ocupa espaço na memória. Por isso, quando possível, é interessante atribuir tipos para variáveis de acordo com seu papel no código.

A seguir, veremos aspectos importantes da linguagem do VBA, aproveitando para ver alguns exemplos de funções.

3.3. DECLARANDO VARIÁVEIS

A declaração de variáveis é o momento em que você deixa indicado no código as variáveis adicionais, ou seja, que não sejam os parâmetros da função, mas que também serão utilizadas. Fazer isso é opcional, porém, novamente, se você utilizar uma variável sem declará-la antes, ela será considerada do tipo *Variant*.

Existem 4 formas de declarar uma variável, são elas:

Dim Variável As Tipo

Static Variável As Tipo

Private Variável as Tipo

Public Variável As Tipo

O comando **Dim** é uma abreviação de *Dimension* e é usado para declarar variáveis que terão seus valores retidos apenas enquanto o procedimento em que se encontram estiver sendo usado. Já o valor de uma variável declarada com **Static** é válido apenas dentro do procedimento onde se encontra, mas ele será preservado entre as execuções deste. **Private** serve para variáveis válidas em todo o Módulo e **Public** para variáveis que podem ser chamadas por qualquer procedimento que esteja na pasta de trabalho.

3.4. EXPRESSÕES ARITIMÉTICAS, LÓGICAS E COMPARATIVAS

No corpo de uma função, será necessário relacionar variáveis e/ou números e essas relações são representadas pelas expressões aritméticas, lógicas e comparativas:

EXPRESSÕES	OPERADORES
Aritméticas	+ (adição)
	- (subtração)
	* (multiplicação)
	/ (divisão)
	^ (exponenciação)
Lógicas	not (não)
	and (e)
	or (ou)
	equiv (equivalente)
	Xor (exclusão entre expressões)
Comparativas	> (maior)
	< (menor)
	>= (maior ou igual)
	<= (menor ou igual)
	<> (diferente)

Tabela 12 - Expressões Aritméticas, Lógicas e Comparativas.

As expressões aritméticas são as operações que conhecemos (as elementares e a exponenciação).

Já as lógicas são operações em que introduzimos um ou mais símbolos e, conforme o operador desejado, recebemos um símbolo de resposta. O exemplo mais clássico de símbolo de resposta é o Verdadeiro e Falso. Através dos operadores lógicos podemos analisar valores, numéricos ou não, conforme desejamos. O *Not*, o *And*, o *Or* e o *Xor*

são os mais importantes. O primeiro inverte o resultado de uma expressão que possa retornar “Verdadeiro” ou “Falso”, o segundo retorna valor “Verdadeiro” caso, de duas expressões, ambas sejam verdadeiras e o terceiro, o *Or*, retorna valor Verdadeiro se, de duas expressões, pelo menos uma for verdadeira. Já o último, o *Xor*, retorna “Verdadeiro” quando uma e apenas uma de duas expressões seja verdadeira.

As estruturas comparativas seguem um raciocínio parecido com a das lógicas, devolvendo um símbolo de resposta a cada operação. Porém estruturas comparativas só podem ser usadas para analisar valores numéricos.

3.5. ESTRUTURAS DE CONTROLE

Estruturas de controle são o que determinarão o que acontecerá a cada vez que você executar um procedimento. Caso você não as utilize, o programa lerá o código sempre da mesma maneira, de cima para baixo e da esquerda para a direita. Contudo, isso por si só não é suficiente para suprir várias das necessidades que temos em determinadas situações, como no seguinte exemplo.

3.5.1. Else...If

Suponha que você deve criar uma função chamada `MaiorQue10()` que receba como parâmetro um número Número e diga se ele é maior que 10. Há duas situações possíveis nesse problema – ou o número é maior que 10 ou ele não é- logo, o caso deve ser avaliado e conforme o resultado disso, o programa deve executar uma ação e deixar de realizar a outra. Então, como resolver esse problema? É o que veremos a seguir, com a primeira estrutura de controle que será apresentada.

O problema apresentado anteriormente requer a escolha de um rumo a ser tomado no código do programa de acordo com a situação e, nesse caso, a estrutura **If** será responsável por isso. Veja a seguir a sua sintaxe:

If condição Then

Comandos do If

Else

Comandos do Else

End If

As partes obrigatórias da estrutura foram deixadas sem colchetes. Aqui, *condição* é uma relação cuja veracidade será verificada quando a função for executada. Caso ela seja verdadeira, o programa executará os *Comandos* imediatamente abaixo; caso ela seja falsa, o programa não executa os comandos subordinados ao **If**, ao invés disso, ele sai da estrutura sem realizar nada, a não ser que exista uma estrutura **Else**. Esta permite que você determine ações que deverão ser tomadas caso a *condição* seja falsa. Se essa *condição* for verdadeira, o **Else** é ignorado. Por fim, **End If** é uma parte obrigatória e indica o fim da estrutura. Assim, uma possível resolução para o problema inicial é a seguinte:

Function MaiorQue10(Número As Single) As String

If Número > 10 Then

MaiorQue10 = "Sim"

'Se o número for maior que 10, a função retorna Sim'

Else

MaiorQue10 = "Não"

'Caso seja menor ou igual a 10, a função retorna Não'

End If

End Function

Observação: No VBA, o apóstrofo pode ser usado para deixar comentários.

Quando o usuário escrever em uma célula “=MaiorQue10(10)” ou inserir a função utilizando 10 como parâmetro, por exemplo, o programa verificará que 10 não é maior que 10, assim executará o comando de **Else** ao invés do de **If**, retornando “Não”.

Experimente, agora, voltar à planilha e comece a digitar “=MaiorQue10” em uma célula. Você perceberá que sua função será sugerida assim como as demais funções existentes no Excel. Também é possível utilizar a opção de **Inserir Função**, no friso **Fórmulas**, para usar sua função. Para achá-la mais facilmente, você pode escolher a categoria **Definido pelo Usuário** para visualizar funções criadas por você, ou seja, não nativas do Excel.

Veja, agora, outras estruturas úteis.

3.5.2. Select Case

Crie uma função Tarifa() que receba um valor Renda e indique qual a taxa que deve ser paga pelo usuário. Considere que:

- Rendas de até R\$ 2.500,00 apresentam taxa 0;
- Rendas entre R\$ 2.500,00 até R\$ 5.000,00 sejam taxadas em 5% do valor acima de R\$ 2.500,00;
- Rendas acima de R\$ 5.000,00 sejam taxadas em 10% no valor acima de R\$ 5.000,00 e 5% no valor acima de R\$ 2.500,00.

Esse problema poderia facilmente ser resolvido usando If, porém veremos uma alternativa cujo benefício é a legibilidade do código, o **Select Case**. Sua sintaxe é a seguinte:

Select Case Variável/Parâmetro

Case expressões1

Comandos do Case1

Case expressões2

Comandos do Case2

...

Case expressões-n

Comandos do Case'n'

Case Else

Comandos do Else

End Select

Para o **Select Case**, que, assim como o If, é uma estrutura condicional ou de ramificação, você escolhe uma variável, que pode ser um dos parâmetros da função ou não, que será usada como base para gerar uma série de condições e comandos. Caso alguma das expressões seja verdadeira para a variável selecionada, o programa seguirá o comando subordinado ao respectivo **Case**, caso contrário, se existir, ele obedecerá ao **Case Else**, saindo, em seguida, do **Select Case**. A resolução do exercício é:

Function Tarifa(Renda As Single) As Single

Select Case Renda

Case Is <= 2500

Tarifa = 0

'Se o valor é menor ou igual a 2500, a tarifa será zero.'

Case Is <= 5000

Tarifa = (Renda - 2500) * 0.05

'Se o valor é maior que 2500, mas menor que 5000, o valor que excede 2500 é taxado em 5%'

Case Else

'Abrange qualquer intervalo não especificado, no caso, renda maior que 5000. Vale ressaltar que poderia ser criado um Case Is > 5000'

Tarifa = (Renda - 5000) * 0.1 + (Renda - 2500) * 0.05

'Se o valor é maior que 5000, o valor que excede 5000 é taxado em 10% e o valor que excede 2500 é taxado em 5%'

End Select

End Function

Agora você já pode testar a função na planilha!

3.6. ESTRUTURA DO... LOOP

Veremos agora algumas estruturas de repetição ou de laços. Resolva o seguinte problema: Criar uma função SomaPA() para obter a soma e uma função ProdutoPA() para obter o produto dos termos de uma progressão aritmética que começa em a1, com n termos e razão r, sendo esses três valores parâmetros da função. Este é um exemplo de um caso que não é resolvido com algo que vimos até agora, mas que certamente é possível. Veja as possíveis formas e o funcionamento de uma estrutura **Do... Loop**:

Do While Condição

Comandos

Loop

Onde Do While e Loop podem ser substituídos por:

1. Do Until (Condição), (Comandos) e Loop
2. Do, (Comandos) e Loop While (Condição)
3. Do, (Comandos) e Loop Until (Condição)
4. While (Condição), (Comandos) e Whend

O que isso significa? Bom, existem 5 maneiras possíveis de usar **Do...Loop (While, Until e Wend)**, como é possível ver acima, mas o funcionamento de todas é bastante similar. Todas elas seguem o princípio de avaliar uma expressão e, dependendo se ela for verdadeira ou falsa, o programa repetirá a execução da estrutura ou irá encerrá-la, seguindo em frente. Nos dois primeiros casos (condição no **Do**), a condição é avaliada no início da estrutura, antes de executar os comandos, sendo que o **While** executa os comandos enquanto a condição for verdadeira e o **Until** executa até que a condição se torne verdadeira, ou seja, enquanto ela for falsa. Para as duas outras situações, a análise da condição ocorre no final da execução, ou seja, os comandos são executados antes e, no mínimo, uma vez. Novamente, o **While** executa os comandos enquanto a condição for verdadeira e o **Until** executa até que a condição se torne verdadeira.

Veja o exemplo com **Do While... Loop**:

Function SomaPA(a1 As Integer, R As Integer, n As Integer)

Dim c As Integer

c = 1

Do While c <= n

'Quando c é maior que o número de termos, a operação é encerrada'

SomaPA = SomaPA + a1

'Como não foi especificado um valor para SomaPA, é assumido o valor de 0. Assim, na primeira iteração, é somado 0 ao valor inicial de a1.'

a1 = a1 + R

'A cada iteração o valor de a1 é incrementado, passando a a2, a3 e assim por diante, por mais que o nome da variável seja mantido o mesmo.'

c = c + 1

'Por fim, é incrementado o contador.'

Loop

End Function

A função tratada, **SumPA**, se trata da soma dos termos de uma PA. Consiste em uma função cujos parâmetros iniciais são o primeiro termo da PA (a_1), a razão na qual aumenta essa PA (r) e o número de termos que devem ser somados a partir do primeiro. Também é declarada uma variável c que seria nosso contador. Tal variável nos ajudará a ter um controle do número de interações rodadas pelo **Do...While**.

Depois da declaração do contador, ocorre o primeiro teste da condição $c \leq n$. Caso tal condição seja verdadeira, é executado $\text{SumPA} = \text{SumPA} + a_1$, onde $a_1 = a_1 + r$ e, por fim, $c = c + 1$. Agora temos que o atual valor de c é diferente de seu valor inicialmente atribuído, então o **Loop** faz com que retornemos para a condição do **Do...While** e ela é testada novamente.

Como é possível ver na tabela abaixo, definindo $a_1 = 1$ e $r = 2$, podemos obter diversos valores de **SumPA** para diversos valores de n selecionados pelo usuário. Lembrando: a função retorna como resultado a variável homônima, ou seja, **SumPA** e nenhuma das células relacionadas ao cálculo desse resultado tem seu valor alterado.

Interação (n)	0	1	2	3	4	5
c	1	2	3	4	5	6
a1	1	1	3	5	7	9
SumPA	0	1	4	9	16	25

Tabela 13 - Resultados de SumPA para os diferentes valores de n.

Uma coisa importante de ser salientada é que, como não foi atribuído nenhum valor inicial para **SumPA**, seu valor inicial é dado como 0. Isso é perceptível na tabela acima, uma vez que para $n = 0$ temos que a condição do **Do...While** é falsa na primeira checagem e o valor retornado é $\text{SumPA} = 0$.

3.7. ESTRUTURA DO FOR... NEXT

Dessa vez resolveremos o mesmo problema, mas o faremos de outra forma, utilizando outra estrutura de repetição, o **For...Next**:

For variável = valor inicial To valor final [Step valor]

Comandos

Next variável

A lógica neste caso é a seguinte: variável é uma variável (parâmetro ou não da função) que você deve escolher, assim como um valor inicial *valori* e um valor final *valorf* para ela. Quando o programa for executado, se o valor associado ao *Step* for positivo, ele verificará se *valori* > *valorf* e se o *Step* for negativo, a avaliação será se *valori* < *valorf*. Para ambas as situações, caso a análise retorne falso, ele prosseguirá para os comandos e para o **Next**. O que acontece agora é que o valor da variável será incrementado/decrementado com o valor do passo (caso o passo não seja escrito, ele será, automaticamente, considerado 1) retornando, em seguida, à leitura do código ao **For**, repetindo esse processo até que *valori* > *valorf* ou, se for o caso, *valori* < *valorf* seja verdadeiro, momento em que a estrutura será encerrada.

Repare que, nesse caso, não informamos o número de termos e, sim, um intervalo de a_1 até a_n . Veja o exemplo para o problema em questão:

Function ProdutoPA(a1 As Integer, R As Integer, n As Integer)

Dim c As Integer

ProdutoPA = 1

'É necessário estabelecer o valor inicial da função como 1, por tratar-se de uma multiplicação de termos. Se isso não fosse realizado, o resultado seria sempre 0.'

For c = 1 To n

 ProdutoPA = ProdutoPA * a1

 a1 = a1 + R

Next c

End Function

A análise dessa função nos dá o seguinte: é usada uma variável c que age como variável de controle, ou seja, seu valor dita as ações na estrutura. Então, se estabelece, no **For**, que o valor inicial de c é igual a 1 pois o contador de termos em uma progressão aritmética começa com $n = 1$. E o valor final é o parâmetro n . Nesse caso o passo da ferramenta **For** é 1, podendo ser omitido na declaração. A análise feita é aquela apresentada anteriormente e, caso o resultado seja falso, é executado a estrutura dentro do **For** e, depois, o **Next** retorna a leitura do programa ao **For**, repetindo o ciclo até que a avaliação retorne o valor verdadeiro.

Importante: Não foi considerado a existência de restrições nos exemplos, porém existe um cuidado que se deve tomar ao usar estruturas de repetição: é evitar a todo o custo a criação de **ciclos infinitos**. Um ciclo infinito significa criar uma estrutura que nunca chega a sua condição de término, o que pode gerar erros catastróficos no Excel, podendo até forçá-lo a reiniciar o programa. Por isso, essas estruturas devem ser bem pensadas antes de serem usadas! Ainda, existe o comando chamado **Exit**, que pode ser usado com diversas estruturas, como **Select**, **Do**, **For**, ou mesmo **Function**, para fazer com que o programa saia de uma estrutura caso este código for lido, o que pode ajudar a evitar os laços infinitos.

Essas são algumas das estruturas básicas do VBA. Não são as únicas, mas com elas já é possível fazer muita coisa, basta um pouco de criatividade e raciocínio lógico!

3.8. SUB-ROTINAS

Diferentemente do procedimento de funções, o procedimento de Sub-Rotinas age realizando uma ou múltiplas ações. As funções são usadas principalmente para realizar cálculos, pois podem retornar valores, entretanto, sub-rotinas também podem ser usadas para realizar cálculos, logo o interesse de usá-las associadas aos formulários de usuário surge devido ao de você querer associar ações aos diferentes comandos realizados no formulário. Algumas sub-rotinas já estão ligadas a tipos de ações, como por exemplo iniciar um *UserForms* clicar em algum botão e etc. O VBA já possui alguns procedimentos relacionados à *UserForms*, tanto para criação, quanto para edição de ferramentas. Abaixo são mostrados alguns exemplos de procedimentos já relacionados aos UserForms:

OBJETO	PROCEDIMENTO	CONDIÇÃO
UserForm	UserForm_Initialize	Ocorre quando iniciamos o User Form
Botão de Controle	cb"Nome"_Click	Ocorre quando dermos click no botão
Rótulo	lbl"Nome"_Dbclick	Ocorre quando dermos click duplo no rótulo
Caixa de Lista	lbox"Nome"_Terminate	Ocorre quando removemos a caixa de lista

Caixa de Texto	tb"Nome"_Enter	Ocorre quando apertamos enter com a caixa de texto selecionada
----------------	----------------	--

Tabela 14 - Procedimentos relacionados aos UserForms.

Os procedimentos acima podem ser formados, entre a combinação do objeto ao qual se deseja relacionar a ação e uma série de ações disponíveis para aquele objeto, gerando assim, uma grande variedade de procedimentos específicos, os quais somente alguns exemplos são mostrados acima.

As sub-rotinas assim como as funções, podem ser definidas tanto como públicas (Public) ou como privadas (Private). Se definidas como públicas, elas poderão ser usadas em qualquer objeto do VBA, logo, qualquer módulo, *UserForms*, planilha, entre outros. Caso seja definido como privado, seu uso será restrito ao módulo ou outro objeto no qual ela está inserida.

3.8.1. UserForm

Antes de qualquer coisa, o que são *UserForms*? Nada mais são que formulários do usuário, ou seja, caixas de diálogo personalizadas. Para começar a criar um *UserForm*, veja os passos a seguir:

1. Para criá-lo, clique em **UserForm** no menu **Inserir** no Editor do Visual Basic. Utilizamos a opção **UserForm** em vez de **Módulo**, porque, nesse caso antes de tudo, criaremos, a estrutura gráfica para, depois, complementar o objeto com código.

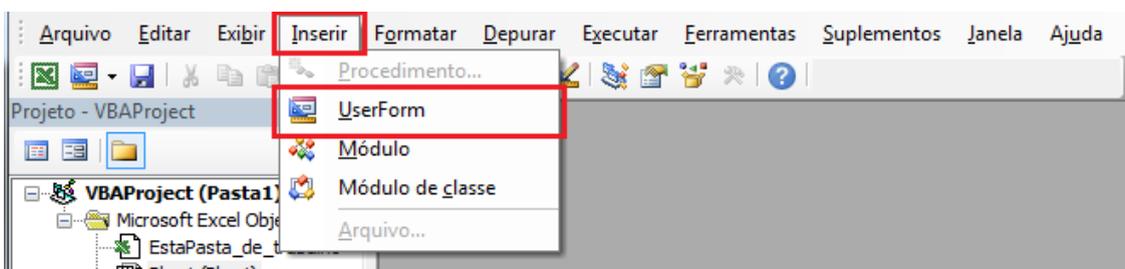


Figura 90 - Inserção de um UserForm.

2. Será aberta a área **UserForm1** (figura seguinte). Essa área é utilizada para a inserção de um determinado objeto pré-modelado e sua programação.

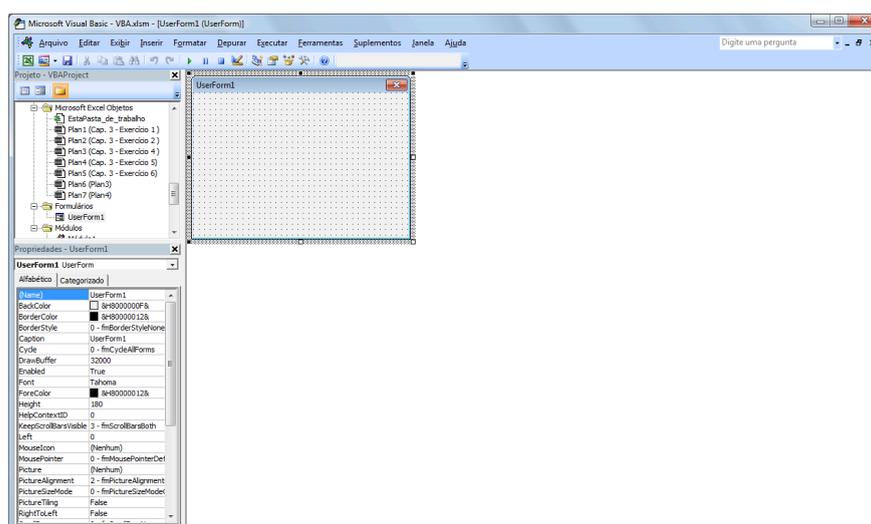


Figura 91 - UserForm no VBA.

É possível utilizar a janela Propriedades para alterar o nome, comportamento e aparência do formulário. Por exemplo, para alterar a legenda de um formulário, defina a propriedade **Caption**. Nesta propriedade você pode escrever qualquer nome para a caixa de diálogo, o qual aparecerá no canto superior esquerdo do *UserForm*. Na propriedade **Name**, você pode escrever o nome do *UserForm* a ser utilizado no código e este nome *não* pode conter espaços.

3. Vá ao menu **Exibir** do editor de VBA e clique na opção **Caixa de Ferramentas**. Essa opção ativa a barra de tarefas homônima com vários modelos para objetos de formulário que podem ser anexados a um projeto de VBA. Para tanto, basta arrastar e soltar o objeto escolhido.

Para criar uma caixa de diálogo personalizada, é necessário criar um *UserForm*.

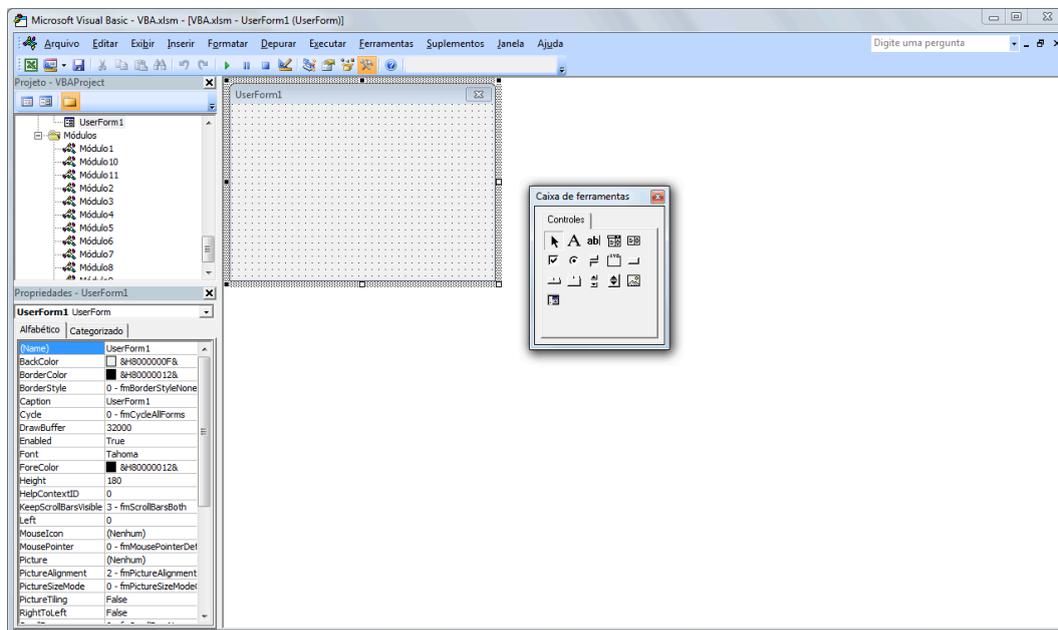


Figura 92 - Caixa de Ferramentas.

As ferramentas disponíveis para serem usadas no *UserForm* são em sua maioria muito similares às aquelas mostradas no capítulo dois, porém existem algumas novas exclusivas ao *UserForm* essas estão exemplificadas a seguir:

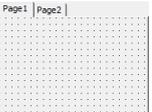
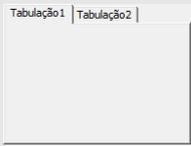
ÍCONE	NOME	LAYOUT	APLICAÇÃO
	Caixa de Texto		Caixa que recebe dados de texto (string).
	Botão de Ativação		Botão que pode ser ativado ou desativado, retornando true ou false, ativando ou não, ações relacionadas.
	Multi Página		Cria a opção de usar múltiplas abas no mesmo UserForm, retornando 0, 1, 2, ... de acordo com o número da aba.
	Tab Strip		Cria abas dentro do User Form, porém diferentemente do multi páginas, não pode ser usado para colocar ferramentas nestas abas, somente para exibir valores ou textos.
	Imagem		Insere uma imagem dentro do UserForm, porém um código também pode ser associado a essa imagem.

Tabela 15 - Ferramentas relacionadas aos UserForm.

3.8.2. Leitura de Macros em VBA

Nessa atividade, veremos como uma macro é lida em programação do tipo VBA. Para isso, adotaremos os seguintes passos:

1. Abra a planilha, na aba desenvolvedor, clique em “Gravar Macro” e clique em “OK”;

Clique nas células, nesta sequência: A1, D1 e D4, respectivamente;

Digite seu nome;

Clique em A1;

Clique em “Parar gravação”.

A linguagem aparecerá na seguinte forma:

```
Sub Macro1()
'
' Macro1 Macro
'
'
'
Range("D4").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nome"
Range("A1").Select
End Sub
```

Perceba que embora você tenha clicado nas células A1 e A4, elas não apareceram na sua linguagem, pois nenhuma ação foi feita nela.

Agora, vá até a área de trabalho, na aba desenvolvedor clique em “Inserir” e, em seguida, clique em “Botão”.

Forme o botão na área de trabalho, feito isso clique em Macro1 e, em seguida, clique em “OK”.

Pronto, agora basta apagar o conteúdo da célula D4 e clicar no botão para seu nome reaparecer.

3.8.3. Orientação ao Objeto

A programação em *UserForms* funciona da seguinte maneira: cada objeto presente em seu formulário pode receber seu próprio código. Para escrever código para um objeto, basta dar um duplo clique nele.

Aproveitaremos este momento para apontar mais algumas coisas relacionadas à sintaxe do VBA. O VBA é uma linguagem de programação orientada ao objeto, ou seja, ele trabalha, primordialmente, com objetos. Mas o que é um objeto? Um objeto no VBA é um elemento do Excel, como planilhas, células e *UserForms*. Para cada um deles existem as propriedades, métodos e eventos que podem ser associados e manipulados. Propriedades dizem respeito a características do objeto, métodos estão relacionados a ações realizadas pelo objeto e eventos estão relacionados a acontecimentos envolvendo o objeto, que podem levar a outras ações.

Neste curso apresentaremos o uso de alguns objetos, propriedades, métodos e eventos, porém a biblioteca do VBA para estes elementos é muito grande. Para ver a lista de tudo o que está a sua disposição, você pode ir ao menu Exibir do Editor e clicar em Pesquisador de Objetos.

A representação dos objetos no VBA seguirá, em geral, a seguinte forma:

Objeto.Propriedade ou Método

Ao inserir um objeto e digitar um ponto “.”, aparecerá uma lista de tudo o que pode ser associado a ele.

Algo interessante de apontar sobre os objetos dos *UserForms* é que suas propriedades são aquelas que estão na janela Propriedades, à esquerda.

Além desta forma, também podemos ter o seguinte:

```
Objeto_Evento
```

O que caracteriza um evento. Para um objeto adequado, a lista de seus possíveis eventos aparece no canto superior direito do módulo.

Começaremos, agora, a ver alguns exemplos de *UserForms*.

3.8.4. Matrizes e Vetores

Vetores e matrizes são, em programação, comumente chamados de arrays. Um array, de uma forma bastante simplificada, é um conjunto de valores do mesmo tipo armazenados em uma mesma variável, ou seja, todos esses valores possuem o mesmo nome. Para diferenciar esses valores, utilizam-se índices. Assim, arrays, podem ser unidimensionais (vetores) ou multidimensionais (matrizes) e apresentam-se da seguinte forma: “NomeDoArray”([, [, [, ...]]]).

- “NomeDoArray”() é um vetor, que é uma matriz unidimensional;
- “NomeDoArray”(,) é uma matriz bidimensional;
- “NomeDoArray”(, ,) é uma matriz tridimensional e assim por diante.

Para declarar qualquer um deles, é importante lembrar que os valores dentro de uma matriz são alocados de acordo com um índice.

Para vetores, em linguagens como Python, os índices começam a partir do número 1 e vão até o número N sendo N o tamanho do vetor. Já no C++, **assim como no VBA**, os índices se iniciam a partir do 0 e vão até N-1, sendo N o tamanho do vetor.

Isso também é válido para matrizes com mais dimensões. Em uma matriz bidimensional (NxM) de N linhas por M colunas, temos que seus índices de linhas irão de 0 até N-1 e seus índices de colunas irão de 0 até M-1.

A seguir, demonstraremos como declarar, respectivamente alguns tipos de uni e bidimensionais. Lembrando que sempre se declara primeiro as linhas e depois as colunas.

Sub DeclaracaoDeMatriz()

```
Dim VetorLinhaDeTresDados(0 To 2, 0 To 0) As Single
```

```
Dim VetorColunaDeCincoDados(0 To 0, 0 To 4) As Single
```

```
Dim MatrizTrezLinhasDuasColunas(0 To 2, 0 To 1) As Single
```

```
Dim MatrizDuasLinhasCincoColunas(0 To 1, 0 To 4) As Single
```

End Sub

Na hora de declarar vetores, uma dica para sempre os declarar no formato correto (linha ou coluna) é trata-lo como uma matriz bidimensional e especificar “0 To 0” no índice da linha se for um vetor coluna e no da coluna se for um vetor linha, como demonstrado anteriormente.

Outra observação é que para utilizar as funções operatórias que já existem no Excel, pode-se utilizar na programação em VBA o Application.WorksheetFunction. Ele funciona da seguinte maneira para uma multiplicação de matrizes por exemplo:

Sub MultiplicacaoDeMatriz()

```
Dim A(0 To 2, 0 To 2) As Single
```

```
Dim B(0 To 0, 0 To 2) As Single
```

‘Considere que a seguir foram atribuídos valores numéricos dentro de cada um dos índices das matrizes

'...

Multiplicacao = Application.WorksheetFunction.MMult(A,B)

End Sub

Como um exemplo final para a questão de Matrizes, iremos mostrar um código que construa e exiba uma matriz 4x6 tal que, toda vez que o índice da coluna for maior que o da linha, o valor da célula será dado pelo produto entre os índices. Já se o índice da coluna for menor ou igual ao da linha, o valor da célula será o da soma dos índices.

Sub ExemploMatriz()

Dim i As Integer, j As Integer

Dim M(0 To 3, 0 To 5) As Single

For i = 0 To 3

For j = 0 To 5

If j > i Then

M(i, j) = i * j

ActiveCell.FormulaR1C1 = M(i, j)

'Essa estrutura serve para atribuir o valor dessa posição da matriz à célula selecionada ou célula ativa'

Else

M(i, j) = i + j

ActiveCell.FormulaR1C1 = M(i, j)

End If

ActiveCell.Offset(0, 1).Select

'Essa estrutura serve para selecionar a célula da coluna seguinte'

Next j

ActiveCell.Offset(1, -6).Select

'Essa estrutura serve para pular uma linha para baixo e retornar à primeira coluna da matriz'

Next i

End Sub

Lembre-se que esse código também exibe a matriz em questão na planilha, por isso, antes de ativa-lo é importante selecionar a célula a partir da qual a matriz será montada, pois são utilizadas estruturas de programação no formato ActiveCell, que usa como referência a célula ativa ou selecionada.

3.9. EXERCÍCIOS

Exercício 3.1. Dados Pessoais. O objetivo deste exercício é criar um *UserForm* capaz de permitir que, quando o usuário aperte o botão **OK** na caixa de diálogo, os valores inseridos pelo usuário nas caixas de texto (nome e sobrenome) e a opção selecionada na caixa de combinação sejam transferidos para a planilha.

Exercício 3.2. Este exercício se refere a Termodinâmica Aplicada I. Após sair de um reator, uma determinada vazão de Amônia (NH₃) passa por um trocador de calor. Sabendo que a temperatura de saída é 373,15 K, e que a pressão de operação é 30 atm, calcule a vazão volumétrica que sairá do reator utilizando a equação de estado de Van Der Waals. A vazão mássica de NH₃ é de 2000 Kg/h. Dados:

Vazão mássica (kg/h)	T _c (K)	T (K)	P _c (atm)	P (atm)	R (m ³ atm/kmol K)	Erro	M (kg/kmol)
2000	405,6	373,15	111,3	30	0,082	0,00001	17,03

Tabela 16 - Dados do Exercício de Termodinâmica Aplicada I.

Para resolver esse exercício, necessitamos saber qual a equação de estado de Van der Waals que é descrita como:

$$P = \frac{R \times T}{(V-b)} - \left(\frac{a}{V^2} \right)$$

Sendo que os fatores a e b são dados por:

$$a = \frac{27}{67} \times \frac{(R \times T_c)^2}{P_c}$$

$$b = \frac{R \times T_c}{8P_c}$$

Exercício 3.3. Crie um formulário voltado a estudantes de 16 a 20 anos, usando Caixas de Combinação que possui os dados de inscrição: Nome, Idade, Sexo e E-mail

Exercício 3.4. Crie um *UserForm* que receba dados de temperatura, quantidade de matéria e volume inseridos pelo usuário para o cálculo da pressão pela equação de estado de gás ideal a partir de um processo iterativo utilizando o comando atingir metas.

Exercício 3.5. Crie um Conversor de Unidades, usando ComboBoxes associados. Para fins práticos, trabalharemos aqui somente com comprimento, massa e força. Nosso formulário terá a seguinte aparência:

Figura 93 - UserForm Conversor de Unidades.

O procedimento que queremos do usuário é o seguinte:

- Primeiro, é escolhida uma grandeza da primeira caixa de combinação;

- b) Em seguida, é escrito um valor na caixa de texto ao lado de “Converter”;
- c) Então, é determinado a unidade do valor escrito conforme uma lista, que é função da opção escolhida para a grandeza. O mesmo vale para a terceira caixa de combinação, que determina para qual unidade o valor será convertido;
- d) Por fim, clica-se no botão de comando “Converter” e são automaticamente escritos nos dois *labels* vazios o valor após a conversão e a nova unidade (os objetos ao lado de “Resultado não são caixas de texto, são apenas *labels* esteticamente modificados).

3.10. RESPOSTAS

Exercício 3.1.

1. Antes de tudo, vamos criar nossa planilha: na célula A5, digite Nome, na célula B5, Sobrenome e na célula C5 digite “Você gosta de Morango?”.

Agora, acesse o editor de VBA e crie um *UserForm*.

Na linha Name da janela Propriedades, escreva `ufDadosPessoais` e na linha Caption escreva `Dados Pessoais`.

Na Caixa de Ferramentas, clique no ícone  e arraste até o *UserForm* para inserir uma caixa de texto (`TextBox`). Repita este procedimento mais uma vez para que seu *UserForm* tenha uma caixa de texto para o nome e outra para o sobrenome. Por fim, arraste o ícone  até o *UserForm* para inserir uma caixa de combinação (`ComboBox`) para a pergunta.

Selecione a primeira caixa de texto e escreva, na linha Name, no lugar de `TextBox1`, `tbNome` e, da mesma forma, selecionando a segunda caixa de texto, escreva no lugar de `TextBox2`, `tbSobrenome`. Selecione a caixa de combinação e escreva, na linha Name, no lugar de `ComboBox1`, `cbPergunta`.

Observação: Os nomes escolhidos para cada ferramenta são opcionais. Na resolução desse e dos demais exercícios, optou-se por utilizar um prefixo que referencia ao nome da ferramenta em inglês. Ou seja, `tbNome` para a `TextBox` Nome, e assim por diante. Entretanto, nada impede a utilização de nomes diferentes. Portanto, uma alternativa seria utilizar os prefixos para referenciar as palavras em português, como `ctNome`, que faria jus à Caixa de Texto Nome.

Insira, agora, três rótulos (`Label`: nome colocado ao lado de cada caixa de texto), que deverão ser colocados à esquerda de cada uma das caixas de texto e da caixa de combinação, clicando na Caixa de Ferramentas no ícone . Edite as linhas Caption da janela de propriedades de cada objeto, escrevendo Nome no primeiro rótulo, no segundo, Sobrenome e no terceiro, “Você gosta de morango?”.

Vá até a área de trabalho e digite na célula G1 “Sim” e G2 “Não”.

Selecione G1:G2 e renomeie o intervalo para “Resposta”.

Volte ao Visual Basic, na caixa de comando correspondente à Resposta, localize o item “`RowSource`” e digite “Resposta”.

Para montar um botão Cancelar, clique no ícone Botão de Comando () da Caixa de Ferramentas, e arraste o botão para o *UserForm*. Na janela Propriedades, mude o nome do controle de `CommandButton1` para `cbCancelar` na linha Name, digite Cancelar na linha Caption e, na propriedade `Cancel`, selecione a opção `True`. Essa opção garante que o botão seja ativado quando o usuário apertar a tecla `Esc`, como se tivesse usado o mouse, fechando a caixa de diálogo.

Na linha `Default`, selecione a opção `False`. Se for selecionada a opção `True`, o botão será ativado, assim como seria ativado com o mouse, se o usuário apertar a tecla `Enter`. Esta propriedade será reservada para o botão `OK`.

Para que o botão Cancelar funcione, ou seja, a caixa de diálogo feche quando for ativado, devemos escrever o seu código. Assim, clique duas vezes no botão, exibindo a janela de código correspondente ao projeto e aparecerá o seguinte código:

```
Private Sub cbCancelar_Click()
```

```
End Sub
```

A instrução que usamos para fechar um *UserForm* é `Unload`, que serve para limpar o objeto da memória. Essa instrução requer um parâmetro para indicar qual é o tal objeto a ser retirado da memória. No nosso caso, utilizaremos a palavra-chave **Me**, que aponta o objeto em que estamos executando o código, ou seja, nosso *UserForm*. Nosso código, então, ficaria assim:

```
Private Sub cbCancelar_Click()
```

```
    Unload Me
```

```
End Sub
```

Insira, agora, um botão **OK**, nomeando-o como `cbOK` na linha *Name* e, na linha *Caption*, escreva `OK`. Selecione, ainda, na linha *Default*, a opção `True`.

A função para o botão **OK** também é bem parecida com a anterior. Contudo, antes de fechar a caixa de diálogo, esta função guarda nas células de nossa planilha os valores presentes nas caixas de texto. Para tanto, utilizamos um objeto `Range` e estabelecemos que sua propriedade `Value` é igual ao valor da propriedade `Text` do objeto `TextBox`:

```
Private Sub cbOk_Click()
```

```
    Range("A6").Value = tbNome.Text
```

```
    Range("B6").Value = tbSobrenome.Text
```

```
    Range("C6").Value = cbPergunta.Text
```

```
End Sub
```

Agora, depois de escrever toda a programação do *UserForm*, você pode executá-lo clicando, no editor de VBA, em **Executar > Executar Sub/Userform** ou pressionando a tecla **F5**.

Figura 94 - UserForm Dados Pessoais.

Porém, o único inconveniente deste método é que ele sempre editará o nome e sobrenome nas mesmas células inicialmente inseridas (A2 e B2 respectivamente). Para contornarmos esse problema temos de trabalhar com as funções **Offset** e **ActiveCell**.

Para que o formulário, rode seguindo para a linha de baixo, sempre devemos inserir as funções dentro do comando de clique do botão **OK**. Todavia, isto faz com que seja necessário ter a célula correta selecionada antes de utilizar o *UserForm*.

Veja o roteiro abaixo que foi adicionado no botão:

```
Private Sub cbOk_Click()
```

```
    If Range("A6").Value = "" Then
```

'Se a primeira linha estiver vazia, ela será preenchida'

Range("A6").Value = tbNome.Text

Range("B6").Value = tbSobrenome.Text

Range("C6").Value = cbPergunta.Text

Else

'Se estiver preenchida:'

If Range("A7").Value = "" Then

'A segunda será preenchida'

Range("A7").Value = tbNome.Text

Range("B7").Value = tbSobrenome.Text

Range("C7").Value = cbPergunta.Text

Else

'Ou será realizado um comando para selecionar a última célula com conteúdo (só pode ser utilizado caso a segunda linha possua conteúdo')

Range("A6").End(xlDown).Select

ActiveCell.Offset(1, 0).Value = tbNome.Text

ActiveCell.Offset(1, 1).Value = tbSobrenome.Text

ActiveCell.Offset(1, 2).Value = cbPergunta.Text

End If

End If

Unload Me

End Sub

Para complementar o exercício anterior, supomos que foi construído um formulário *UserForm* para a entrada de dados, porém deseja-se que ao fim do dígito dos dados quando clicado o botão "Fim" além de finalizar o formulário, ele ordene em ordem alfabética os nomes recebidos. Para isso, trocaremos o *Nome* e *Caption* do botão Cancelar, chamando-o de cbFim com *Caption* Fim.

Como a linguagem do VBA é muito complexa e não é tão fácil saber e nem lembrar cada detalhe da sua linguagem de programação, para obter a linguagem utilizada pelo VBA para a ordenação dos dados, basta se construir uma macro que ordene os valores e assim pegar o código desta e adicionar ao botão que finaliza o *UserForm*.

Quando construímos uma macro com a ordenação, obtemos algo que possui essa forma:

```

Sub OrdemAlfabética()
'
' OrdemAlfabética Macro
'
'
'
Range("A1:B2").Select
ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort.SortFields.Add Key:=Range("A1"), _
    SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort
    .SetRange Range("A1:B1")
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With
End Sub

```

Figura 95 - Código de Ordenação Alfabética.

O que realmente nos interessa desse código é a parte dentro do retângulo. `Range("A1:B2").Select` simplesmente significa que, durante a gravação da macro, neste caso, foi selecionado o intervalo "A1:B2" para aplicação da função de ordenação alfabética, portanto esta parte não é relevante para nós. Já o resto é a ordenação em si, porém, ainda teremos que fazer algumas modificações em cima deste código.

Existem dois detalhes que devem ser mudados. Primeiramente, em `Range("A1:B1")`, localizado na quinta linha da parte destacada do código, trocaremos B1 por B1000000. A razão por trás disso é que essa parte define o intervalo que será ordenado e, para evitar limitar a quantidade de nomes listados, escolhemos um intervalo grande de forma a maximizar a chance de todas as células participarem do rearranjo em ordem alfabética. Mesmo depois de fazer isso, caso você tente rodar o *UserForm*, você perceberá que ocorrerá um problema: "Nome" e "Sobrenome" foram incluídos na ordenação. Para corrigir isso, temos que retirar a primeira linha no mesmo intervalo que modificamos anteriormente, bastando trocar A1 por A2. Agora seu formulário deve estar funcionando como desejado.

Exercício 3.2.

Utilizando apenas os conceitos da primeira parte da aula, é possível fazer uma função que cumpra com o comando do exercício. Tal função se encontra descrita abaixo:

Function Vmolar(Tc As Single, T As Single, Pc As Single, P As Single, R As Single, erro As Single) As Single

Dim a, b, Vi, Er, V As Single

$$a = (27 / 67) * (R * Tc) ^ 2 / (Pc)$$

$$b = (R * Tc) / (8 * Pc)$$

$$Vi = (R * T) / P$$

$$V = b + (R * T) / P - (a * (Vi - b)) / (P * (Vi) ^ 2)$$

$$Er = Abs(V - Vi)$$

Do While Er >= erro

$$Vi = V$$

$$V = b + (R * T) / P - (a * (Vi - b)) / (P * (Vi) ^ 2)$$

$$Er = Abs(V - Vi)$$

Loop

Vmolar = V

End Function

A lógica da resolução desse exercício se baseia em primeiro calcular os fatores a e b e alterar a equação de estado a fim de isolar o Volume Molar (consistindo em uma equação implícita e consequentemente nos forçando a efetuar um programa que realize **cálculos iterativos**).

Após essa alteração, deve-se “chutar” um volume molar inicial (V_i), que nesse caso foi calculado pela equação dos gases ideais já que o exercício não pede como valor de entrada esse primeiro volume inicial. E por fim fornecer um parâmetro de parada ao programa que será o Er .

Para finalizar, o **While** empregado leva a repetição do cálculo do volume molar utilizando o volume anterior até que o módulo de Er seja menor que o erro fornecido pelo usuário.

Fazendo primeiro o exercício dessa maneira, é possível entender a lógica que rege os processos operacionais da conta requisitada. Então, agora, podemos tentar fazer o exercício de uma maneira diferente, utilizando UserForms.

1. Primeiro preparamos a nossa planilha da maneira que é demonstrada abaixo:

	A	B	C	D
1	Composto	Temperatura (K)	Pressão (Pa)	Volume (m ³)
2				
3				
4				
5				
6				

Figura 96 - Preparação da planilha.

2. Na aba desenvolvedor, clique em “Visual Basic”, “Inserir” e “Userform”. Monte o seguinte formulário:

Figura 97 - Formulário do Exercício 2.3.

Figura 98 - Formulário do Exercício 2.3.

3. Agora, renomeie os objetos:

Renomeie (*Name*) as caixas de texto do seu formulário, aquela relativa a composto deve ser renomeada para “tbcomposto”, para a temperatura crítica renomeie para “tbtc”, a pressão crítica para “tbpc”, a temperatura para “tbt” e por último a pressão para “tbp”. Agora para os botões de comando deve-se renomear tanto em *Name* quanto em *Caption*, o botão de próximo para “cbpróximo” e “Próximo>>>”; para os botões de saída “cbsair” e “Sair”; para o botão que realiza o cálculo “cbcalculo” e “Calcular”; para o botão de voltar “cbvoltar” e “Voltar”. Por último os rótulos, necessitamos também mudar tanto o *Name* quanto *Caption* para temperatura crítica “lbltc” e “Temperatura Crítica (K)”; para o composto “lblcomposto” e “Composto”; para a pressão crítica “lblpc” e “Pressão Crítica (atm)”; para a temperatura “lblt” e “Temperatura (K)”; para pressão “lblp” e “Pressão (atm)”; para o volume “lblv” e “Volume”; para o resultado do volume “lblvresultado” e neste caso a *caption* será nosso resultado logo não precisamos colocar nenhum texto. Agora como últimos nomes para o *multipage* colocaremos na *Caption* “Composto” e “Calcular Volume” respectivamente.

4. Agora já renomeadas as ferramentas podemos começar com os códigos.

5. Começamos com os mais simples dos botões sair e voltar:

```
Private Sub cbSair_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cbSair2_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cbvoltar_Click()
```

```
MultiPage1.Value = 0
```

```
End Sub
```

6. Feitos os códigos mais simples podemos partir para os mais complexos, começando com o código de inicialização do UserForm, nos certificando que abriremos o UserForm na primeira página do multipáginas e que a primeira célula vazia da coluna de compostos esteja selecionada:

'Essa subrotina é utilizada para, assim que o UserForm for inicializado, a primeira célula em branco da tabela seja selecionada'

Private Sub UserForm_Initialize()

MultiPage1.Value = 0

Range("A2").Select

If Range("A2").Value <> "" Then

 If Range("A3").Value = "" Then

 ActiveCell.Offset(1, 0).Select

 Else

 Range("A2").End(xlDown).Select

 ActiveCell.Offset(1, 0).Select

 End If

End If

End Sub

7. Podemos agora partir para os botões começando pelo botão de próximo, nestes queremos ter a certeza que quando estivermos digitando, os valores do UserForm não nos deixem avançar caso alguma caixa de texto não esteja preenchida.

Private Sub cbProximo_Click()

If tbComposto.Value = "" Or tbtc.Value = "" Or tbpc.Value = "" Then

 MsgBox "Preencha todos os campos"

Exit Sub

Else

 MultiPage1.Value = 1

End If

End Sub

8. Já na aba de cálculo de volume, a última coisa que nos falta, é colocar o código que fará o cálculo do nosso volume e será ativado quando dermos click no botão calcular, usaremos um método de cálculo muito parecido com aquele visto na terceira aula, no exercício de termodinâmica, porém faremos com que ele funcione dentro do User Forms e plote os valores obtidos na nossa planilha:

Private Sub cbcálculo_Click()

 If tbt.Value = "" Or tbp.Value = "" Then

 MsgBox "Preencha todos os campos"

 Exit Sub

End If

 lblresultado.Caption = Vmolar(tbtc, tbt, tbpc, tbp, 0.082, 0.0001)

 ActiveCell.Value = tbComposto.Value

 ActiveCell.Offset(0, 1).Value = tbt.Value

 ActiveCell.Offset(0, 2).Value = tbp.Value

```
ActiveCell.Offset(0, 3).Value = Vmolar(tbtc, tbt, tbpc, tpb, 0.082, 0.0001)
```

```
ActiveCell.Offset(1, 0).Select
```

End Sub

9. Por último, temos de encontrar uma maneira de chamar esse UserForm de dentro da nossa planilha, um dos jeitos mais fáceis, é relacionando este User Form a um módulo da seguinte forma.

Sub FormularioVanderWalls()

```
ufVolumeVanderWalls.Show
```

End Sub

Exercício 3.3.

Antes de começarmos, monte uma tabela, começando de B2 contendo: Nome, Idade, Sexo e e-mail, nessa ordem.

1. Na aba desenvolvedor, clique em “Visual Basic”, “Inserir” e “Userform”. Monte o seguinte formulário:

Figura 99 - Controles do Exercício 2.4.

2. Agora, renomeie os objetos:

Renomeie (Name) das caixas de texto do seu formulário, a correspondente ao nome para “tbNome” e para e-mail “tbEmail”, das caixas de combinação para “cbxIdade” e “cbxSexo”. Para os botões, “cbOK”, “cbApagar” e “cbCancelar”. A seguir, mude os Captions até ficar igual a figura a seguir:

Figura 100 - UserForm Inscrição.

3. Montado e renomeado, agora vamos começar a configurar o nosso formulário.
4. Vá até a área de trabalho e digite na célula K2 “Feminino” e K3 “Masculino” e de L2 até L26 digite números de 16 a 40.
5. Selecione K2:K3 e renomeie o intervalo para “Sexo”, em seguida L2:L26 e renomeie para “Idade”

6. Volte ao Visual Basic, na caixa de comando correspondente à Idade, localize o item “RowSource” e digite “Idade”.
7. Faça o mesmo procedimento para a outra caixa de comando digitando “Sexo” em “RowSource”

A partir de agora, vamos configurar os botões.

8. Botão “Cancelar”

```
Private Sub cbCancelar_Click()
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

9. Botão “Apagar”

```
Private Sub cbApagar_Click()
```

```
tbNome.Text = ""
```

```
tbEmail.Text = ""
```

```
cbSexo.Text = ""
```

```
cbIdade.Text = ""
```

```
tbNome.SetFocus
```

```
End Sub
```

10. Botão “Confirmar”

```
Private Sub cbOk_Click()
```

```
Range("B7").Select
```

```
    If Range("B7").Value <> "" Then
```

```
        If Range("B8").Value = "" Then
```

```
            ActiveCell.Offset(1, 0).Select
```

```
        Else
```

```
            Range("B7").End(xlDown).Select
```

```
            ActiveCell.Offset(1, 0).Select
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = tbNome
```

```
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = cbIdade
```

```
ActiveCell.Offset(0, 1).Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = cbSexo
```

```
ActiveCell.Offset(0, 1).FormulaR1C1 = tbEmail
```

```
tbNome.Text = ""
```

```
tbEmail.Text = ""
```

```
cbSexo.Text = ""
```

```
cbldade.Text = ""
```

```
tbNome.SetFocus
```

End Sub

- Uma vez configurado os botões, vamos para a área de trabalho. Aba desenvolvedor, Inserir e clique em “Botão”.
- Ao inserir o botão clique em “Novo” e digite “Inscrição.Show” (Lembre-se de ter renomeado o seu Userform). Execute o programa.

Exercício 3.4.

- Vamos criar um UserForm chamado ufEncontraPressão que receba dados de temperatura, quantidade de matéria e volume inseridos pelo usuário para o cálculo da pressão pela equação de estado de gás ideal a partir de um processo iterativo utilizando o comando atingir metas. Para isso iremos criar um botão para a inserção da macro que executará o UserForm para receber os dados do usuário que então serão utilizados para o cálculo da pressão. Para este exercício, ainda, iremos dar ao usuário duas opções para as unidades utilizadas na resolução: K, mol, L e atm ou K, mol, m³ e Pa. Nossa planilha terá o seguinte formato:

	A	B	C	D	E
1	T	n	V	R	P
2					
3					
4					

Figura 101 - Planilha para uso do UserForm Encontra Pressão.

- Criaremos, então, um formulário, obtendo:

Figura 102 - UserForm Encontra Pressão.

Para tanto, dessa vez também utilizaremos o objeto **frame** ou **quadro** (), para melhorar a apresentação do formulário. Ainda, pode-se verificar que se você colocar outros objetos dentro de um frame, se você, por exemplo, arrastar este, tudo aquilo contido nele também será arrastado, pois os objetos dentro de um mesmo quadro formam um grupo. Depois de colocar os frames, mude o *Caption* de um para “Unidades” e do outro para “Dados”.

- Agora, criamos três rótulos e três caixas de texto, colocando-os nos lugares apropriados, assim como dois botões de comando, mudando o campo *Caption* de cada um desses elementos para o que queremos que apareça no nosso UserForm. Mudamos, também, o *Name* das caixas de texto para “tbTemperatura”, “tbMols” e

“tbVolume” e o dos botões para “cbPressao” e “cbFim”. Para o botão “Fim”, ainda devemos mudar *Default* para “True”.

- Para a escolha do sistema de unidades a ser utilizado usaremos ainda outro objeto da Caixa de Ferramentas, o **OptionButton** ou **botão de opção** (). Arraste, então, dois desse para o UserForm no frame das unidades e mude seus campos *Caption* para K, mol, L, atm e K, mol, m³ e Pa, assim como seus nomes para obUnidades1 e obUnidades2. Algo que é bastante relevante para esse tipo de objeto é o campo *GroupName*. Para *OptionButtons* com o mesmo *GroupName*, somente um desses poderá ser selecionado no formulário. Contudo, ao colocarmos botões de opção no mesmo frame, eles automaticamente funcionarão separadamente dos demais, como se nós tivéssemos criado *GroupNames* diferentes. Nesse caso, podemos deixar o campo em branco.
- Em seguida, trabalharemos no código do botão “Pressão”. Como nos deparamos com a mesma situação encontrada anteriormente, onde não temos conhecimento do código a ser utilizado, gravamos uma macro que utiliza o comando *Atingir Metas* e então pegamos o seu código:

```
Sub AtingirMetas ()
'
' AtingirMetas Macro
'
'
'
Range("A2").GoalSeek Goal:=1, ChangingCell:=Range("E2")
End Sub
```

Figura 103 - Código que executa o attingir metas.

- Escrevemos, então, o código:

```
Private Sub cbPressão_Click()

Dim CteR As Single

Dim VarT As Double

Dim VarP As Double

If obUnidades1.Value = True Then

    CteR = 8.31

Else

    CteR = 0.082

End If

VarT = tbTemperatura.Value

ActiveCell.Offset(0, 1).Value = tbMols.Value

ActiveCell.Offset(0, 2).Value = tbVolume.Value

ActiveCell.Offset(0, 3).Value = CteR

ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[4]*RC[2]/(RC[3]*RC[1])"

ActiveCell.GoalSeek Goal:=VarT, ChangingCell:=ActiveCell.Offset(0, 4)

VarP = Round(ActiveCell.Offset(0, 4).Value, 2)

If obUnidades1.Value = True Then

    ActiveCell.Offset(0, 4).Value = VarP & " Pa"

    ActiveCell.Offset(0, 2).Value = tbVolume.Value & " m^3"
```


No VBA, uma macro é simplesmente um procedimento `Sub Nome()...End Sub`, logo, tudo o que precisamos fazer é gravar uma macro e parar a gravação sem fazer nada ou inserir um módulo e escrever:

Sub MostrarUserForm ()

ufEncontraPressao.Show

End Sub

Onde o método *Show* faz com que o UserForm *ufEncontraPressao* seja mostrado na tela do usuário.

11. Outra coisa que ainda é possível fazer é inserir uma imagem na planilha, sendo que, se o usuário clicar na imagem, ela funcionará como um botão que ativará a macro *MostrarUserForm*. Para que a imagem ou forma inserida na planilha se torne um botão, clique com o botão direito do mouse sobre o objeto escolhido e selecione a opção “Atribuir Macro”.

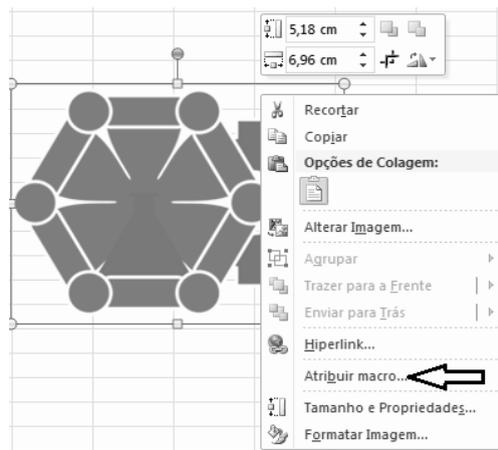


Figura 105 - Atribuição de uma Macro a uma Imagem.

Escolha a macro *MostrarUserForm* e pronto, o formulário está criado em conjunto com a macro! Para executar a função desejada, basta apenas clicar sobre a imagem.

Exercício 3.5.

Neste exercício abordaremos os seguintes tópicos: criação e design de UserForms; conversão de unidades de medida; uso da estrutura *Select Case*; propriedades, métodos e eventos de *ComboBoxes*; associação de *ComboBoxes*. Iremos, agora, iniciar o exercício, montando a estrutura gráfica do nosso formulário. Para tal:

1. Crie um UserForm e coloque nele 5 labels, 3 *ComboBoxes*, 1 text box, 1 command button e arranje-os conforme a figura. Agora, iremos definir algumas propriedades para os nossos objetos.
2. Antes de tudo, nomearemos o nosso UserForm. Escreva *ufConversorDeUnidades* no seu campo “Name” e “Conversor de Unidades” para o “Caption”.
3. Para os três primeiros labels, seguimos o procedimento apresentado até agora, ou seja, apenas mudamos suas propriedades *Caption* para “Grandeza”, “Converter” e “Resultado”. Neste exercício, os dois labels restantes serão utilizados de forma diferente: queremos que neles apareçam os resultados da conversão, mas não queremos que o usuário consiga modificar esses valores. Assim, deixe os captions desses dois rótulos vazios e, se desejar, mude a cor de fundo e o estilo para o da figura (propriedade *BackColor* branco e *SpecialEffect2 – fmSpecialEffectSunken*), mas não é necessário.



Figura 106 - Escolha da Cor de Fundo de um *Label*.



Figura 107 - Escolha do design de um *Label*.

Ainda outra diferença é que, desta vez, iremos referenciar esses objetos na nossa programação e, assim, iremos nomeá-los, ao contrário dos outros *labels*. No campo *Name* desses rótulos, escreva "lbResultado" para aquele à direita de "Resultado", no qual será exibido o resultado e "lbUnidadeRes" para o outro, no qual será mostrado a unidade do resultado.

- Definiremos, agora, propriedades para as caixas de combinação. Primeiramente, escolheremos os nomes que usaremos no nosso código. Nos campos *Name* das caixas, digite "cbxGrandeza" para a primeira, "cbxUnidade1" para a segunda e "cbxUnidade2" para a última. Também alteraremos a propriedade *Style* de todas elas para a opção "2 - fmStyleDropDownList". Essa mudança tem o propósito de não permitir que o usuário escreva nas caixas de combinação, o que é possível com a opção padrão. Com essa modificação, só é possível escolher dentre as opções que apresentamos.

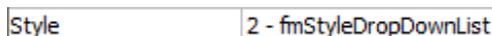


Figura 108 - Estilo de um *ComboBox* que não permite ao usuário escrever.

- Para a caixa de texto, apenas mudaremos seu *Name* para tbValor e para o botão de comando, mudaremos seu *Name* para cbConverter e seu *Caption* para "Converter".

Iniciaremos, agora, a programar os nossos controles.

- Temos, no nosso formulário, três caixas de combinação e queremos que o conteúdo daquelas que mostrarão opções de unidades dependam da opção escolhida para a grandeza.

Primeiramente, iremos determinar quais serão as opções mostradas ao usuário para a grandeza que, como dito anteriormente, serão comprimento, força e massa. Para tanto, iremos utilizar o evento **Initialize** do próprio UserForm, ou seja, no momento em que o formulário, serão adicionadas as opções para a grandeza. O código utilizado será o seguinte:

```
Private Sub UserForm_Initialize()
    cbxGrandeza.AddItem "Comprimento", 0
    cbxGrandeza.AddItem "Força", 1
    cbxGrandeza.AddItem "Massa", 2
End Sub
```

Onde "AddItem" é um método que permite adicionar opções a uma Combo Box, escrevendo ao seu lado uma String e, se for necessário, um índice também, começando do 0.

- Agora, temos que colocar as opções de unidades, conforme a grandeza selecionada. Para isso, utilizaremos o evento **Change** da cbxGrandeza, que está relacionado com a seleção de uma opção. O código será o seguinte:

```
Private Sub cbxGrandeza_Change()
```

```
cbxUnidade1.Clear
```

```
cbxUnidade2.Clear
```

```
Select Case cbxGrandeza.ListIndex
```

```
Case Is = 0
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "ft", 0
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "in", 1
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "m", 2
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "ft", 0
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "in", 1
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "m", 2
```

```
Case Is = 1
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "kgf", 0
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "lbf", 1
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "N", 2
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "pdl", 3
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "kgf", 0
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "lbf", 1
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "N", 2
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "pdl", 3
```

```
Case Is = 2
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "g", 0
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "kg", 1
```

```
    cbxUnidade1.AddItem "lb", 2
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "g", 0
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "kg", 1
```

```
    cbxUnidade2.AddItem "lb", 2
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

Primeiramente, vamos analisar a estrutura Select Case. Observe que nossa variável de referência é a `cbxGrandeza.ListIndex`, onde `ListIndex` é uma propriedade de uma Combo Box que possui o valor do índice da opção selecionada nesta. Ou seja, quando digitamos “Case is = ...”, estamos estabelecendo condições para o valor do índice, sendo que o código subordinado à condição verdadeira será executado. Assim, caso o índice da seleção na `cbxGrandeza` seja igual a 0, isso significa que a grandeza escolhida pelo usuário foi “Comprimento”, e serão adicionadas as opções ft (pé), in (polegada) e m (metro) nas caixas de combinação para as unidades. A mesma lógica se aplica para as outras grandezas.

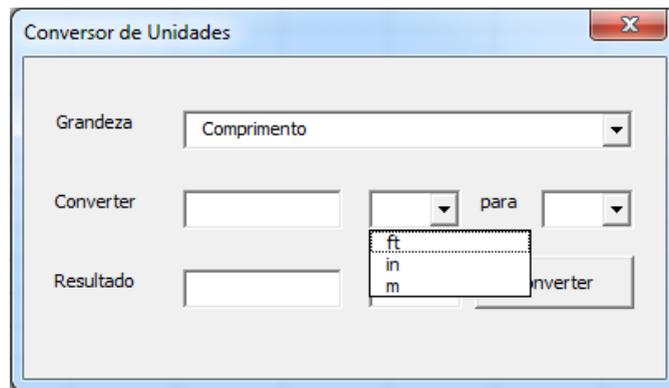


Figura 109 - Unidades da Opção Comprimento.

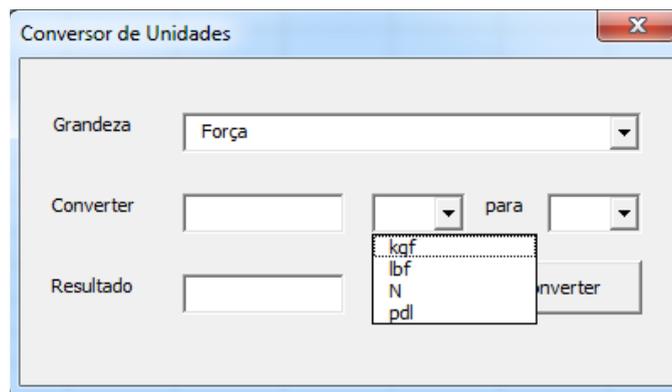


Figura 110 - Unidades da Opção Força.

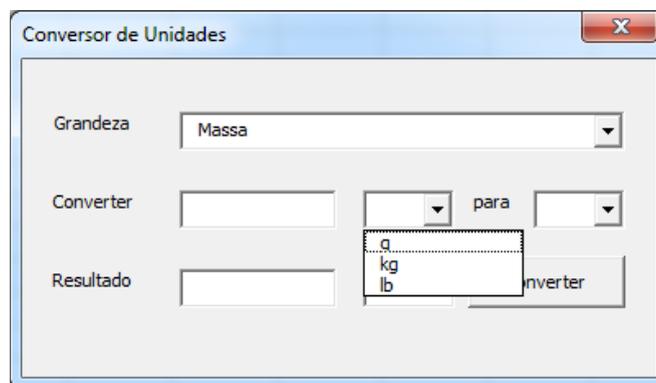


Figura 111 - Unidades da Opção Massa.

Note, no entanto, que no começo da subrotina está escrito “cbxUnidade1.Clear” e “cbxUnidade2.Clear”. O “Clear” é um método que descarta as opções já existentes na Combo Box e deve ser utilizado para que, caso o usuário mude a opção selecionada para a grandeza, as unidades da grandeza anterior não apareçam mais na lista exibida.

- O próximo passo é criar o mecanismo de conversão do valor de entrada do usuário. Para isso, damos dois cliques no botão de comando cbConverter e inserimos o código a seguir:

```
Private Sub cbConverter_Click()
```

```
    Dim valor As Double
```

```
    Dim index1 As Integer
```

```
    Dim index2 As Integer
```

```
    valor = tbValor.Value
```

index1 = cbxUnidade1.ListIndex

index2 = cbxUnidade2.ListIndex

Select Case cbxGrandeza.ListIndex

Case Is = 0

If index1 = index2 Then

IbResultado.Caption = valor

Elseif index1 = 0 And index2 = 1 Then

IbResultado.Caption = valor * 12

Elseif index1 = 0 And index2 = 2 Then

IbResultado.Caption = valor * 0.3048

Elseif index1 = 1 And index2 = 0 Then

IbResultado.Caption = valor * 0.8333

Elseif index1 = 1 And index2 = 2 Then

IbResultado.Caption = valor * 0.0254

Elseif index1 = 2 And index2 = 0 Then

IbResultado.Caption = valor * 3.2808

Elseif index1 = 2 And index2 = 1 Then

IbResultado.Caption = valor * 39.3701

End If

IbUnidadeRes.Caption = cbxUnidade2.Text

Case Is = 1

If index1 = index2 Then

IbResultado.Caption = valor

Elseif index1 = 0 And index2 = 1 Then

IbResultado.Caption = valor * 2.2046

Elseif index1 = 0 And index2 = 2 Then

IbResultado.Caption = valor * 9.80665

Elseif index1 = 0 And index2 = 3 Then

IbResultado.Caption = valor * 70.932

Elseif index1 = 1 And index2 = 0 Then

IbResultado.Caption = valor * 0.45359

Elseif index1 = 1 And index2 = 2 Then

IbResultado.Caption = valor * 4.4482

Elseif index1 = 1 And index2 = 3 Then

IbResultado.Caption = valor * 32174

Elseif index1 = 2 And index2 = 0 Then

```

        lbResultado.Caption = valor * 0.10197
    ElseIf index1 = 2 And index2 = 1 Then
        lbResultado.Caption = valor * 0.22481
    ElseIf index1 = 2 And index2 = 3 Then
        lbResultado.Caption = valor * 7.233
    ElseIf index1 = 3 And index2 = 0 Then
        lbResultado.Caption = valor * 0.014098
    ElseIf index1 = 3 And index2 = 1 Then
        lbResultado.Caption = valor * 0.031081
    ElseIf index1 = 3 And index2 = 2 Then
        lbResultado.Caption = valor * 0.138255
    End If

    lbUnidadeRes.Caption = cbxUnidade2.Text

Case Is = 2
    If index1 = index2 Then
        lbResultado.Caption = valor
    ElseIf index1 = 0 And index2 = 1 Then
        lbResultado.Caption = valor * 0.001
    ElseIf index1 = 0 And index2 = 2 Then
        lbResultado.Caption = valor * 0.002205
    ElseIf index1 = 1 And index2 = 0 Then
        lbResultado.Caption = valor * 1000
    ElseIf index1 = 1 And index2 = 2 Then
        lbResultado.Caption = valor * 2.20462
    ElseIf index1 = 2 And index2 = 0 Then
        lbResultado.Caption = valor * 453.59237
    ElseIf index1 = 2 And index2 = 1 Then
        lbResultado.Caption = valor * 0.45359
    End If

    lbUnidadeRes.Caption = cbxUnidade2.Text

End Select

tbValor.SetFocus

With tbValor
    .SelStart = 0
    .SelLength = Len(.Text)
End With

```

End Sub

Nessa subrotina, as variáveis declaradas – valor, index1 e index2 – não são obrigatórias, mas são usadas para diminuir o trabalho de reescrever tbValor.Value, cbxUnidade1.ListIndex e cbxUnidade2.ListIndex a todo o momento.

Na sequência, é aberta outra estrutura Select Case, na qual o primeiro critério que decide o código a ser executado é o índice da opção selecionada na cbxGrandeza. Determinado isso, verificam-se quais as opções escolhidas para unidade inicial e final, sendo que para cada arranjo possível destas (a ordem importa), será utilizado um fator de conversão específico, que será multiplicado pelo valor de entrada a fim de se obter o valor final. Este resultado, por sua vez, será o valor atribuído à propriedade “Caption” do label lbResultado – “lbResultado.Caption = valor * fator de conversão”. Ainda, ao final de caso – “Comprimento”, “Força” ou “Massa” – escrevemos “lbUnidadeRes.Caption = cbxUnidade2.Text” para mostrar no label restante, qual é a unidade do novo valor.

O restante do código é apenas um polimento. Ele serve para que, quando o usuário clicar no botão “Converter”, o conteúdo da caixa de texto para o valor de entrada seja selecionado, permitindo que um novo valor possa ser digitado imediatamente.

Feito isso, o formulário está pronto para uso!

Figura 112 - Exemplo do UserForm Conversor de Unidades Pronto.

9. Agora é possível inserir um botão na própria planilha para chamar o formulário. Para fazer isso, basta clicar em Inserir na aba Desenvolvedor, escolher e criar um botão. Em seguida, clique em “Novo” e, na subrotina criada, digite “ufConversorDeUnidades.Show”.

Fica como desafio para a/o estudante adicionar conversão de Pressão conforme o disponibilizado a seguir:

Converter de	Para	Multiplicar por
atm	bar	1,01325
atm	Pa	101325
atm	psi	14,7
bar	atm	0,987
bar	Pa	100000
bar	psi	14,5038
Pa	atm	0.0000098692
Pa	bar	0,00001
Pa	psi	0,00014504
psi	atm	0,06804
psi	bar	0,06895

psi	Pa	6894,76
-----	----	---------

Tabela 17 - Conversões de Unidades de Pressão.

CAPÍTULO 4

4. ÁLGEBRA LINEAR, AJUSTE DE MODELOS E BALANÇO ENERGÉTICO

4.1. SOLVER

Como vimos até agora no minicurso, o Excel permite o uso de diferentes formas de cálculo, desde as mais simples, como operações aritméticas, às mais sofisticadas, como as ferramentas de teste de hipóteses. Uma dessas ferramentas é a “Atingir meta”, que, por meio de cálculos iterativos, altera o valor de uma célula até que o valor desejado para uma determinada equação seja encontrado.

Nem sempre desejamos encontrar apenas a raiz de uma equação ou o valor de uma vazão que satisfaça um balanço de massa, mas lidamos constantemente na nossa profissão com questões relacionadas ao cálculo de otimização e com problemas mais complexos, que exigem a solução de sistemas lineares ou não lineares. Assim, apresentamos neste capítulo uma ferramenta bastante poderosa integrada ao Excel: o Solver.

4.1.1. Habilitando o Solver

Apesar de o Solver ser uma ferramenta integrada ao Excel, é possível que não esteja habilitado na sua máquina. Siga os passos abaixo para carregar esse suplemento.

1. Clique na guia Arquivo e então no item Opções.
2. A janela de opções do Excel será aberta. Procure a categoria Suplementos e clique nela.
3. Se a ferramenta não estiver instalada, você a encontrará junto aos Suplementos de Aplicativo Inativos.
4. Localize a caixa Gerenciador e clique em ir.
5. Na janela que abrirá, marque a opção Solver e clique em OK.

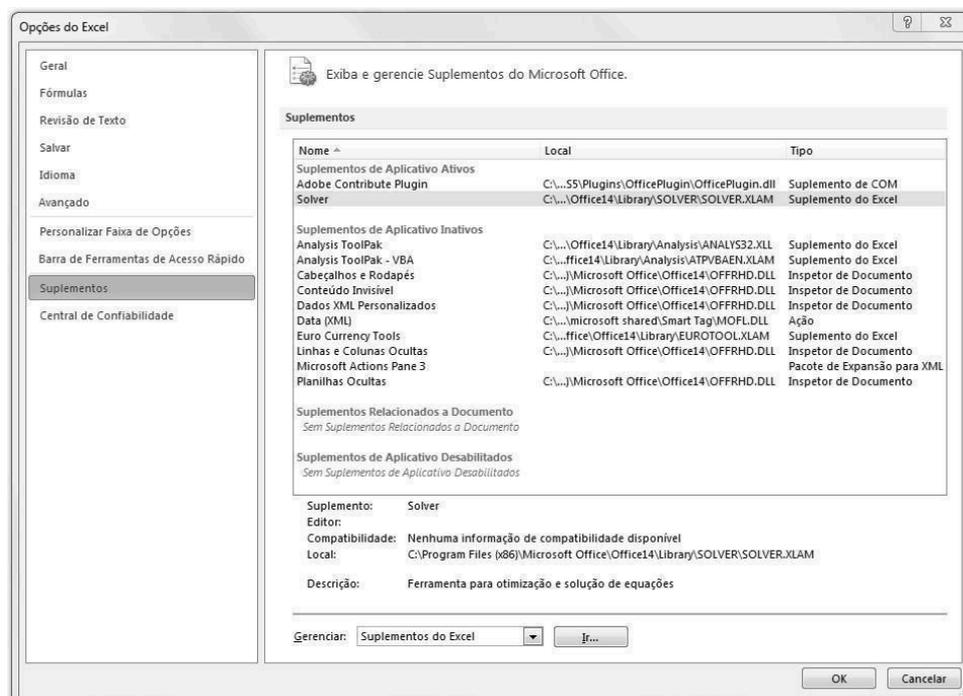


Figura 113 - Janela de suplementos do Excel.

6. Aguarde alguns momentos para a instalação da ferramenta. Feito isso, você encontrará o Solver na guia Dados, no grupo Análise desse friso.

4.1.2. O que o Solver faz?

O objetivo do Solver é determinar o valor de uma célula alterando outras células. A célula cujo valor será determinado é chamada célula de objetivo. As células que serão alteradas durante os cálculos são chamadas células variáveis. Além disso, você pode definir restrições para essas células, o que será importante, por exemplo, para cálculos de otimização.

Assim como no teste de hipóteses “Atingir meta”, a célula objetivo deve conter uma fórmula ligando uma célula a outra na expressão matemática escrita na caixa de fórmula. Lembre-se que, ao usar qualquer teste de hipóteses, a fórmula que está inserida na célula de objetivo deve ser função do valor das células variáveis. Isto quer dizer que a célula de objetivo deve sofrer influência das células variáveis escolhidas.

A grande vantagem do Solver é trabalhar com mais de uma célula variável em seus cálculos. Ao selecioná-las, estas devem obrigatoriamente conter valores numéricos, não podendo ser fórmulas. Não se deve esquecer também de preencher essas células com estimativas iniciais para solucionar o problema.

4.1.3. Métodos de solução do Solver

Além de conhecer a ferramenta, é preciso conhecer o problema para o qual você está utilizando o Solver. Essa ferramenta trabalha com três diferentes métodos, cada um mais adequado que o outro de acordo com o tipo de problema.

- **Método do Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) Não Linear** é bastante adequado para problemas não lineares. Entretanto, deve-se observar o comportamento das equações envolvidas no problema. Como é um método que trabalha com a derivada da função objetivo, o problema matemático deve ser suave.
- **Método LP Simplex** é utilizado quando se está trabalhando com um problema linear. Isso inclui a célula da função objetivo e, caso existam, as células das restrições também.
- **Método Evolutionary** é utilizado para a resolução de problemas não lineares e possui a vantagem de ser capaz de resolver problemas não suaves, diferente do GRG não linear. No entanto, assim como todo método genético ou evolucionário, ele não é capaz de encontrar uma solução ótima, mas uma solução boa dentre os candidatos à solução testados. Isso porque o método busca um candidato que tenha resultado melhor que os testados anteriormente, dentro de critérios estabelecidos por regras heurísticas.

4.1.4. Preparando o algoritmo no Solver

Agora vamos conhecer a janela do Solver. No friso Dados, clique em Solver, no grupo Análise. A janela “Parâmetros do Solver” será aberta.

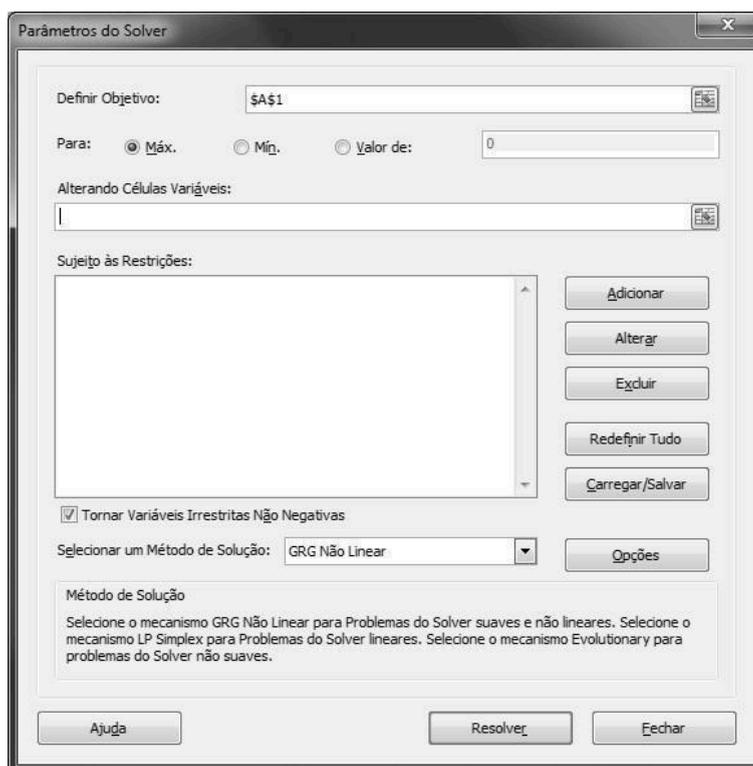


Figura 114 - Janela de parâmetros do Solver.

Na caixa “Definir Objetivo”, deve-se selecionar uma célula a partir de sua referência (por exemplo, **A1**) ou pelo seu nome. Abaixo dessa caixa, você pode selecionar qual é o objetivo do problema:

- **Máx.** – encontra o máximo valor para a função da célula de objetivo com base nas restrições especificadas.
- **Mín.** – encontra o mínimo valor para a função da célula de objetivo com base nas restrições especificadas.
- **Valor de** – determina a solução do problema para um valor desejado para a função da célula de objetivo com base nas restrições especificadas.

Na caixa “Sujeito às Restrições”, você determina quais são as restrições que devem ser respeitadas, que podem ser aplicadas às células variáveis ou a células cujas funções estão expressas em termos de células variáveis. As restrições disponíveis são em relação a célula de referência e a célula de restrição são:

- => - Igual ou maior.
- =< - Igual ou menor.
- **int** - gerará um inteiro na caixa de restrição.
- **bin** - gerará um binário na caixa de restrição.
- **dif** - gerará tudo diferente na caixa de restrição.

4.1.5. Estratégias de solução de problemas no Solver

Qualquer problema prático possui suas particularidades, o que torna difícil imaginar uma regra que se aplique a todos. Porém, podemos adotar algumas estratégias que nos ajudarão a encontrar uma forma de estruturar e resolver um problema.

- Interpretar o problema: você pode se deparar com um grande número de informações no problema que está tentando resolver, porém nem todas serão relevantes para a estruturação do seu método de solução.
- Identificar o objetivo do problema: como o Solver requer uma célula objetivo, você deve conhecer o problema e qual deve ser seu objetivo ao solucioná-lo; resolver uma equação? Otimizar uma função?

- c) Equacionar o problema: transforme as informações relevantes que você encontrou em equações matemáticas. Isso será importante principalmente para a sua decisão de algoritmo ou método mais adequado. A partir disso, crie a função objetivo para o problema.
- d) Identifique as variáveis que influenciam a função objetivo: ao trabalhar com o Solver, você apontará variáveis que serão manipuladas para que o objetivo desejado seja alcançado. Busque, entre todas as variáveis do problema, aquelas que têm efeito sobre a função objetivo.
- e) Identifique as restrições do problema: não se esqueça de que um problema prático não é somente um problema matemático. Sua solução deve ser coerente com a realidade.

Para entender melhor como funcionam estas etapas, realize a seguinte atividade: determine o máximo produto entre um número A e um número B, cuja soma A+B seja igual a 10.

Pelo enunciado, sabemos que temos duas variáveis: A e B. Se fôssemos resolver o problema na mão, precisaríamos aplicar nossos conhecimentos de cálculo diferencial e integral. Com o método usado pelo Excel, valores para A e B serão testados a fim de que, dentro da restrição exigida, o objetivo seja alcançado. Apesar de ser um problema simples, ele será útil para exercitarmos as estratégias apresentadas. Acompanhe o raciocínio.

1. O objetivo do problema é determinar o máximo produto entre dois números. Assim, devemos ter uma célula que conterá a variável produto.

Devemos lembrar que a célula de objetivo deve ser expressa por uma função. Como o objetivo é determinar o produto máximo, precisamos, então, de uma função que faça o produto entre os dois números. Assim, a célula Máximo deverá conter a expressão **=A*B**.

Do passo anterior, vemos que a função objetivo possui duas variáveis: A e B. Então, precisaremos de duas células para essas variáveis. Se você as nomear A e B, a expressão da função objetivo ficará da forma como apresentamos. Se não, basta fazer como antes, selecionando o endereço das células na planilha.

O enunciado pede que a soma entre os números seja igual a 10. Assim, essa é a restrição do problema. E como a restrição é uma soma, a célula Soma deverá conter a expressão **=A+B**.

Vamos montar a planilha com o que sabemos até agora. Ela pode ficar mais ou menos assim, já com as estimativas iniciais para A e B:

A	B	Máximo	Soma

Figura 115 - Formato para a atividade A+B.

Agora executaremos o Solver. Configure a janela de diálogo da seguinte forma:

- Definir Objetivo: **\$D\$7**
- Para: **Máx.**
- Alterando Células Variáveis: **\$B\$7:\$C\$7**
- Sujeito às Restrições: **\$E\$7 = 10**
- Selecionar um Método de Solução: **GRG Não Linear**

E então clique em Resolver. Você deverá encontrar que A e B são iguais a 5, cujo produto resulta em 25.

4.2. SOLUÇÃO DE SISTEMAS LINEARES UTILIZANDO O SOLVER

Muitas serão as situações na Engenharia Química em que será necessário resolver sistemas de equações algébricas lineares. E o Solver pode ser facilmente usado para resolver esse tipo de problema.

Dado um sistema de equações lineares:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = b_3$$

Tal sistema pode ser escrito da forma matricial:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Ou, simbolicamente:

$$A_{ij} \times x_j = b_j$$

Para encontrar os valores de x_k que satisfaçam tal igualdade, existem quatro formas de resolver:

1. Por meio da aplicação direta do Solver;

Por meio do cálculo matricial com apoio do Solver;

Por aplicação direta do cálculo matricial sem uso do Solver. Neste caso usando a seguinte relação onde A_{ij}^{-1} representa a inversa da matriz dos coeficientes:

$$X_j = A_{ij}^{-1} \times b_j$$

Por aplicação direta do cálculo matricial utilizando programação em VBA.

Nenhuma das três formas apresenta vantagem particular sobre as demais. No entanto, a aplicação direta do Solver é a mais concisa e, por isso mais simples. Realizaremos então uma atividade que explore todos estes caminhos:

Encontrar a solução para o seguinte sistema de equações:

$$3x_1 - x_2 = 5$$

$$-2x_1 + x_2 + x_3 = 0$$

$$2x_1 - x_2 + 4x_3 = 15$$

A resolução pode ser dividida em duas etapas: verificar se o sistema tem solução e encontrar a solução do sistema, caso exista.

1ª Etapa:

1. Considerando que o sistema não é homogêneo, existirá uma solução não trivial apenas se o determinante da matriz dos coeficientes A_{ij} for diferente de zero. Isso será verificado uma vez para os três casos.

Escrever uma matriz com os coeficientes não independentes.

1ª Etapa: verificar se o sistema tem solução

$$\begin{vmatrix} 3 & -1 & 0 \\ -2 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & 4 \end{vmatrix} \Delta =$$

Figura 116 - Matriz de coeficientes para o cálculo do determinante.

Selecionar a célula **K13** e no friso Fórmulas selecione a opção Matemática e Trigonométrica e clique em **MATRIZ.DETERM.**

Selecionar a matriz dos coeficientes e clique em OK.

3	-1	0
-2	1	1
2	-1	4

$$\Delta = \text{=MATRIZ.DETERM(F12:H14)}$$

Figura 117 - Seleção da matriz dos coeficientes para o cálculo do determinante.

Após clicar em OK, o valor será $\Delta = 5$. Portanto, o sistema admite solução.

2ª Etapa: Alternativa 1

Resolução do problema com a aplicação direta do Solver.

1. Para usar o Simplex, comece reorganizando as equações para que os termos à direita da igualdade sejam nulos:

$$3x_1 - x_2 - 5 = 0$$

$$-2x_1 + x_2 + x_3 = 0$$

$$2x_1 - x_2 + 4x_3 - 15 = 0$$

2. Escreva células para os valores de x com chutes iniciais e células para o resultado das equações.

x1.		f1.	
x2.		f2.	
x3.		f3.	

Figura 118 - Solução com aplicação direta do Solver.

3. É relevante ressaltar que alguns termos são reservados e não podem ser usados para nomear células. Nomes como c, x1 ou a1 não são permitidos. Assim, é necessário adaptar o nome da célula para não haver esse problema: a., c., x1., a1.
4. Selecionar a faixa **G19: H21** e pressionar **CTRL + SHIFT + F3**. Na caixa de diálogo “Criar nomes com base em valores na:”, marque a opção Coluna Esquerda e clique em OK. As células da segunda coluna da tabela serão nomeadas com base na primeira coluna. Repita o procedimento para nomear as células da quarta coluna com base na terceira.
5. Digitar a fórmula **=3*x1.-x2.-5** na célula **J19**.
6. Digitar a fórmula **=-2*x1.+x2.+x3.** na célula **J20**.
7. Digitar a fórmula **=2*x1.-x2.+4*x3.-15** na célula **J21**.
8. Preencher o diálogo do Solver como mostrado a seguir:

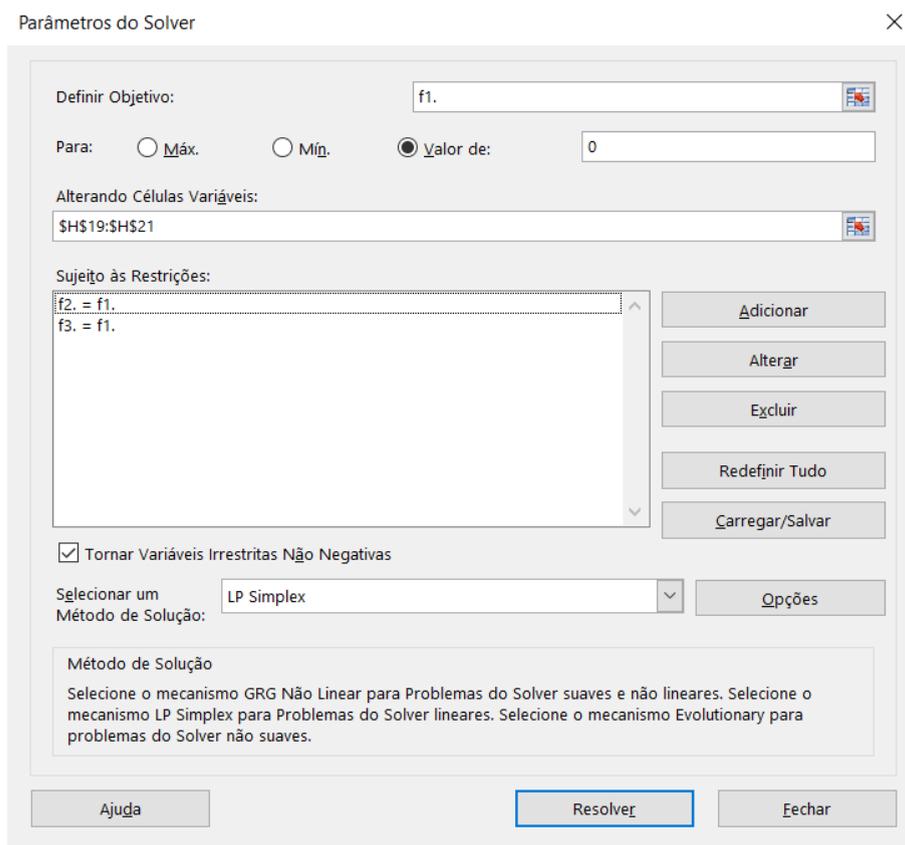


Figura 119 - Diálogo do Solver para resolução de um sistema linear pelo método Simplex.

9. Como o Solver permite apenas uma célula de destino, a condição $f1. = 0$; $f2. = 0$; $f3. = 0$ é substituída pela restrição: $f1. = 0$; $f2. = f1.$; $f3. = f1.$
10. Clicando no botão Resolver, o resultado é $x_1 = 2$; $x_2 = 1$ e $x_3 = 3$.

2ª Etapa: Alternativa 2

Resolução do problema com a forma matricial usando o Solver.

1. Organize as células como mostra a seguinte figura:

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline \mathbf{A_{ij}} & & \\ \hline 3 & -1 & 0 \\ \hline -2 & 1 & 1 \\ \hline 2 & -1 & 4 \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{x_j} \\ \hline 1,00 \\ \hline 1,00 \\ \hline 1,00 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{b_i} \\ \hline 5 \\ \hline 0 \\ \hline 15 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \mathbf{Zero} \\ \hline -3 \\ \hline 0 \\ \hline -10 \\ \hline \end{array}$$

Figura 120 - Planilha para solução de sistema linear pela forma matricial auxiliada pelo Solver.

2. Preencha as células da matriz **A_{ij}** com os coeficientes das equações algébricas.
3. Preencha as células da coluna **x_j** com chutes iniciais para os valores de **x**.
4. Preencha as células da coluna **b_i** com os coeficientes independentes das equações algébricas.
5. Na primeira célula da coluna **Zero**, escreva a fórmula vetorial para calcular o resultado de cada equação com os valores de x fornecidos **=MATRIZ.MULT(E26:G26;\$I\$26:\$I\$28)-K26**.
6. Com a alça de replicação, repita a operação até a célula **M28**.
7. Preencher o diálogo do Solver como mostrado a seguir:

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para: Máx. Mín. Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

\$M\$27 = \$M\$26
\$M\$28 = \$M\$26

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução
Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Ajuda Resolver Fechar

Figura 121 - Diálogo do Solver para solução do sistema linear em sua forma matricial.

8. Clicando no botão Resolver, o resultado é $x_1 = 2$; $x_2 = 1$ e $x_3 = 3$.

2ª Etapa: Alternativa 3

Resolução do problema com a forma matricial sem o uso do Solver.

1. Prepare a planilha como mostra a figura abaixo:

$$\begin{array}{c} \text{in} \\ \text{v} \end{array} \begin{array}{|c|c|c|} \hline 3 & -1 & 0 \\ \hline -2 & 1 & 1 \\ \hline 2 & -1 & 4 \\ \hline \end{array} \gg \begin{array}{c} \text{inv}(\mathbf{A}_{ij}) \\ \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} \mathbf{b}_i \\ 5 \\ 0 \\ 10 \end{array} = \begin{array}{c} \mathbf{x}_j \\ \\ \\ \end{array}$$

Figura 122 - Planilha para a solução do sistema linear na sua forma matricial.

- Escreva os coeficientes não independentes das equações na matriz **Aij**.
- Escreva os coeficientes independentes das equações na coluna **bi**.
- Selecione as células da matriz **inv(Aij)** e, no friso Fórmulas, clique em Matemática e Trigonometria e então selecione a função **MATRIZ.INVERSO**.
- Selecione os coeficientes digitados na matriz **Aij** e pressione **CTRL + SHIFT + ENTER**. Isso aplicará a fórmula a todas as células selecionadas.

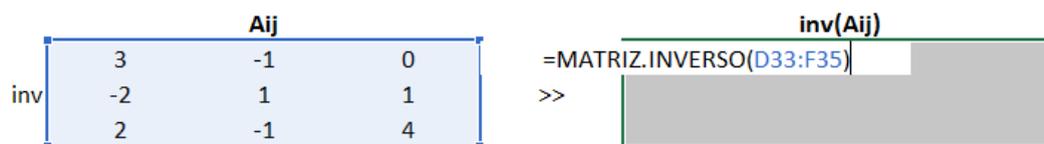


Figura 123 - Diálogo para inversão de matriz.

- Selecione as células da coluna x_j e, no friso Fórmulas, clique em Matemática e Trigonometria e então selecione a função **MATRIZ.MULT**.
- Selecione as células de **inv(Aij)** como Matriz1 e as células de **bi** como Matriz2. Em seguida, pressione **CTRL + SHIFT + ENTER**.



Figura 124 - Diálogo para multiplicação de matrizes.

- Clicando em OK, o resultado será $x_1 = 2$; $x_2 = 1$ e $x_3 = 3$.

2ª Etapa: Alternativa 4

Resolução do problema com a forma matricial utilizando programação em VBA para matrizes 3x3.

- Criar um UserForm de acordo com a figura abaixo:

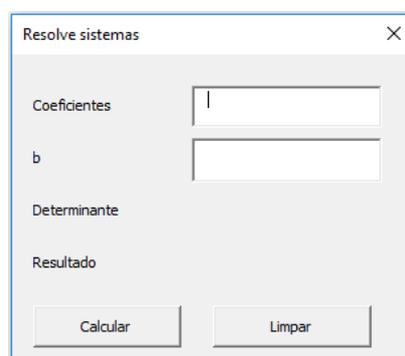


Figura 125 - UserForm para a resolução do sistema utilizando programação em VBA.

- O *UserForm* é composto por seis rótulos. Quatro deles serão os títulos Coeficientes, b, Determinante e Resultado. Os outros dois serão rótulos sem *Caption* que ficarão ao lado de Determinante e Resultado, seus nomes devem ser lblDeterminante e lblResultado.
- Além disso, usaremos duas caixas de texto, uma para os Coeficientes e uma para o b, seus nomes devem ser alterados para tbCoeficientes e tbb respectivamente.
- Por fim, usar-se-á dois botões. Um para o comando Calcular (cbCalcular) e outro para o Limpar (cbLimpar).
- As caixas de texto são utilizadas para obter os valores necessários para a realização dos cálculos. Na caixa de texto dos coeficientes e dos valores de b é necessário inserir todos os números separando-os por vírgulas e sem espaço.
- O botão Calcular será utilizado para realizar os cálculos relativos ao sistema 3x3 desde que estes tenham sido inseridos corretamente. O código de Sub-Rotina que deve ser associado a este botão é:

Private Sub cbCalcular_Click()

```

Dim c, x As String
c = tbCoeficientes.Value

Dim n, k, o As Integer

Dim inv, b, result, det As Double

Dim V, coeficientes(0 To 2, 0 To 2) As Integer

Dim a(0 To 2, 0 To 0) As Integer

n = 3
V = Split(c, ",")
b = Split(tbb.Value, ",")
k = 0
For i = 0 To n - 1
    For j = 0 To n - 1
        coeficientes(i, j) = V(k)
        k = k + 1
    Next j
Next i
For p = 0 To n - 1
    a(p, 0) = b(p)
Next p
det = Application.WorksheetFunction.MDeterm(coeficientes)
lblDeterminante.Caption = det
inv = Application.WorksheetFunction.MInverse(coeficientes)
result = Application.WorksheetFunction.MMult(inv, a)
For m = 1 To n
    If m <> n Then
        x = x + CStr(Round(result(m, 1), 1)) + ", "
    Else
        x = x + CStr(Round(result(m, 1), 1))
    End If
Next m
lblResultado.Caption = x

```

End Sub

Explicação do código: Foi necessário criar matrizes para os valores dos coeficientes e de b. Para isso, utilizou-se a função **Split(string1, string2)**, em que a string1 seria dividida em substrings, que são armazenadas em um vetor, com base em um delimitador (string2). Com o vetor de substrings, utilizou-se dois comandos for para atribuí-los a uma matriz. Com isso, calculou-se a determinante utilizando a função **MDeterm(matriz)**. E para o cálculos dos valores de x, utilizou-se a função **MInverse(matriz)** para obter a matriz inversa da dos coeficientes, e a função **MMult(matriz1, matriz2)** para multiplicar as duas matrizes. Obtendo os valores das variáveis, foi necessário criar uma string com os

valores para que fossem retornados no rótulo. Para transformar um valor em uma string, usou-se a função **CStr(valor)**. Mas, antes disso, os valores foram arredondados utilizando a função **Round(valor, número de casas depois da vírgula)**.

- O botão Limpar retirará todos os valores presentes nas caixas de texto e nos rótulos lblResultados e lblDeterminante. A Sub-Rotina que deve ser associada com este botão é:

```
Private Sub cbLimpar_Click()
    tbCoeficientes.Value = ""
    tbb.Value = ""
    lblDeterminante.Caption = ""
    lblResultado.Caption = ""

```

End Sub

Explicação do código: Este código meramente atribui o valor vazio para nossas caixas de texto e nossos rótulos de determinante e resultado.

- Nosso próximo passo será associar esse *UserForm* com o botão que diz Calculadora de Sistemas. Primeiramente, volte à área de trabalho, crie uma macro genética e atribua à ela o nome *Calculadora_de_Sistemas*. Então, no friso Desenvolvedor, procure pela opção Macros e então Exibir Macros. Lá, selecione a *Calculadora_de_Sistemas* e selecione a opção Editar.
- Aberta a edição da macro, insira o seguinte código:

```
Sub Calculadora_de_Sistemas()
```

```
UserForm1.Show
```

End Sub

Explicação do código: Utiliza-se *UserForm1* pois este é o nome do *UserForm* criado nesta atividade. Caso tenha renomeado-o, leve isso em consideração na hora de escrever o código da *Calculadora_de_Sistemas*.

- Pode-se fechar a edição da macro. Clicando com o botão direito do mouse sobre o botão Calculadora de Sistemas, selecione a opção Atribuir Macro e atribua a *Calculadora_de_Sistemas*.
- Por fim, clique no botão e teste o *UserForm*.
- O resultado obtido está apresentado na figura abaixo

A imagem mostra uma janela de software com o título "Resolve sistemas". Ela possui quatro campos de texto rotulados: "Coeficientes" com o valor "3,-1,0,-2,1,1,2,-1,4", "b" com "5,0,15", "Determinante" com "5" e "Resultado" com "2, 1, 3". Na base da janela, há dois botões: "Calcular" e "Limpar".

Figura 126 - Resultado do sistema usando programação em VBA.

4.3. AJUSTE DE MODELOS MATEMÁTICOS A DADOS EXPERIMENTAIS

Lidamos constantemente com fenômenos físicos e químicos e com a busca de equações que os descrevam. Essa busca tem o objetivo de obter informações necessárias para o projeto de equipamentos de uma fábrica.

O engenheiro químico desenvolve essas equações por diferentes técnicas de modelagem matemática. Por meio de idealizações e simplificações, é possível desenvolver modelos matemáticos teóricos. Entretanto, muitos dos fenômenos para os quais se busca descrevê-los matematicamente são extremamente complexos e não é possível encontrar um modelo de fácil aplicação. Neste caso, modelos semi empíricos e modelos empíricos são capazes de sanar esse problema.

Um modelo totalmente empírico será baseado em informações obtidas experimentalmente. Observando-se o comportamento dos dados experimentais, propõe-se uma função que tenha o “formato” que melhor descreva esse comportamento. Geralmente, são usadas funções das quais seus coeficientes são assumidos constantes, mas são desconhecidos. Assim, o trabalho é encontrar o valor desses coeficientes para que a função proposta se ajuste da melhor forma aos dados empíricos.

Isso é algo com que você já deve ter trabalhado nas disciplinas de Física e de Química. Lá, aplicava-se o Método dos Mínimos Quadrados para encontrar o coeficiente angular e o linear de uma reta para ajustá-la a uma função linearizada. Porém, esse método é muito mais amplo e não é necessário linearizar uma função para que se consiga fazer isso. Muitas vezes, na verdade, não é possível isolar as constantes em uma função para poder linearizá-la, mas isso não é um problema.

Um problema de regressão linear pelo Método dos Mínimos Quadrados pode ser tratado como um problema de otimização, em que se deseja minimizar a seguinte função:

$$S = \sum (f_t^{EXP} - f_t^{MODELO})^2$$

Ou seja, o objetivo é minimizar o quadrado dos desvios entre os dados experimentais e seus correspondentes quando calculados com o modelo matemático proposto. Como o modelo possui coeficientes constantes desconhecidos, o trabalho será encontrar o valor deles para que S seja minimizada.

Faremos então uma atividade para fixar este conceito:

A partir dos dados experimentais de conversão em relação à temperatura, ajuste os três parâmetros da curva modelo proposta através do Método dos Mínimos Quadrados.

T (K)	X _{a,exp}
300	0,765
310	0,750
320	0,738
330	0,725
340	0,714
350	0,705
360	0,697
370	0,689
380	0,682
390	0,676
400	0,670
410	0,664
420	0,658

Tabela 18 - Parâmetros da curva modelo.

$$X_A = a \cdot \exp\left(\frac{b}{T[K]}\right)$$

1. Na tabela com os parâmetros do modelo, coloque os valores de para os parâmetros a e b respectivamente, esta será a estimativa inicial que o Solver vai utilizar nos cálculos.

Ajuste do modelo	
a	10
b	50

Tabela 19 - Estimativa inicial para o exemplo Ajuste de Curva.

2. Então escreva a fórmula do modelo proposto pelo exercício, fixando as constantes do modelo. A fórmula na célula **D12** fica $=\$H\$9*EXP(\$H\$10/B12)$.
3. Replique a fórmula para calcular a conversão em todas as temperaturas.
4. Calcule o desvio em relação aos dados experimentais fornecidos pelo exercício da seguinte maneira, na célula **E13** escreva: $=(D12-C12)^2$.
5. Replique a fórmula para calcular o desvio de todos os pontos.
6. Na célula **E25** faça a soma dos desvios de cada ponto, escrevendo a fórmula $=SOMA(E12:E24)$.
7. Abra o Solver, defina como objetivo que a célula de Soma (**E25**) tenha o valor mínimo, as células variáveis como as constantes do modelo (**H9:H10**), e o método de solução **Solver Linear CoinMP do LibreOffice**.
8. Por fim, confira no gráfico dos pontos experimentais e dos pontos calculados o resultado.
9. Caso veja que alguns pontos continuem levemente desajustados, é possível abrir o solver novamente e com a mesma condição aplicá-lo outra vez. Assim, pode-se obter um melhor resultado visto que foi utilizado o resultado anterior como nova estimativa.

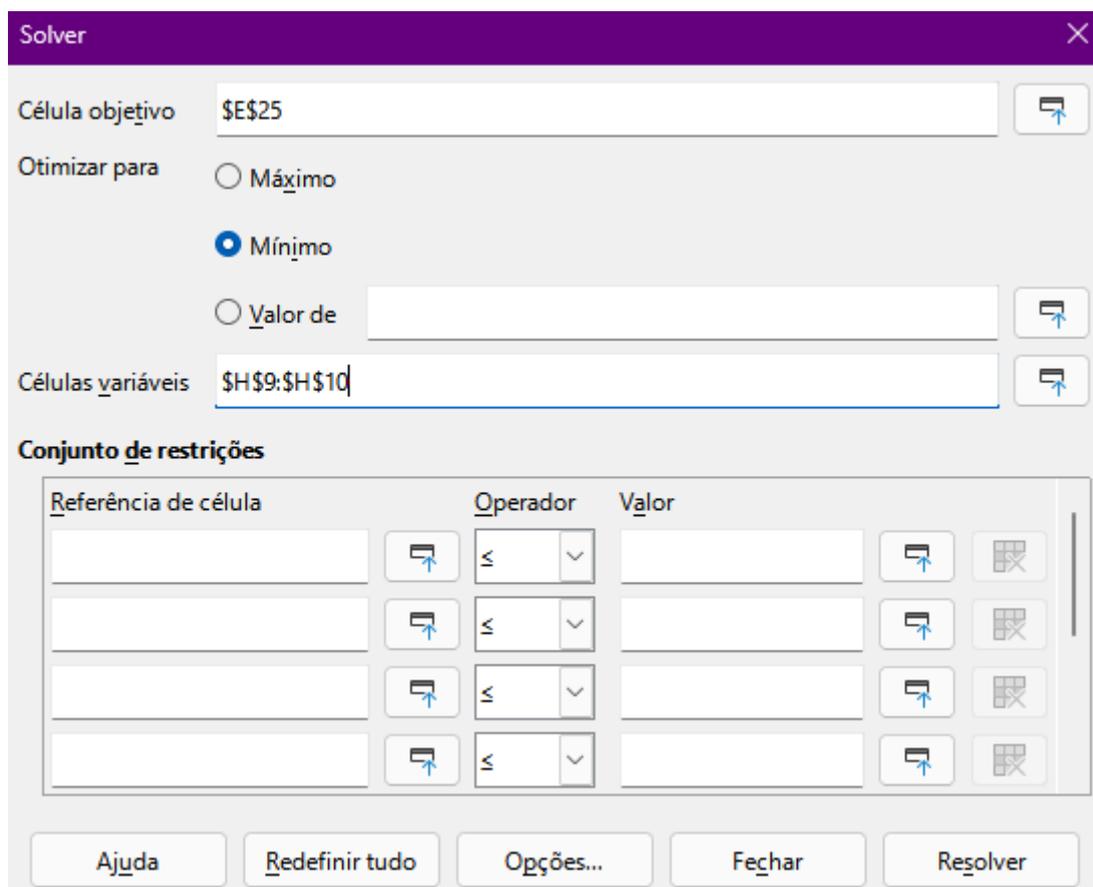


Figura 127 - Exemplo de aplicação do Método dos Mínimos Quadrados.

A escolha da função para desenvolver o modelo puramente empírico pode ser facilitada observando-se o gráfico dos dados experimentais. De posse dele e conhecendo o formato de diversas funções, torna-se menos complicado tomar essa decisão. Entretanto, quando o comportamento de uma função é pouco familiar, essa escolha passa a ser por tentativa e erro, uma vez que um modelo pode ter dois ou mais parâmetros. Quanto mais parâmetros o modelo tiver, geralmente ele passa a descrever melhor o comportamento real, mas a identificação do valor desses parâmetros pode se tornar muito mais complexa e exigir muito mais processamento computacional com os cálculos envolvidos. A melhor decisão é aquela que é, simultaneamente, simples e precisa.

A seguir, você encontra gráficos de diferentes funções genéricas com diferentes valores para seus dois parâmetros, α e β .

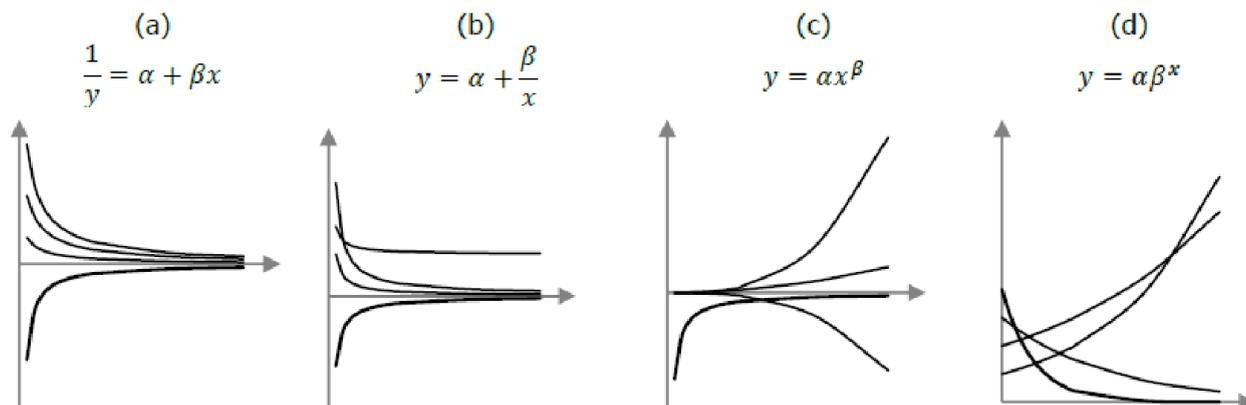


Figura 128 - Exemplos de funções genéricas com diferentes parâmetros.

Ao experimentar modelos diferentes, tome cuidado com funções que tenham domínios restritos. Lembre-se que, ao usar a função logaritmo, seu argumento não pode ser nulo nem negativo, e potenciação com expoente fracionário, exceto no caso em que ele representar uma raiz de índice ímpar, não dará certo para argumentos negativos.

4.4. BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMAS EM REGIME PERMANENTE

4.4.1. Balanço de energia em sistemas inertes e em regime permanente

O balanço energético para um determinado sistema parte do princípio de que a energia se conserva, tal como afirma a 1ª Lei da Termodinâmica. Se um sistema está em interação com suas vizinhanças de forma que há transferência de energia, o saldo entre a taxa de entrada e de saída de energia resulta na quantidade acumulada de energia no sistema. Isso significa que:

$$[\text{Variação de energia}] = [\text{Entradas de energia}] - [\text{Saídas de energia}]$$

Caracterizam-se como entradas de energia interna qualquer influência externa ou interna que provocará um aumento da energia desse sistema, como uma vazão de material alimentada ao sistema, o calor fornecido a ele, o calor retirado das vizinhanças devido uma reação endotérmica dentro do sistema, o trabalho de compressão, a energia fornecida ao sistema por meio de uma máquina de fluxo ou de agitação, entre outros eventos. Analogamente, saídas de energia se referem aos eventos que provocam queda da energia do sistema. Dentro do sistema, serão consideradas três formas de energia: a interna (U), a cinética (K) e a potencial gravitacional (φ). Quanto à energia interna, lembre-se da definição de energia interna pela Termodinâmica:

$$U = H + PV$$

Geralmente, o produto entre a pressão e o volume é pouco significativo diante da entalpia, então é possível simplificar a expressão da energia interna e assumi-la que é igual à entalpia, somente.

Do lado direito da equação do balanço de energia, serão consideradas as três formas de energia de correntes que são alimentadas e retiradas do sistema e o trabalho de eixo executado sobre o sistema ou produzido por este. O restante será chamado de carga térmica, que é o calor trocado com as vizinhanças. Desta forma, para um sistema de

volume V , densidade ρ e correntes com vazões volumétricas F com suas respectivas densidades e energias interna, cinética e potencial gravitacional, pode-se escrever o balanço global de energia:

$$\frac{d}{dt}(\rho VH) = \sum[\rho F(H + K + \varphi)]entra - \sum[\rho F(H + K + \varphi)]sai + Q - W$$

Lembrando que trataremos do balanço de energia em regime permanente, mais simplificações podem ser feitas. Primeiro, o termo de variação da energia interna no tempo pode ser cancelado. Não havendo uma bomba ou compressor no sistema, o termo de trabalho de eixo também não aparece na equação. Outra simplificação comum é que, como os termos de energia cinética e energia potencial gravitacional são insignificantes perto da entalpia de uma corrente, esses também podem ser simplificados. Assim, a equação se torna:

$$\dot{Q} = \sum(\rho FH)sai - \sum(\rho FH)entra$$

Caso esteja-se lidando com vazão molar, é possível simplificar ainda mais a expressão. Uma vez que a carga térmica precisa ser em unidade de energia por tempo, basta-se utilizar vazão molar multiplicada por entalpia molar.

Essa equação bastante simplificada servirá para você calcular a carga térmica de equipamentos e avaliar seu consumo energético, por exemplo. Seu último problema será o cálculo da entalpia. Para isso, use uma importante relação da Termodinâmica, que resulta em:

$$H = H^{T.ref} + \int_{T.ref}^T C_p dT$$

Onde C_p é a capacidade calorífica específica e $T.ref$ é uma temperatura de referência, na qual $\hat{H}_{T.ref} = 0$. Preste bastante atenção quando estiver trabalhando com gases ou quando a corrente se encontra em um estado físico na sua temperatura real diferente da temperatura adotada como referência. No caso de gases, verifique se você pode assumir a hipótese de que sejam gases ideais. Isso é válido para temperaturas elevadas e pressões baixas (5 atm, no máximo 10 atm). Para as situações em que não é possível adotar a hipótese de gás ideal, introduza termos residuais, que podem ser determinados com o auxílio de gráficos, tabelas, correlações generalizadas e modelos termodinâmicos.

Outro problema é o estado líquido. Enquanto você encontra facilmente dados para o cálculo do calor específico de gases ideais na literatura (anexo do livro *The Properties of Gases and Liquids*, de POLING et al.), para líquidos, isso pode ser complicado. Para isso, existem alguns métodos, como a Equação de Rowlinson-Bondi:

$$\frac{C_p^l - C_p^{gi}}{R} = 1,586 + \frac{0,49}{1-T_r} + \omega \left[4,2775 + \frac{6,3(1-T_r)^{\frac{1}{3}}}{T_r} + \frac{0,4355}{(1-T_r)} \right]$$

4.4.2. Balanço de energia em sistemas reativos e em regime permanente

Ao trabalhar com sistemas com reação química, pode-se utilizar a seguinte equação simplificada:

$$\dot{Q} = \sum(\dot{N}\hat{H})sai - \sum(\dot{N}\hat{H})entra + \sum(\Delta\hat{H}_{reação}(T.ref))$$

\dot{Q} – carga térmica em unidade de energia por tempo;

\dot{N} – vazão molar em unidade molar por tempo;

\hat{H} – entalpia molar em unidade de energia por unidade molar;

$\Delta\hat{H}_{reação}(T.ref)$ – entalpia de reação na temperatura de referência em unidade de energia por unidade molar;

ξ – grau de avanço em unidade molar por tempo.

O somatório leva em conta todas as reações que ocorrem no sistema. Também é importante compreender o grau de avanço (ξ), uma propriedade da reação, que é dado por uma relação molar. Lembrando que para calculá-la, o coeficiente estequiométrico V_i é positivo para produtos e negativo para reagentes.

$$= \frac{\dot{N}_{i,sai} - \dot{N}_{i,entra}}{V_i}$$

$\dot{N}_{i,sai}$ – vazão molar de saída do composto i em unidade molar por tempo;

$\dot{N}_{i,entra}$ – vazão molar de entrada do composto i em unidade molar por tempo;

V_i – coeficiente estequiométrico do composto i na reação.

Lembrando que para um gás ideal fora da temperatura de referência, sua entalpia molar pode ser definida por:

$$\hat{H} = \hat{H}_{T.ref} + \int_{T.ref}^T C_p dT$$

C_p – capacidade calorífica do gás ideal em unidade de energia dividida por unidade de temperatura e molar;

T – temperatura do composto na mesma unidade de temperatura presente no C_p ;

$T.ref$ – temperatura de referência na mesma na mesma unidade da temperatura do composto.

Em um **reator isotérmico**, é sempre possível aplicar a expressão de carga térmica demonstrada anteriormente. Porém, também é possível fazer tal cálculo por outra rota. A carga térmica do reator na temperatura T do reator pode ser dada por:

$$\dot{Q} = \sum \left(\Delta \hat{H}_{reação}(T) \right) = \sum \left[\left(\Delta H_{reação}(T_{ref}) + \int_{T_{ref}}^T \Delta C_p^0 dT \right) \right]$$

$\Delta \hat{H}_{reação}(T)$ – entalpia de reação fora da temperatura de referência em unidade de energia por unidade molar;

ΔC_p^0 – variação da capacidade calorífica na mesma unidade que a capacidade calorífica.

Sendo que ΔC_p^0 vale:

$$\Delta C_p^0 = \sum \left(|V_i| C_p \right)_{produtos} - \sum \left(|V_i| C_p \right)_{reagentes}$$

O cálculo do ΔC_p^0 é feito multiplicando os valores do C_p dos produtos por seus coeficientes estequiométricos e subtraindo os C_p dos reagentes multiplicado pelo módulo de seus coeficientes estequiométricos.

4.5. EXERCÍCIOS

Exercício 4.1. Determine o perfil de temperaturas em uma placa metálica cujas fronteiras estão a temperaturas diferentes e constantes. Para isso, construa um sistema de equações, uma para cada nó da discretização representada na figura ao lado. A temperatura em cada ponto corresponde à média aritmética das temperaturas das quatro células adjacentes.

- Passa o sistema de equações para a forma matricial e, sabendo que $\mathbf{A} * \mathbf{x} = \mathbf{b}$ resolva o sistema utilizando a equação $\mathbf{inv}(\mathbf{A}) * \mathbf{b} = \mathbf{x}$.
- Escreva as equações de cada temperatura colocando todos os termos de um lado da igualdade e zero do outro. Coloque os resultados das equações elevados ao quadrado e tome a soma destes. Em seguida, aplique o Solver para calcular todas as temperaturas para que a soma dos resultados ao quadrado resulte em zero.

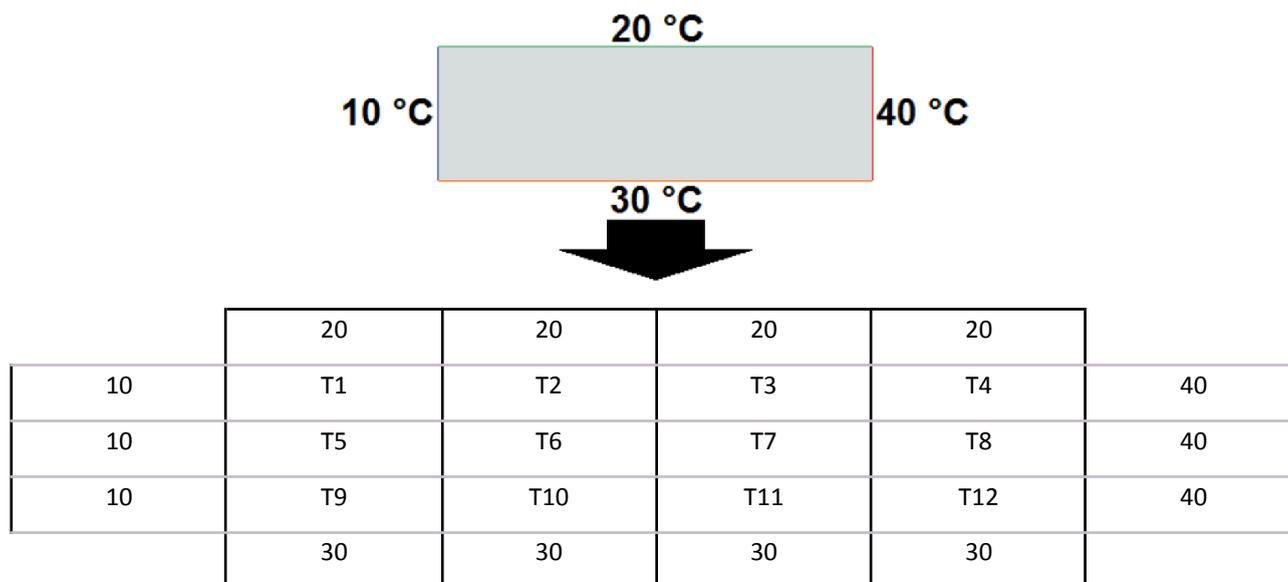


Figura 129 - Esquema de temperaturas para o exercício 4.1.

Exercício 4.2. Em um dado processo, deseja-se construir o modelo dinâmico de um trocador de calor para fazer o controle de temperatura do fluido de processo na saída do equipamento. Para isso, um experimento foi conduzido. Inicialmente, o engenheiro químico responsável aguardou até que o sistema entrasse em regime e aumentou em 5 kg/min a vazão do fluido de troca térmica. Em seguida, um registrador de temperaturas na sala de controle fez o registro da temperatura de saída do trocador de calor até ela estabilizar novamente. O gráfico com os dados coletados foi plotado em um gráfico, e o engenheiro percebeu que o modelo dinâmico desse processo é de 1ª ordem, cuja função de transferência, no domínio de Laplace, é:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

Como a mudança de vazão de fluido de aquecimento foi feita como uma perturbação em degrau, a função que descreve o comportamento dinâmico da temperatura de saída do trocador de calor, no domínio do tempo, é:

$$T'(t) = K \times A \left[1 - e^{\left(-\frac{t}{\tau}\right)} \right]$$

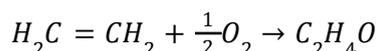
Nessa equação, A é o degrau aplicado ao processo (aumento de 5 kg/min de fluido de aquecimento) e K e τ são, respectivamente, o ganho estacionário e o tempo característico do processo, que são parâmetros específicos para a operação do trocador de calor. De posse dos dados experimentais, utilize o Método dos Mínimos Quadrados para determinar K e τ , tornando possível a modelagem dinâmica desse processo.

t (min)	T' EXP (°C)
0	0,00
2	5,00
4	8,20
6	10,50
8	12,00
10	13,00
12	13,50
14	14,20
16	14,40

18	14,60
20	14,80
22	14,80
24	14,90
26	14,90
28	14,95
30	14,95
32	14,95
34	15,00
36	15,00
38	15,00
40	15,00

Tabela 20 - Dados para o modelo de curva do exercício 4.2.

Exercício 4.3. Óxido de etileno (C_2H_4O) é produzido pela oxidação de etileno com oxigênio em fase gasosa, com o emprego de um catalisador de prata a $260^\circ C$. O reator é operado na condição isotérmica, tal que possibilita a hipótese de gás ideal e assume-se que a conversão nessas condições é 75%. Faça o balanço de massa e depois o balanço de energia no reator para determinar sua carga térmica, para uma alimentação de 100 kmol/h de etileno com 50% de excesso de oxigênio. Desconsidere a possibilidade de reações secundárias. Dados:



Composto	Calor de formação (kJ/mol)	Calor específico ($J mol^{-1} K^{-1}$) $C_p = a + bT + cT^2 + dT^3$			
		a	b	c / 10^{-6}	d / 10^{-8}
Etileno (C_2H_4)	52,283	3,803	0,1565	-83,43	1,754
Oxigênio (O_2)	0	28,09	0	17,45	-1,064
Óxido de etileno (C_2H_4O)	-52,67	-7,514	0,2221	-125,6	2,59

Figura 130 - Dados do exercício 4.3.

Exercício 4.4. A uma coluna de destilação é alimentada uma corrente de 100 kmol/h a $25^\circ C$ com frações molares equivalentes de pentano e hexano. Considerando que no fundo da destiladora o hexano é obtido puro a $20,0^\circ C$ e o pentano é obtido puro no produto de topo a $-8,0^\circ C$, calcule a carga térmica dessa destiladora. Em seguida, calcule as cargas térmicas do condensador e do refeedor da coluna, sabendo que a coluna opera com razão de refluxo igual a 2. Dados:

Composto	H_{vap} (kJ/mol)	C_p (kJ/mol K)
Pentano	25,77	0,1670
Hexano	28,85	0,1926

Figura 131 - Dados do pentano e do hexano para o exercício 4.4.

Exercício 4.5. Em um dado processo, uma alimentação virgem de 100 kg/h a 300K de um componente A puro ($M = 45$ kg/kmol, $C_p = 112,5$ kcal/kmol.K) é destinada a um reator adiabático onde A é transformado nos produtos B ($M = 18$ kg/kmol, $C_p = 5,4$ kcal/kmol.K) e C ($M = 27$ kg/kmol, $C_p = 45,9$ kcal/kmol.K). A entalpia da reação a 298K é -600 kcal/kmol. O efluente do reator é fracionado em duas correntes ao passar por uma válvula de três vias, que destina 30% da corrente de saída do reator como reciclo para o processo. O reciclo é combinado com a alimentação virgem e então é

alimentado ao processo. Um estudo prévio da cinética do reator coletou dados para se determinar a conversão do componente A. Com isso, construa o balanço mássico e energético e determine a vazão obtida de B na corrente 4 indicada no fluxograma abaixo.

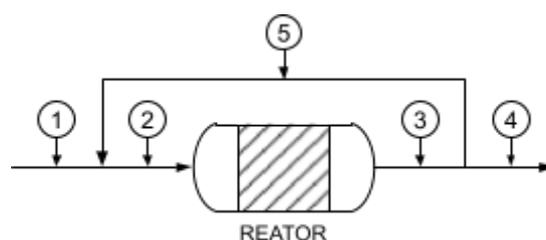


Figura 132 – Reator do exercício 4.5.

4.6. RESPOSTAS

Exercício 4.1.

Utilizando um sistema linear:

- Como definido no exercício, a temperatura de cada nó é uma média aritmética, e, portanto, para o primeiro nó temos:

$$T_1 = \frac{10+20+T_2+T_5}{4}$$

- Isolando o coeficiente independente da equação e identificando os coeficientes de temperatura:

$$T_1 + (-1).T_2 + 0.T_3 + 0.T_4 + (-1).T_5 + 0.T_6 + 0.T_7 + 0.T_8 + 0.T_9 + 0.T_{10} + 0.T_{11} + 0.T_{12} = 30$$

- Fazendo o mesmo processo para todos os pontos da malha podemos montar a matriz dos coeficientes dependentes que será uma matriz 12x12.

$$A_{i,j} = \begin{pmatrix} 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 4 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 4 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 4 \end{pmatrix}$$

- Calcule a matriz inversa, selecionando toda a matriz C33:N44 escreva a fórmula: = **MATRIZ.INVERSO(C20:N31)** em seguida utilize o atalho Ctrl+Shift+Enter para calcular todos os valores da matriz automaticamente.

$$\begin{pmatrix} 0,30 & 0,10 & 0,03 & 0,01 & 0,09 & 0,06 & 0,03 & 0,01 & 0,03 & 0,02 & 0,01 & 0,00 \\ 0 & 0 & 7 & 2 & 9 & 5 & 3 & 3 & 2 & 9 & 7 & 8 \\ 0,10 & 0,33 & 0,11 & 0,03 & 0,06 & 0,13 & 0,07 & 0,03 & 0,02 & 0,04 & 0,03 & 0,01 \\ 0 & 6 & 3 & 7 & 5 & 3 & 9 & 3 & 9 & 9 & 6 & 7 \\ 0,03 & 0,11 & 0,33 & 0,10 & 0,03 & 0,07 & 0,13 & 0,06 & 0,01 & 0,03 & 0,04 & 0,02 \\ 7 & 3 & 6 & 0 & 3 & 9 & 3 & 5 & 7 & 6 & 9 & 9 \end{pmatrix}$$

$$(A_{i,j})^{-1} = \begin{pmatrix} 0,01 & 0,03 & 0,10 & 0,30 & 0,01 & 0,03 & 0,06 & 0,09 & 0,00 & 0,01 & 0,02 & 0,03 \\ 2 & 7 & 0 & 0 & 3 & 3 & 5 & 9 & 8 & 7 & 9 & 2 \\ 0,09 & 0,06 & 0,03 & 0,01 & 0,33 & 0,12 & 0,05 & 0,02 & 0,09 & 0,06 & 0,03 & 0,01 \\ 9 & 5 & 3 & 3 & 2 & 9 & 4 & 0 & 9 & 5 & 3 & 3 \\ 0,06 & 0,13 & 0,07 & 0,03 & 0,12 & 0,38 & 0,14 & 0,05 & 0,06 & 0,13 & 0,07 & 0,03 \\ 5 & 3 & 9 & 3 & 9 & 6 & 9 & 4 & 5 & 3 & 9 & 3 \\ 0,03 & 0,07 & 0,13 & 0,06 & 0,05 & 0,14 & 0,38 & 0,12 & 0,03 & 0,07 & 0,13 & 0,06 \\ 3 & 9 & 3 & 5 & 4 & 9 & 6 & 9 & 3 & 9 & 3 & 5 \\ 0,01 & 0,03 & 0,06 & 0,09 & 0,02 & 0,05 & 0,12 & 0,33 & 0,01 & 0,03 & 0,06 & 0,09 \\ 3 & 3 & 5 & 9 & 0 & 4 & 9 & 2 & 3 & 3 & 5 & 9 \\ 0,03 & 0,02 & 0,01 & 0,00 & 0,09 & 0,06 & 0,03 & 0,01 & 0,30 & 0,10 & 0,03 & 0,01 \\ 2 & 9 & 7 & 8 & 9 & 5 & 3 & 3 & 0 & 0 & 7 & 2 \\ 0,02 & 0,04 & 0,03 & 0,01 & 0,06 & 0,13 & 0,07 & 0,03 & 0,10 & 0,33 & 0,11 & 0,03 \\ 9 & 9 & 6 & 7 & 5 & 3 & 9 & 3 & 0 & 6 & 3 & 7 \\ 0,01 & 0,03 & 0,04 & 0,02 & 0,03 & 0,07 & 0,13 & 0,06 & 0,03 & 0,11 & 0,33 & 0,10 \\ 7 & 6 & 9 & 9 & 3 & 9 & 3 & 5 & 7 & 3 & 6 & 0 \\ 0,00 & 0,01 & 0,02 & 0,03 & 0,01 & 0,03 & 0,06 & 0,09 & 0,01 & 0,03 & 0,10 & 0,30 \\ 8 & 7 & 9 & 2 & 3 & 3 & 5 & 9 & 2 & 7 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

5. Escreva a matriz dos coeficientes independentes de acordo com as equações encontradas para cada nó.

$$b_i = \begin{pmatrix} 30 \\ 20 \\ 20 \\ 60 \\ 10 \\ 0 \\ 0 \\ 40 \\ 40 \\ 30 \\ 30 \\ 70 \end{pmatrix}$$

6. Multiplique as duas matrizes obtendo então, o valor da temperatura em cada nó. O resultado do sistema será o seguinte:

$$x_i = \begin{pmatrix} 17,2 \\ 21,1 \\ 24,3 \\ 29,1 \\ 17,7 \\ 22,9 \\ 27,1 \\ 32,3 \\ 20,9 \\ 25,7 \\ 28,9 \\ 32,8 \end{pmatrix}$$

7. Copie os valores de temperatura para suas respectivas células da malha e observe o perfil de temperatura formado. O primeiro dado corresponde à T1, o segundo à T2 e assim por diante.

8. Para deixar o perfil mais intuitivo podemos adicionar uma formatação condicional às células, selecione as células **I48:N52**.
9. Na aba Página Inicial, selecione Formatação Condicional, e Escala de Cores Verde – Amarela – Vermelha, respectivamente.

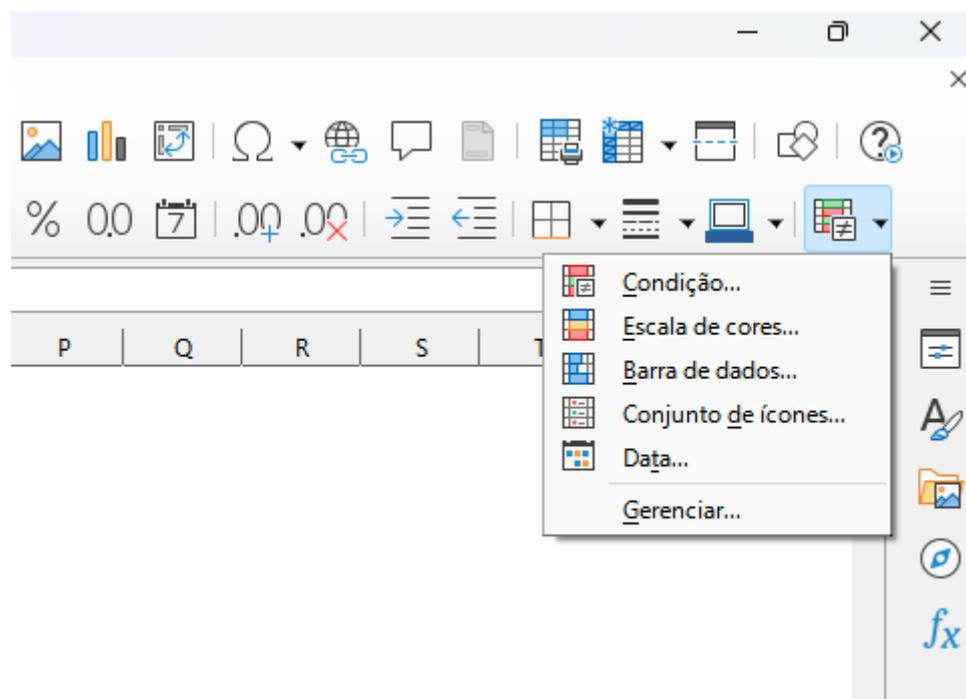


Figura 133 - Formatação Condicional exercício 4.1.

Utilizando o Solver:

1. Na matriz de desvios calcular o desvio do valor de cada nó, que será o valor do próprio nó menos a média aritmética dos valores adjacentes à célula.
2. Na célula **K62** escreva a fórmula **= $(D62-(D61+C62+E62+D63)/4)^2$** .
3. Escreva a equação correspondente para todos os nós.
4. Na célula **M66** some todos os desvios **=SOMA(K62:N64)**.
5. Abra o Solver, defina a célula de soma para o valor mínimo alterando o valor das temperaturas, selecione a opção Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas, pois analisando as fronteiras da placa podemos perceber que não haverá temperaturas negativas dentro do perfil, e o método de solução é **Solver linear CoinMP do LibreOffice**.

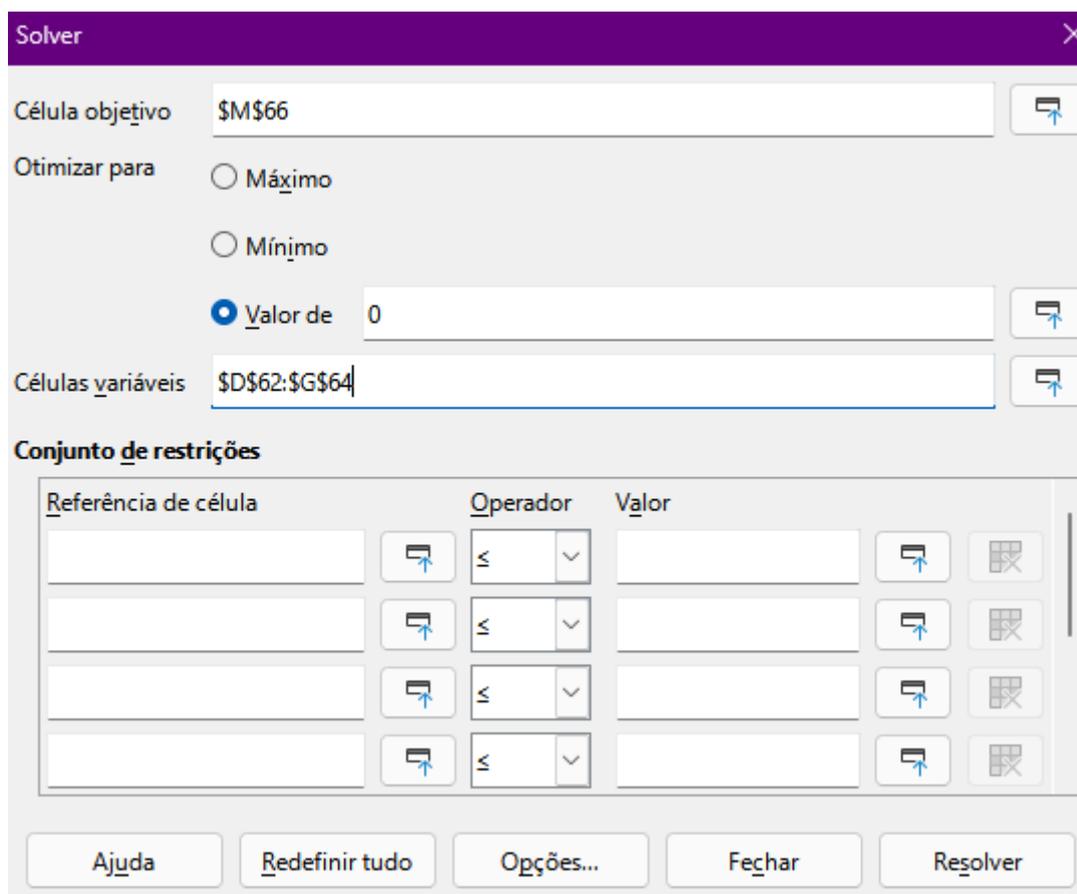


Figura 134 - Diálogo do Solver para resolução do exercício 4.1.

6. Clique em Resolver, e observe o resultado na malha verificando se foi parecido com o resultado obtido pelo método do sistema linear.

Perfil de temperaturas na placa:

	20,0	20,0	20,0	20,0	
10,0	17,2	21,1	24,3	29,1	40,0
10,0	17,7	22,9	27,1	32,3	40,0
10,0	20,9	25,7	28,9	32,8	40,0
	30,0	30,0	30,0	30,0	

Exercício 4.2.

1. De acordo com o modelo dado no enunciado construa a curva teórica.

Calcule o desvio de cada ponto da curva e o somatório desses desvios.

Se as células das constantes K e T estiverem vazias a curva do modelo não existe, por tanto devemos fazer uma estimativa do valor dessas constantes. Nas células **H27** e **H28**, coloque um número, por exemplo, 1.

Abra o Solver, defina a célula de soma como objetivo para ter o valor mínimo, alterando as células estimadas, **H27** e **H28** utilizando o método **Solver linear CoinMP do LibreOffice**.

Solver [X]

Célula objetivo: [↕]

Otimizar para: Máximo
 Mínimo

Valor de: [↕]

Células variáveis: [↕]

Conjunto de restrições

Referência de célula	Operador	Valor
<input type="text"/>	<input type="text" value="≤"/> [v]	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text" value="≤"/> [v]	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text" value="≤"/> [v]	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text" value="≤"/> [v]	<input type="text"/>

Ajuda Redefinir tudo Opções... Fechar **Resolver**

Figura 135 - Parâmetros do Solver para a resolução do exercício 4.2.

Analise o gráfico com as curvas experimental e teórica para avaliar o resultado encontrado.

A	5 Kg/min
K	3,00 °C.min/Kg
T	5,00 min

t (min)	T'exp (°C)	T'mod (°C)	Desvio ²
0	0,00	0,00	0,00E+00
2	5,00	4,95	2,75E-03
4	8,20	8,26	4,09E-03
6	10,50	10,49	1,69E-04
8	12,00	11,98	5,22E-04
10	13,00	12,98	5,75E-04
12	13,50	13,65	2,12E-02
14	14,20	14,09	1,11E-02
16	14,40	14,40	2,22E-05
18	14,60	14,60	9,26E-06
20	14,80	14,73	4,60E-03
22	14,80	14,82	5,18E-04
24	14,90	14,88	2,72E-04
26	14,90	14,92	5,86E-04
28	14,95	14,95	2,28E-06
30	14,95	14,97	3,92E-04

32	14,95	14,98	1,03E-03
34	15,00	14,99	9,43E-05
36	15,00	15,00	1,77E-05
38	15,00	15,00	2,58E-07
40	15,00	15,00	3,78E-06
Soma:			4,80E-02

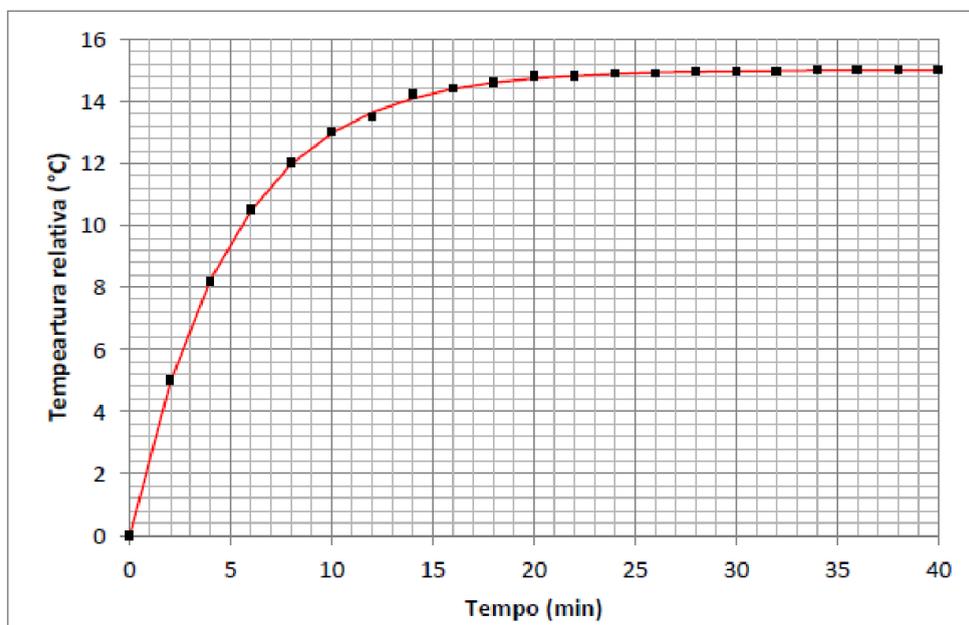


Figura 136 - Gráfico do exercício 4.2.

Exercício 4.3.

Cálculo da carga térmica pela temperatura de referência

1. Faça o molar da unidade de reação.

Calcule a entalpia por quilomol. Para isso, realize o cálculo da integral da capacidade calorífica pela temperatura e utilize a hipótese de gás ideal, que resultam na seguinte expressão:

$$\hat{H} = \int_{T.ref}^T C_p dT = a(T - T.ref) + b \frac{(T^2 - T.ref^2)}{2} + c \frac{(T^3 - T.ref^3)}{3} + d \frac{(T^4 - T.ref^4)}{4}$$

Assim, na célula **J19** teremos a seguinte fórmula = **(M12*(K6-K5)+N12*(K6^2-K5^2)/2+O12*10^-6*(K6^3-K5^3)/3+P12*10^-8*(K6^4-K5^4)/4)/1000**. A existência da divisão por 1000 ao final da fórmula se deve a correção de unidade. Pode-se replicar para os outros compostos esse cálculo.

A vazão total de entrada e saída podem ser obtidas somando-se a linha corresponde a valores do balanço molar do reator.

Calcular a entalpia que entra na alimentação multiplicando a vazão de cada componente pela sua entalpia molar. Para isso na célula **I27** escreva a fórmula =**(J19*C22+J20*D22+J21*E22)*1000**. Lembrando que a existência do 1000 na fórmula se deve a correção de unidade. De maneira análoga se calcula a entalpia da saída.

Calcule o grau de avanço utilizando, por exemplo, o produto da reação. Para isso, na célula **K27** escreva a fórmula =**(E22-E19)/E18**.

A entalpia da reação na temperatura de referência pode ser obtida a partir da entalpia de formação padrão do produto vezes seu coeficiente estequiométrico subtraído dos produtos entre a entalpia de formação padrão dos reagentes multiplicados pelos seus respectivos coeficientes estequiométricos. Isso se traduz na inserção da fórmula **=L14*E18-(L12*C18+L13*D18)** na célula **O18**.

Para finalizar o cálculo, será utilizada a expressão da carga térmica, que dita que esta é igual a entalpia da saída menos a da entrada mais o grau de avanço vezes a entalpia padrão de reação. Na célula **M27** insira a fórmula **=I27-F27+J27*O18*1000**. A presença do 1000 está relacionada à correção de unidade na entalpia de reação.

Cálculo da carga térmica pela temperatura do reator isotérmico

1. Faça o balanço molar da reação.

Se tratando de um reator isotérmico, podemos calcular a o valor de ΔC_p^0 . Iremos fazer o cálculo que faríamos para o ΔC_p^0 caso ele fosse uma única constante, só que aplicado para cada uma das constantes que o compõem, como exemplificado a seguir para a constante a:

$$\Delta C_p^0 = \sum (|V_i| a)_{\text{produtos}} - \sum (|V_i| a)_{\text{reagentes}}$$

Desse modo, na célula **M15** escreva a fórmula: **"=M14*\$E\$18-(M13*\$D\$18+M12*\$C\$18)"**.

A integral do ΔC_p^0 é calculada da mesma forma como é calculada a integral dos valores de C_p . Na célula **J22** digite a fórmula **=(M15*(K\$6-K\$5)+N15*(K\$6^2-K\$5^2)/2+O15*10^-6*(K\$6^3-K\$5^3)/3+P15*10^-8*(K\$6^4-K\$5^4)/4)/1000**

A existência da divisão por 1000 ao final da fórmula se deve a correção de unidade.

A entalpia da reação na temperatura de referência pode ser obtida a partir da entalpia de formação padrão do produto vezes seu coeficiente estequiométrico subtraído dos produtos entre a entalpia de formação padrão dos reagentes multiplicados pelos seus respectivos coeficientes estequiométricos. Isso se traduz na inserção da fórmula **=L14*E18-(L12*C18+L13*D18)** na célula **O18**.

Para corrigir a entalpia de reação para uma temperatura diferente da de referência, coloque na célula **O19** a fórmula **=O18+J22**.

Calcule o grau de avanço utilizando, por exemplo, o produto da reação. Para isso, na célula **K27** escreva a fórmula **=(E22-E19)/E18**.

Finalizaremos o procedimento utilizando a equação que dita que em um reator isotérmico a entalpia de reação na temperatura do reator é igual a carga térmica. Na célula **O27** insira a fórmula: **"=1000*J27*O19"**. A presença do 1000 está relacionada à correção de unidade na entalpia de reação.

Os valores obtidos através dos dois métodos se encontram dispostos a seguir:

REATOR - Balanço Molar			
kmol/h	C2H4	O2	C2H4O
Coef.	1	0,5	1
Entra	100	75	0
Reage	75	37,5	0
Forma	0	0	75
Sai	25	37,5	75

Composto	Calor de formação (kJ/mol)	Cp (J/mol.K)			
		a	b	c / 10-6	d / 10-8
Etileno (C ₂ H ₄)	52,283	3,803	0,157	-83,430	1,754
Oxigênio (O ₂)	0,000	28,090	0,000	17,450	-1,064
Óxido de etileno (C ₂ H ₄ O)	-52,67	-7,514	0,222	-125,600	2,590
	ΔC_p^0	-25,362	0,066	-50,895	1,368

Entalpia	
kJ/mol	Integral de Cp.dT (Entalpia Molar)
Etileno (C ₂ H ₄)	13,02
Oxigênio (O ₂)	7,13
Óxido de etileno (C ₂ H ₄ O)	15,16
Integral de $\Delta C_p^0 dT$	-1,43

Entalpia de reação		
$\Delta H^0_{r\zeta}(T_{ref})$	-104,95	kJ/mol
$\Delta H_{r\zeta}(T_{reator})$	-106,38	kJ/mol

Balanço de Energia - REATOR						
Alimentação		Saída		Reação	Carga Térmica	
Vazão (kmol/h)	Qentra (kJ/h)	Vazão (kmol/h)	Qsai (kJ/h)	Grau de avanço (kmol/h)	Pela T.ref Q (kJ/h)	Pela T.reat Q (kJ/h)
175	1836976	137,5	1730059	75	-7978391	-7978391

Exercício 4.4.

1. Faça o balanço de molar na destiladora.
2. Calcule as entalpias molares. Quando Cp é constante temos $\dot{H} = C_p \cdot \Delta T$ portanto, multiplicando a vazão do componente na corrente pelo calor específico vezes a variação de temperatura (temperatura da corrente menos a temperatura de referência), temos a entalpia molar. Multiplique o resultado por 1000 para corrigir a unidade.
3. Para calcular a entalpia total da corrente, tem-se que sua unidade será em energia por tempo, logo utilizaremos a soma das entalpias molares multiplicadas respectivamente por suas vazões molares
4. A vazão de Destilado corresponde a vazão total de destilado. Pode-se calcular a vazão de Refluxo multiplicando a vazão de Destilado pela razão de refluxo.
5. Calcule a vazão no Topo da coluna somando o Destilado e o Refluxo, essa é a vazão que precisa ser condensada no Condensador, assumindo a hipótese de condensação total da corrente.
6. Calcule a carga térmica da Destiladora através das entalpias das correntes. Para isso na célula **F25** escreva a fórmula =K21+H21-E21.

- Calcule a carga térmica do Condensador multiplicando a vazão de topo por menos a entalpia de vaporização do pentano, pois ele está puro na corrente e não sofre variação de temperatura, apenas variação de estado. Não se esqueça de multiplicar por 1000 para arrumar a unidade.
- Calcule a carga térmica do refeedor diminuindo a carga térmica do condensador da carga térmica da destiladora. Isso é feito pois a soma da carga térmica dos dois é o que compõem a carga térmica da destiladora.

COLUNA DE DESTILAÇÃO - Balanço de massa e de energia										
kmol/h	Alimentação			Destilado			Fundo			
Componente	Vazão	Fração	Entalp	Vazão	Fração	Entalp	Vazão	Fração	Entalp	
Pentano	50	0,5	0	50	1	-5511	0	0	-835	kJ/kmol
Hexano	50	0,5	0	0	0	-6355,8	50	1	-963	kJ/kmol
Total	100	1	0	50	1	-275550	50	1	-48150	kJ/h

CONDENSADOR	
Destilado	50
Refluxo	100
Topo	150

CARGAS TÉRMICAS					
Destiladora		Condensador		Refeedor	
-323700	kJ/h	-3865500	kJ/h	3541800	kJ/h

Exercício 4.5.

- Faça o balanço molar no Ponto de Mistura, fazendo um chute inicial para os valores da vazão molar dos componentes A, B e C na corrente 5.

Finalizado o balanço de massa no ponto de mistura, deverá ser feito o balanço de energia no Ponto de Mistura.

Primeiramente calcule o C_p das correntes, que corresponde ao somatório do C_p de cada componente multiplicado pela sua respectiva fração molar naquela corrente. Então na célula **M18** digite a seguinte fórmula: **=E18*I13+E19*J13+E20*K13**.

Da mesma maneira, calcule o C_p das correntes 2 e 5.

A entalpia das correntes é dada pela entalpia de referência mais a integral do C_p desde a temperatura de referência até a temperatura da corrente, como o C_p é constante, calcule a entalpia das correntes multiplicando a vazão da corrente, pelo C_p e pela variação de temperatura da corrente em relação à temperatura de referência. Como na nossa temperatura de referência a entalpia é zero graus Celsius, dessa forma, digite na célula **M19** a fórmula **=D21*M18*(M17-5)**.

Chute a temperatura da corrente 5 e realize o mesmo cálculo para ela.

Utilizando a equação do balanço de energia global é possível isolar a entalpia total de corrente 2:

$$\dot{H}_2 = \dot{H}_1 + \dot{H}_5 + \dot{Q}$$

Tratando-se de um Ponto de Mistura, por conclusão humana tem-se a carga térmica como zero. A fórmula na célula **O19** fica **=M19+N19+M20**.

A entalpia total da corrente corresponde a sua vazão molar vezes sua entalpia molar. A entalpia molar corresponde a entalpia da temperatura de referência mais a integral de C_p na temperatura desde a referência até a temperatura atual.

$$\dot{H} = \dot{N}\hat{H} = \dot{N}\left[\hat{H}_{T.ref} + \int_{T.ref}^T C_p dT\right]$$

Como o C_p é constante, pode-se transformar a integral entre um produto de C_p e variação da temperatura. Também se sabe que a entalpia na temperatura de referência possui valor nulo. Assim tem-se:

$$T_2 = T_{ref} + \frac{\dot{H}_2}{\dot{N}_2 C_{p2}}$$

Portanto, na célula **O17**, digite a fórmula **=F12+O19/(O18*H21)**.

Determinada a temperatura de entrada do reator (corrente 2) calcule a conversão a partir dos parâmetros ajustados anteriormente na atividade de ajuste de curvas.

Primeiro ligue a célula **N11** da temperatura de entrada do reator com a célula referente a temperatura da corrente 2.

Depois na célula **N12** de conversão, a expressão para calculá-la é **=Q11*EXP(Q12/N11)**.

Tendo a conversão, é possível fazer o balanço de massa do reator.

Calcule o balanço molar então do Ponto de Separação lembrando que 30% da corrente de saída do reator retorna como reciclo.

Com a vazão de entrada e saída dos componentes do reator podemos calcular o grau de avanço da reação.

$$= \frac{\dot{m}_{i,sai} - \dot{m}_{i,entra}}{V_i}$$

Na célula **N13** digite a seguinte fórmula **=(E29-E26)/(-E25)**. O sinal de menos aparecer porque o coeficiente estequiométrico dos reagentes é negativo, e dos produtos positivos.

No balanço energético do reator, já se tem todos os dados da corrente 2, uma vez que eles são os mesmos do balanço energético do Ponto de Mistura. Pode-se calcular o C_p da corrente 3 já.

Como o reator é adiabático, sua carga térmica tem valor nulo. Assim, com o balanço global de energia é possível obter a entalpia da corrente 3. Isso é feito colocando na célula **N26** a fórmula **=M28-M27*N13+M26**.

$$\dot{H}_3 = \dot{H}_2 - \Delta\hat{H}_{reação}(T_{ref}) + \dot{Q}$$

Obtida a entalpia, pode-se calcular sua temperatura da mesma forma que foi feito para a corrente 2 anteriormente.

O balanço energético do Ponto de Separação tem uma execução um pouco diferente. Para ele, como temos que a composição em frações molares das três correntes é a mesma, temos que o C_p das três é o mesmo (é possível confirmar nos cálculos).

Como se trata de um ponto de separação, também se tem que a carga térmica é nula e que as três correntes devem ter a mesma temperatura. Então nas células **N32** e **O32** pode-se digitar **=M32**.

Por fim, pode-se calcular as entalpias de cada uma das correntes como foi feito nas correntes 1 e 5.

Assim, finalizados nossos cálculos, é necessário estabelecer uma célula objetivo para o Solver. No caso, utilizaremos a equação mais fundamental do balanço em regime estacionário para um volume de controle. Não havendo acúmulo, há conservação da massa. Assim, na célula auxiliar **D40** pode-se subtrair a massa total da corrente 1 pela massa total da corrente 4 através da fórmula **=I37-C21**.

Agora, com essa célula estabelecida, teremos que pensar nas configurações de restrições para o cálculo do Solver. Temos que todas as células cujos valores foram chutados aparecem duas vezes no nosso sistema de equações (uma vez nos balanços do Ponto de Mistura e uma vez nos balanços do Ponto de Separação. Assim, nossas restrições de cálculo deverão ser que os valores nessas células devem ser iguais em ambas as vezes que aparecem. Assim, configuraremos a célula **D40** para o valor de zero, com as devidas restrições adicionadas e utilizando o método **GRG Não Linear**.

Solver

Célula objetivo:

Otimizar para: Máximo
 Mínimo
 Valor de

Células variáveis:

Conjunto de restrições

Referência de célula	Operador	Valor
<input type="text" value="\$F\$18"/>	=	<input type="text" value="\$E\$34"/>
<input type="text" value="\$F\$19"/>	=	<input type="text" value="\$E\$35"/>
<input type="text" value="\$F\$20"/>	=	<input type="text" value="\$E\$36"/>
<input type="text" value="\$M\$18"/>	=	<input type="text" value="\$M\$33"/>

Ajuda Redefinir tudo Opções... Fechar Resolver

Figura 137 - Diálogo do Solver para a solução do exercício 4.5.

Ponto de mistura							
kmol/h	1			5		2	
Componente	Mássica	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
A	100,00	2,22	1,00	0,17	0,10	2,40	0,61
B	0,00	0,00	0,00	0,78	0,45	0,78	0,20
C	0,00	0,00	0,00	0,78	0,45	0,78	0,20
Total	100,00	2,22	1,00	1,73	1,00	3,95	1,00

Balanço molar			
kmol/h	A	B	C
Coef.	1	1	1
Entra	2,40	0,78	0,78
Reage	1,82	0,00	0,00
Forma	0,00	1,82	1,82
Sai	0,58	2,60	2,60

Válvula							
kmol/h	3		5		4		
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Mássica
A	0,58	0,10	0,17	0,10	0,40	0,10	18,14
B	2,60	0,45	0,78	0,45	1,82	0,45	32,74
C	2,60	0,45	0,78	0,45	1,82	0,45	49,11
Total	5,77	1,00	1,73	1,00	4,04	1,00	100,00

Célula de Auxílio		
Balanco de massa	0,00	kg/h

Reator	
Tent.reat. (K)	302
Xa	0,760
ξ	1,819

Ponto de mistura			
	1	5	2
Temperatura (K)	300	309	302
Cp (kcal/kmol.K)	112,50	34,31	78,25
Entalpia (kcal)	500,00	682,04	1182,04
Carga térmica (kcal)	0,00		

Reator		
	2	3
Temperatura (K)	302	309
Cp (kcal/kmol.K)	78,25	34,31
Entalpia (kcal)	1182,04	2273,48
$\Delta H_{reação}$ (kcal)	-600,00	
Carga térmica (kcal)	0,00	

Válvula			
	3	5	4
Temperatura (K)	309	309	309
Cp (kcal/kmol.K)	34,31	34,31	34,31
Entalpia (kcal)	2273,48	393,79	1591,44
Carga térmica (kcal)	0,00		

CAPÍTULO 5

5. IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODOS MATEMÁTICOS**5.1. MÉTODOS MATEMÁTICOS**

Na Engenharia Química existem diversos problemas que envolvem equações ou sistemas de equações extremamente complexas e que, muitas vezes, provam ser impossíveis de serem resolvidas analiticamente. Diante dessa situação, os métodos numéricos são utilizados amplamente nas engenharias, os quais são técnicas que formulam problemas matemáticos de uma maneira que os tornam solúveis com operações aritméticas.

Porém, grande parte das vezes, estes métodos requerem a aplicação de centenas de operações aritméticas, as quais também se provam difíceis de serem resolvidas uma a uma. Utilizando ferramentas computacionais, essas operações são facilmente resolvidas, visto que, apesar de serem numerosas, são simples em vista da capacidade dos softwares computacionais.

Apesar da imensa capacidade computacional, esta ferramenta pode se tornar ineficiente sem uma base fundamentada de cada sistema a ser resolvido, pois para cada problema existe um ou mais métodos eficientes.

Trataremos aqui de problemas que envolvem equações diferenciais, sendo estas as que apresentam derivadas de funções. Podem ser classificadas em:

- Equações Diferenciais Ordinárias (EDO): são equações diferenciais que envolvem apenas uma variável independente. Na Engenharia Química elas são utilizadas na resolução de problemas estacionários que dependem da posição em somente uma dimensão e em sistemas em regime transiente, com parâmetros que não variam no espaço.
- Equações Diferenciais Parciais (EDP): são equações que representam a relação entre uma função de duas ou mais variáveis independentes e as derivadas parciais desta função. Nos problemas encontrados com mais frequência na engenharia, as variáveis independentes são usualmente as dimensões espaciais x , y e z , e o tempo t . São comumente utilizadas para descrever fenômenos físicos tais como a Equação da Onda e a Equação do Calor, e na Engenharia Química, por exemplo, tem-se a aplicação nas equações de conservação de momento para fluidos não-newtonianos.

5.2. MÉTODO DE EULER EXPLÍCITO

Para a resolução dessas equações, um método muito utilizado é o de Euler Explícito, o qual se aplica a problemas de valor inicial (PVI):

$$\frac{dy}{dx} = y' = F(x, y) \quad y(x_0) = y_0$$

Como se conhece x_0 e y_0 , é possível calcular $F(x_0, y_0)$.

Realizando uma aproximação para a derivada, obtemos:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{n+1} - y_n}{\Delta x} = F(x_n, y_n)$$

Substituindo Δx por h , cuja definição é passo de integração, temos que é o responsável pela precisão do método. De modo geral, quanto menor o passo, maior a precisão.

$$x \rightarrow x_0, x_1, x_2, \dots$$

$$\Delta x = h = x_{n+1} - x_n, x_{n+2} - x_{n+1}, \dots$$

Sendo assim, tem-se:

$$y_{n+1} = y_n + h \cdot F(x_n, y_n)$$

O Exercício 5.1 deste capítulo é recomendado para a aplicação deste método.

5.2.1. Aplicação do Método de Euler no cálculo de reatores

Frequentemente na modelagem matemática de reatores nos deparamos com equações diferenciais. Muitas das vezes, as soluções analíticas dessas equações não são triviais, o que faz com que tenhamos que recorrer a métodos matemáticos para a solução destes problemas. Veremos aqui alguns conceitos básicos de modelagem de reatores para então podermos aplicar o método de Euler na resolução destes problemas.

Analisando as grandezas envolvidas para um componente A que reage em um reator, tem-se C_A como sendo a concentração deste componente, o qual varia de acordo com o andamento da reação. Também, C_{A0} a concentração do mesmo no início, quando ainda não começou a ocorrer reação. Ainda para o componente A , tem-se sua fração molar inicial, que é indicada por y_{A0} .

Além disso, temos Q_0 como sendo a vazão volumétrica de entrada de reagentes. Através dela, pode-se encontrar a quantidade de componente A que entra no reator simplesmente multiplicando pela sua concentração inicial, obtendo F_{A0} , nomenclatura utilizada para denominar a vazão molar do componente A na entrada.

A conversão é indicada por X_A e é uma relação da quantidade de reagentes consumidos no reator, variando de 0 a 1 (ou de 0% a 100% de reagente consumido).

Em reações catalíticas, se relaciona o tamanho do reator com a massa de catalisador, o qual é denotado por w . A quantidade de massa de catalisador irá influenciar na conversão da reação e no perfil de pressão do reator. Dessa forma, caso se queira uma certa conversão X_A , será necessária uma certa quantidade w de massa de catalisador. Este fator pode ser visto como sendo uma posição no reator.

Para a modelagem de reatores, utiliza-se um fator adimensional de pressão y , o qual é obtido dividindo a pressão na posição w pela pressão na entrada do reator.

$$y = \frac{P}{P_0}$$

A taxa de reação, denotada por $-r_A'$, é uma medida intensiva que trata de como o reagente é consumido com o tempo. Este, por sua vez, depende da concentração do reagente e das constantes k (constante de taxa de reação) e K (constante de equilíbrio da reação).

Através da análise do perfil de conversão do reator, pode-se encontrar a quantidade de massa de catalisador w para atingir uma certa conversão X_A desejada. A partir disso, pode-se encontrar o volume do reator conhecendo a porosidade do leito.

A porosidade ε mede os espaços de "vazios" de um leito. Sendo que uma porosidade $\varepsilon = 1$ indica um leito completamente sólido e, uma porosidade $\varepsilon = 0$, indica um leito sem sólidos. Para um leito de reator, tem-se:

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{catalizador}}}{V_{\text{leito}}}$$

Sabendo então o volume de leito, pode-se dimensionar o tamanho do reator. Na figura a seguir tem-se uma ilustração de um reator tubular com catalisador sólido.

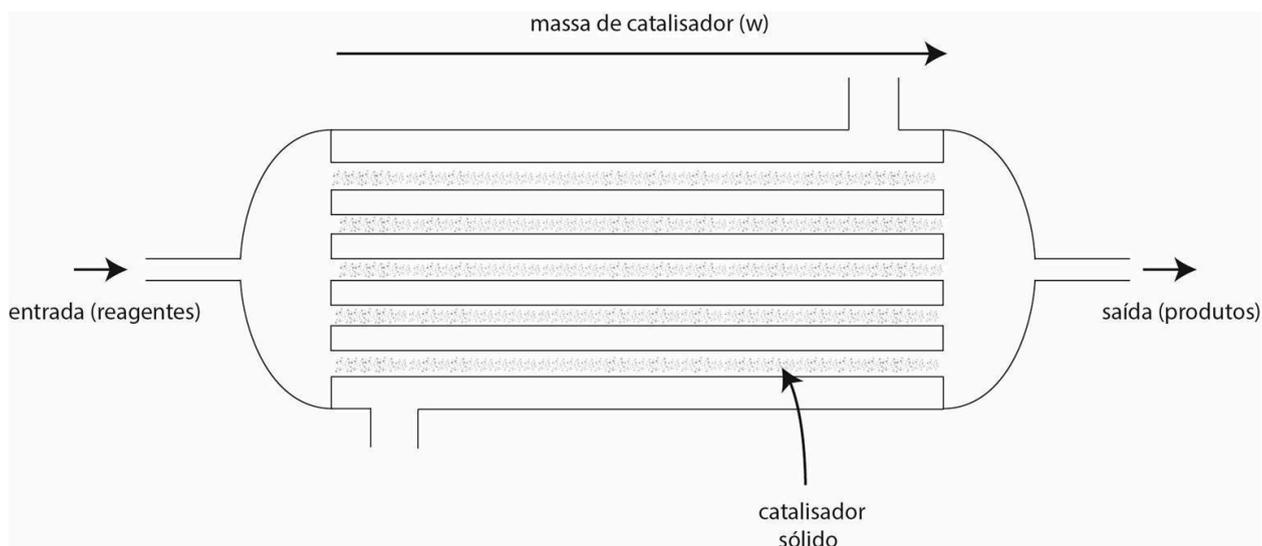


Figura 138 - Reator tubular com catalisador sólido.

O Exercício 5.2 deste capítulo é recomendado para fixar este conteúdo.

5.3. MÉTODO DE RUNGE-KUTTA

Outro método, amplamente utilizado, são os métodos de Runge-Kutta (RK) que utilizam a aproximação em série de Taylor para formulações de alta ordem. Estes métodos são expressos de forma geral como:

$$y_{i+1} = y_i + \Delta t \cdot \phi(t_i, y_i, \Delta t)$$

No qual a função $\phi(t_i, y_i, \Delta t)$ representa um incremento, ou passo.

Para um método de ordem n , o incremento fica:

$$\phi(t_i, y_i, \Delta t) = a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n$$

Onde:

a_1, a_2, \dots, a_n são constantes;

k_i é dado pelas relações:

$$k_1 = f(t_i, y_i) = \frac{dy_i}{dt_i}$$

$$k_2 = f(t_1 + p_1 \Delta t, y_i + q_{11} k_1 \Delta t)$$

$$k_n = f(t_i + p_{n-1} \Delta t, y_i + q_{n-1,1} k_1 \Delta t + q_{n-1,2} k_2 \Delta t + \dots + q_{n-1,n-1} k_{n-1} \Delta t)$$

Os termos p e q são constantes.

5.3.1. Runge-Kutta de 4ª ordem

Para uma aproximação de quarta ordem, obtém-se o método RK4. Este é o método mais utilizado para a resolução de PVI's, pois apresenta alta precisão em sua resolução e também por ser um método explícito, no qual depende de valores existentes.

Os parâmetros k_i para o RK4 são avaliados como:

$$k_1 = f(t_n, y_n)$$

$$k_2 = f\left(t_n + \frac{\Delta t}{2}, y_n + k_1 \frac{\Delta t}{2}\right)$$

$$k_3 = f\left(t_n + \frac{\Delta t}{2}, y_n + k_2 \frac{\Delta t}{2}\right)$$

$$k_4 = f\left(t_n + \Delta t, y_n + k_3 \Delta t\right)$$

Utilizando esses valores, o ponto y_{n+1} fica:

$$y_{n+1} = y_n + \left(\frac{\Delta t}{6}\right)(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

O Exercício 5.3 é relacionado a este conteúdo.

5.4. MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS

Métodos matemáticos são amplamente utilizados na determinação de perfis de temperatura, ou seja, em problemas que envolvem fenômenos de transferência de calor, principalmente na condução de calor em sólidos com geometrias complicadas, quando há geração de calor não uniforme e quando as propriedades físicas dependem da temperatura ou posição. Um método muito utilizado para a resolução destes problemas é o das diferenças finitas. Neste método a região envolvendo o fenômeno é discretizada em um conjunto de nós finitos e a equação diferencial de calor é aproximada por uma série de equações algébricas para as temperaturas.

5.4.1. Condução unidimensional em regime permanente com geração de calor

Iremos introduzir esse tema com um exemplo simplificado de condução de calor, aplicado em regime permanente numa parede plana unidimensional, com propriedades termofísicas constantes e com geração de calor uniforme. Os casos mais frequentes podem ser representados pela figura abaixo:

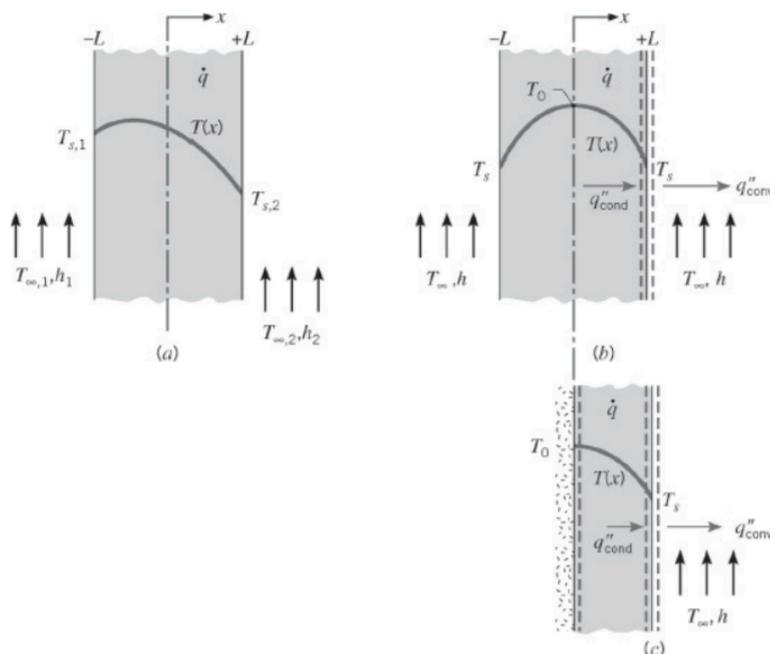


Figura 139 - Condução em uma parede plana com geração de calor uniforme. (a) Condições de contorno assimétricas. (b) Condições de contorno simétricas. (c) Superfície adiabática no plano central.

Seja a parede plana (a) da figura acima, na qual há geração uniforme de energia por unidade de volume (\dot{g} constante) cujas condições de contorno são assimétricas, ou seja, as superfícies são mantidas em $T_{s,1}$ e $T_{s,2}$. Para uma condutividade térmica constante, a maneira adequada de expressar a equação de calor que envolve este problema é:

$$\frac{d^2T(x)}{dx^2} + \frac{\dot{g}}{k} = 0 \quad \text{em } 0 \leq x \leq L$$

Sendo que $T(x)$ refere-se à temperatura na posição x , \dot{g} é a taxa de geração de energia e k é a condutividade térmica do material. A solução desta equação diferencial de segunda ordem detém de uma solução analítica, mas que por fins de aplicação do método mencionado não será abordada.

Além da EDO que representa o sistema, faz-se necessário conhecer as condições de contorno. Estas condições podem ser dadas na forma de uma função conhecida, onde:

$$T(x = 0) = f_0$$

$$T(x = L) = f_M$$

Dessa maneira, f_0 e f_M fornecem duas relações para que o sistema tenha solução particular, com a possibilidade de ser uma equação ou um valor constante. No caso em análise, ambas são valores constantes, ou seja:

$$T(x = 0) = T_{s,1}$$

$$T(x = L) = T_{s,2}$$

Diante disso, para que seja possível aplicar o método de diferenças finitas, a região $0 \leq x \leq L$ deve ser discretizada, ou seja, dividida em M pontos, logo $M-1$ sub-regiões iguais, cada uma com o tamanho de:

$$\Delta x = \frac{L}{M-1}$$

Dessa forma, criamos nós que vão de $x = 0$ até $x = L$. O nó correspondente a posição de coordenada m possui temperatura igual a T_m . A figura a seguir ilustra bem esta nomenclatura.

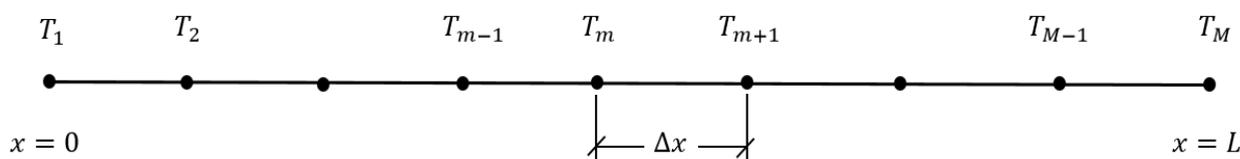


Figura 140 - Nomenclatura para representação de derivadas em diferenças finitas.

Podemos aproximar as derivadas da temperatura por diferenças finitas de três maneiras, conhecidas como: esquema para frente, para trás e central. No que diz respeito aos nós internos, dos três esquemas possíveis de aplicar o método, o correto é utilizar o método central:

$$\left. \frac{d^2T(x)}{dx^2} \right|_{x=m} = \frac{T_{m-1} - 2T_m + T_{m+1}}{(\Delta x)^2}$$

Sendo assim, a equação acima é aplicada na equação de condução de calor que representa o sistema, obtendo-se:

$$\left(T_{m-1} - 2T_m + T_{m+1} \right) + \frac{(\Delta x)^2 \dot{g}}{k} = 0 \quad \text{para } 2 < m < M - 1$$

Essa relação deve ser utilizada somente para os nós internos $m = 2, 3, \dots, M - 1$. Vale ressaltar que para cada problema as condições de contorno diferem, nem sempre são valores constantes e sim equações. Nestes casos, nos nós de fronteira $m = 1$ e $m = M$, também há a necessidade de aplicar o método de diferenças finitas, pois a solução deve ser completamente realizada no domínio discreto. Ainda, a resolução deve ser realizada simultaneamente com a equação que representa os nós internos e as duas que representam os nós de fronteira.

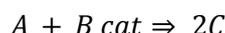
O Exercício 5.4 está relacionado com este conteúdo.

5.5. EXERCÍCIOS

Exercício 5.1. Resolva a seguinte EDO no LibreOffice utilizando o método de Euler Explícito. Adote 0,1 como passo de integração e a condição inicial: $y(0) = 1$. Através de um gráfico, compare a solução numérica com a solução exata desta equação. Além disso, utilize seus conhecimentos em VBA para desenvolver uma função para o algoritmo de Euler. E por fim, calcule o erro absoluto e o relativo para ambos os casos quando $x = 5$.

$$\frac{dy}{dx} = x + y$$

Exercício 5.2. Uma dada reação catalítica para a formação de C ocorre em fase gasosa. Esta reação se processa em um reator de leito fixo e isotérmico.



Um(a) estudante de engenharia química fez uma modelagem completa desse reator. A ele é alimentada uma corrente com vazão de $3,75 \text{ dm}^3/\text{s}$, contendo 40% de A e 60% de B. A temperatura e pressão de entrada dos reagentes são, respectivamente, 380 K e 5 bar (abs). Adotando $R = 0,08314 \text{ bar}\cdot\text{dm}^3/\text{mol}\cdot\text{K}$, pede-se os seguintes itens:

- Construa o perfil de pressão e conversão do reator no intervalo de 0 a 60 Kg de catalisador, com passos de 1 kg.
- Encontre no perfil a pressão de saída para uma conversão de 80%.
- Crie uma função no VBA que faça o mesmo papel da letra b.

Equações obtidas da modelagem feita pelo estudante:

$$-r'_A = \frac{kC_A}{K+C_A} \quad \left(\frac{\text{gmol}}{\text{kg}_{\text{cat}}\cdot\text{s}} \right)$$

$$k = 1,33 \exp \exp \left(\frac{-1800 \text{ K}}{T} \right) \quad \left(\frac{\text{gmol}}{\text{kg}_{\text{cat}}\cdot\text{s}} \right)$$

$$y = \frac{P}{P_0}$$

$$K = 0,026 \exp \exp \left(\frac{-280 \text{ K}}{T} \right) \quad \left(\frac{\text{gmol}}{\text{dm}^3} \right)$$

$$C_{A0} = \frac{y_{A0}P_0}{RT_0}$$

$$F_{A0} = Q_0 C_{A0}$$

$$C_A = C_{A0}(1 - X_A)y$$

$$P = yP_0$$

$$\frac{dX_A}{dw} = \frac{-r'_A}{F_{A0}}$$

$$\frac{dy}{dw} = -\frac{\alpha T}{2yT_0} (1 + \varepsilon_A X_A) = -\frac{0,015}{2y}$$

Exercício 5.3. Considere o seguinte PVI:

$$\frac{dy}{dt} = -t\sqrt{y} + 7y \quad y(0) = 4$$

Utilize o método de Euler Explícito e o método de Runge-Kutta de 4ª Ordem com $h=0,1$ para estimar a solução para $t = 0, 4$. Compare com a solução exata $y(0, 4) = 64, 687$. Crie uma função no VBA para calcular a solução através de método RK4 e uma Sub-Rotina a partir de um UserForm no qual você pode entrar com o $y(0)$, o t de parada e o incremento h .

Exercício 5.4. Considere a condução de calor em regime permanente em um bloco de espessura $L = 50 \text{ mm}$, em que energia é gerada a uma taxa constante $\dot{g} = 7,2 \cdot 10^6 \text{ W/m}^3$. A região de fronteira em $x = 0$ é mantida a uma temperatura constante de $T_0 = 100^\circ\text{C}$, enquanto que a região da fronteira em $x = L$ dissipa calor por convecção, com uma taxa de transferência de calor $h = 1000 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ em um ambiente de temperatura $T_\infty = 30^\circ\text{C}$. Dividindo em 20 sub-regiões, formule este problema utilizando o método das diferenças finitas, tendo que a condutividade térmica do bloco é $k = 18 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$ valor constante. Utilize a função de formatação condicional do LibreOffice para evidenciar o gradiente e construa um gráfico para visualizar o perfil de temperaturas.

5.6. RESPOSTAS

Exercício 5.1.

A primeira etapa para construir a solução numérica é preencher manualmente a primeira linha ($n=0$) com a condição inicial: $x = 0$ e $y = 1$. Em seguida pode-se preencher totalmente a coluna de iterações. Isso é feito digitando o valor 1 na segunda linha, selecionando as células correspondentes às duas primeiras linhas desta coluna, ou seja 0 e 1, e replicando até o final. Podemos perceber que serão realizadas 50 iterações, uma vez que o passo adotado é de 0,1 e o último valor de x é 5. Utiliza-se a primeira célula da coluna da derivada (y') para incluir a fórmula que corresponde a EDO: $x + y$, em função das variáveis à sua esquerda, da mesma linha, sem fixar. Em seguida utiliza-se o algoritmo do método de Euler Explícito para as variáveis x e y . Nas respectivas células abaixo de sua variável, aplicam-se as fórmulas:

$$x_{n+1} = x_n + h$$

$$y_{n+1} = y_n + h \cdot \frac{dy}{dx}$$

Na qual somente a variável h deve ser fixada, em ambos os casos, com F4 antes de replicarem-se as células.

Com isso, replica-se somente uma linha para baixo a célula na qual realizamos o cálculo da derivada da primeira linha, ou seja, somente a primeira célula da última coluna à direita para a segunda linha. E então, selecionamos as 3 células das últimas três colunas da segunda linha (de x , y e y'') podendo replicar até o fim da tabela. Com isso a solução numérica está concluída. Já para a segunda tabela, temos que aplicar a equação correspondente à solução exata:

$$y(x) = -1 - x + 2e^x$$

As colunas de iterações e x são preenchidas da mesma maneira que a solução numérica. Já a de y aplica-se a equação desde a primeira linha, em função da coluna à esquerda, sem a necessidade de fixar a variável x . Podendo então, replicar a mesma até o fim da tabela.

Sendo assim, obtemos os seguintes resultados (até $n=50$):

Numérica				Exata		
n	x_n	y_n	y'_n	n	x_n	y_n
0	0	1	1	0	0	1
1	0,1	1,100	1,200	1	0,1	1,110

2	0,2	1,220	1,420
3	0,3	1,362	1,662
4	0,4	1,528	1,928
5	0,5	1,721	2,221
6	0,6	1,943	2,543
7	0,7	2,197	2,897
8	0,8	2,487	3,287
9	0,9	2,816	3,716
10	1,0	3,187	4,187
11	1,1	3,606	4,706
12	1,2	4,077	5,277
13	1,3	4,605	5,905
14	1,4	5,195	6,595
15	1,5	5,854	7,354
16	1,6	6,590	8,190
17	1,7	7,409	9,109
18	1,8	8,320	10,120
19	1,9	9,332	11,232
20	2,0	10,455	12,455
21	2,1	11,700	13,800
22	2,2	13,081	15,281
23	2,3	14,609	16,909
24	2,4	16,299	18,699
25	2,5	18,169	20,669
26	2,6	20,236	22,836
27	2,7	22,520	25,220
28	2,8	25,042	27,842
29	2,9	27,826	30,726
30	3,0	30,899	33,899
31	3,1	34,289	37,389
32	3,2	38,028	41,228
33	3,3	42,150	45,450
34	3,4	46,695	50,095
35	3,5	51,705	55,205
36	3,6	57,225	60,825
37	3,7	63,308	67,008
38	3,8	70,009	73,809
39	3,9	77,390	81,290
40	4,0	85,519	89,519
41	4,1	94,470	98,570
42	4,2	104,327	108,527
43	4,3	115,180	119,480
44	4,4	127,128	131,528
45	4,5	140,281	144,781
46	4,6	154,759	159,359
47	4,7	170,695	175,395
48	4,8	188,234	193,034
49	4,9	207,538	212,438

2	0,2	1,243
3	0,3	1,400
4	0,4	1,584
5	0,5	1,797
6	0,6	2,044
7	0,7	2,328
8	0,8	2,651
9	0,9	3,019
10	1,0	3,437
11	1,1	3,908
12	1,2	4,440
13	1,3	5,039
14	1,4	5,710
15	1,5	6,463
16	1,6	7,306
17	1,7	8,248
18	1,8	9,299
19	1,9	10,472
20	2,0	11,778
21	2,1	13,232
22	2,2	14,850
23	2,3	16,648
24	2,4	18,646
25	2,5	20,865
26	2,6	23,327
27	2,7	26,059
28	2,8	29,089
29	2,9	32,448
30	3,0	36,171
31	3,1	40,296
32	3,2	44,865
33	3,3	49,925
34	3,4	55,528
35	3,5	61,731
36	3,6	68,596
37	3,7	76,195
38	3,8	84,602
39	3,9	93,905
40	4,0	104,196
41	4,1	115,581
42	4,2	128,173
43	4,3	142,100
44	4,4	157,502
45	4,5	174,534
46	4,6	193,369
47	4,7	214,194
48	4,8	237,221
49	4,9	262,680

50	5,0	228,782	233,782
----	-----	---------	---------

50	5,0	290,826
----	-----	---------

Plotando o gráfico com todos os valores:

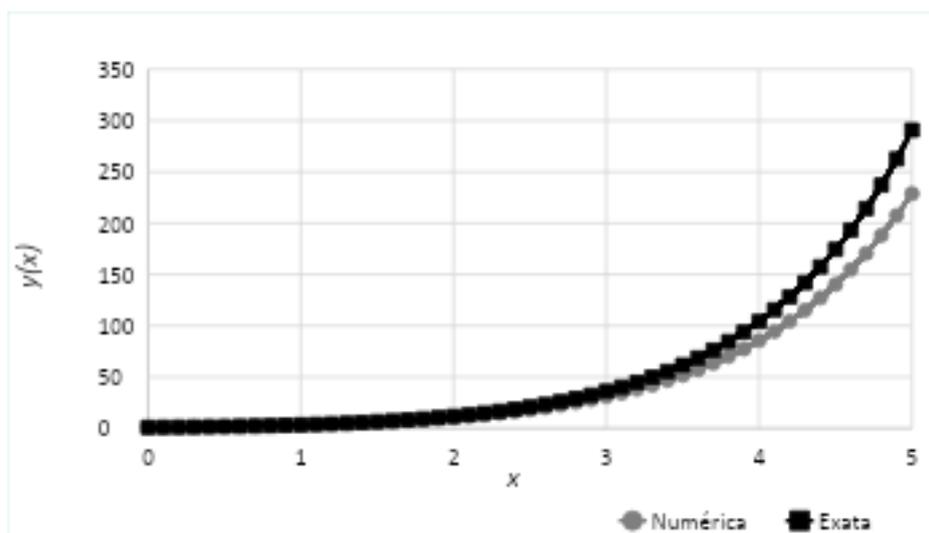


Figura 141 - Gráfico do exercício 5.1.

Notamos que através do método de Euler a solução numérica aproxima-se relativamente bem da solução exata, no intervalo do domínio analisado. O valor de $y(5)$ pela solução numérica é de 228,782 e da exata de 290,826.

Quanto à parte da questão que diz respeito ao uso do VBA, podemos criar uma função para calcular o valor de y quando x é igual a 5, no modelo a seguir:

Function Ex1Euler(x As Single, y As Single, h As Single, Parada As Single) As Single

Dim dydx As Single

Do While x < Parada

dydx = x + y

x = x + h

y = y + h * dydx

Loop

Ex1Euler = y

End Function

No código acima temos: dydx como a derivada; h como o passo e o x desejado (5) como parada. Nesta função temos 4 entradas, das quais as duas primeiras correspondem a condição inicial. O valor de x e y da condição inicial poderiam facilmente ser removidos dos parâmetros de entrada, substituindo pelo uso de duas variáveis x e y, inicializadas como 0 e 1 antes do laço, respectivamente. Porém isso não é vantajoso em termos de praticidade, pois um caso distinto teria uma condição inicial diferente, favorecendo a maneira como está disposta originalmente. Após a aplicação da função, a mesma nos retorna o valor $y(5) = 252,160$.

Por fim podemos calcular os erros, tanto absoluto quanto relativo, da solução numérica e do código em VBA, ambos em relação ao valor obtido da solução exata. As fórmulas para os mesmos são respectivamente:

Absoluto

$$|y - \underline{y}|$$

Relativo

$$\frac{|y-y|}{y} \cdot 100\%$$

Onde y é o valor exato e \underline{y} é a aproximação. Sendo assim, temos como respostas:

Erro Sol. Numérica	
Absoluto	Relativo
62,045	21,33%

Erro VBA	
Absoluto	Relativo
38,666	13,30%

Exercício 5.2.

Os perfis de pressão e conversão solicitados são dados em função da massa de catalisador, ou seja, a massa é a variável independente deste problema. Na modelagem proposta pela/o aluna/o, através do método de Euler, temos duas relações a serem aplicadas:

A primeira é para o fator adimensional de pressão:

$$y_n = y_{n-1} + h \frac{dy}{dw}$$

E a segunda é para a conversão da reação, em função do componente A:

$$X_{A,n} = X_{A,n-1} + h \frac{dX_A}{dw}$$

Através das outras relações obtidas pela modelagem, é notável a dependência da pressão no cálculo da conversão, o que caracteriza um sistema. De fato, sua origem é de um sistema de equações diferenciais.

- a) Podemos iniciar a resolução primeiramente calculando e nomeando as constantes do problema, as quais são: C_{A0} , F_{A0} , k e K . É de boa prática também nomear os dados do problema: T , P_0 , y_{A0} , Q_0 e h . Inicialmente é necessário adotar algumas conclusões humanas. No início ainda não se alimentou o reator de catalisador, ou seja, $w=0$ na primeira linha. Uma vez que o passo é de 1 kg, é possível preencher toda a sua coluna com a relação:

$$w_{n+1} = w_n + h$$

Também sabemos que no início a pressão exercida pelo sistema é a pressão de entrada dos reagentes. Deste modo, na primeira linha devemos preencher na última coluna que a pressão P é igual a P_0 . No mesmo estágio, ainda não se processa a reação, desta forma a conversão X_A inicialmente é zero. Sendo assim, é necessário colocar na primeira célula da respectiva coluna desta variável o valor 0. Em posse disso, e das demais constantes, podemos iniciar os cálculos referentes ao primeiro estágio (primeira linha). Calcula-se o fator adimensional de pressão no primeiro ponto como sendo a razão entre P e P_0 , resultando no valor 1, como esperado. Em seguida, calculamos o valor de C_A , neste caso igual à C_{A0} , e então $-r'_A$. Após, calcula-se as derivadas dy/dw e dX_A/dw pelas relações obtidas pela modelagem. Com isso, o primeiro estágio está completo. Para o estágio seguinte, segunda linha, iremos utilizar das relações obtidas pelo algoritmo de Euler, ou seja, calculando os próximos valores de y e X_A . As demais variáveis serão calculadas da mesma forma que foram calculadas na primeira linha, exceto a pressão P . Dito isso pode-se replicar para a segunda linha o que corresponde à C_A , $-r'_A$, dy/dw e dX_A/dw , não esquecendo de verificar se todas as constantes foram fixadas, ou ainda nomeadas para facilitar. Neste caso, a pressão é calculada por $y \cdot P_0$, uma manipulação da relação do fator adimensional de pressão. Finalizado essa etapa, podemos replicar toda a segunda linha até o fim da tabela, correspondente à $w=60$ kg. Com os valores obtidos é possível construir os perfis de pressão e conversão, ambos em função de w . Com uma manipulação do tipo de gráfico, chegamos em uma representação como está abaixo.

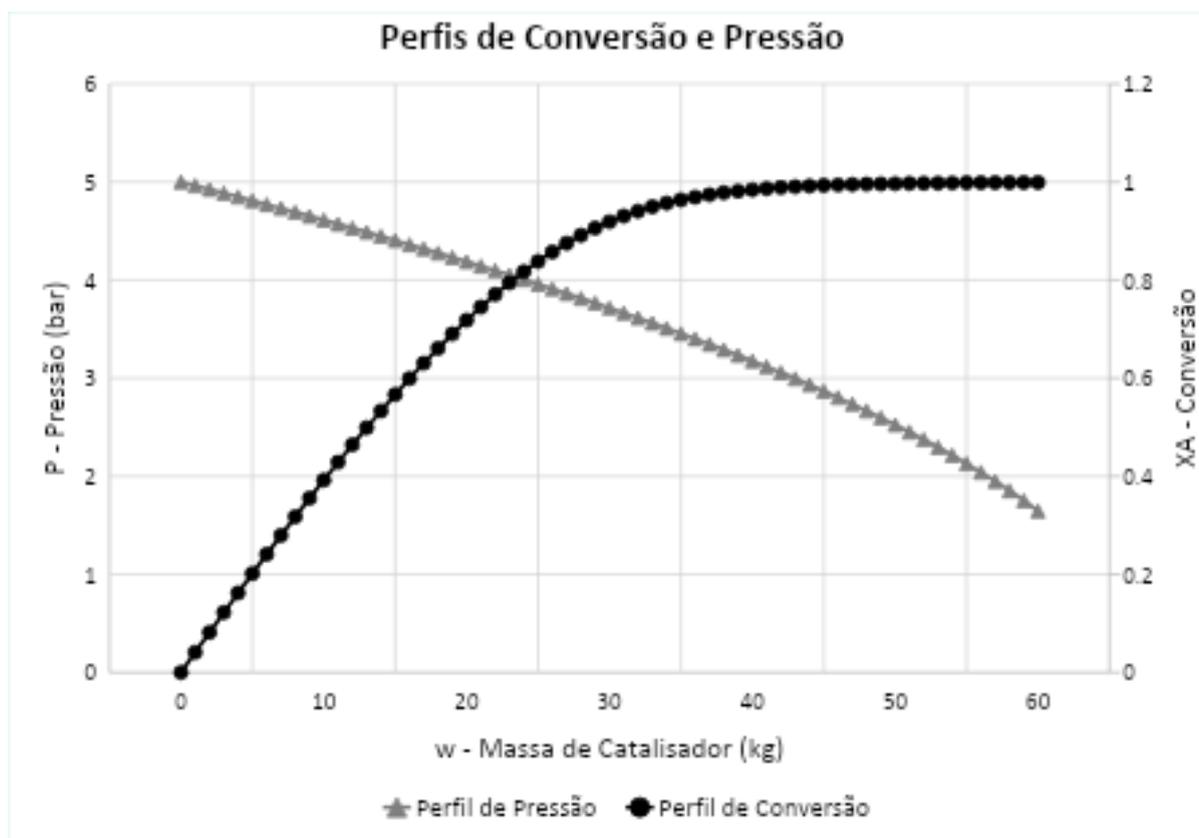


Figura 142 - Gráfico do exercício 5.2.

- b) Para a conversão de 80%, a análise da curva que corresponde ao perfil de pressão retorna uma pressão de aproximadamente 4 bar.
- c) A formulação de um código para resolver a letra b pode ser feito da maneira ilustrada abaixo.

Function Pressão(T As Single, P0 As Single, yA0 As Single, Q0 As Single, h As Single, Parada As Single) As Single

Dim R_, CA0, FA0, k_, K As Single

R_ = 0.08314 'bar.dm3/mol.K

CA0 = (yA0 * P0) / (R_ * T)

FA0 = Q0 * CA0

k_ = 1.33 * Exp(-1800 / T)

K = 0.026 * Exp(-280 / T)

Dim CA, ra, dydw, dXAdw, P, y, XA As Single

XA = 0

P = P0

y = P / P0

Do While XA < Parada

CA = CA0 * (1 - XA) * y

ra = (k_ * CA) / (K + CA)

dydw = -0.015 / (2 * y)

dXAdw = ra / FA0

$$P = y * P0$$

$$y = y + h * dydw$$

$$XA = XA + h * dXAdw$$

Loop

Pressão = P

End Function

Aplicando essa função obtemos como resultado $P(X_A=0,8) = 4,05$ bar, o que é coerente com a análise gráfica.

Exercício 5.3.

Na primeira tabela usamos o método de Euler e na segunda RK4.

No cálculo dos valores de k, deve-se tomar cuidado, pois é como se o método “atualiza-se” os valores de t e y dentro da EDO.

O Euler Explícito pode ser feito com base no esqueleto da função da Atividade 1, ou ainda, de uma maneira mais direta, através da função em VBA:

Function Ex3Euler(t As Single, y As Single, h As Single, Parada As Single) As Single

Dim dydt As Single

Do While t < Parada

$$dydt = -t * (y) ^ (1 / 2) + 7 * y$$

$$t = t + h$$

$$y = y + h * dydt$$

Loop

Ex3Euler = y

End Function

Obtendo como resultado:

Euler
y (0,4)
33,085

Já o preenchimento do RK4 poderia ser feito tanto pela tabela, quanto em VBA. No último caso, primeiramente criamos o UserForm, tendo três parâmetros de entrada para a nossa Sub-Rotina. Sendo, de cima para baixo, a condição inicial de y quando t é zero, o passo h e o valor de t que corresponde à parada. As caixas de entrada devem ser definidas e nomeadas para que no código elas sejam referenciadas corretamente. Neste caso iremos usar y0, h e Parada tanto nas opções (Name) e Caption na categoria Label de cada um. Já na opção de TextBox iremos usar como exemplo TBy0, TBh e TBParada respectivamente. Sendo assim, podemos escrever para botão OK, e para o botão Cancelar, as seguintes Sub-Rotinas:

Figura 143 - Formulário do exercício 5.3.

```
Private Sub CBCancelar_Click()
```

```
    Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CBOK_Click()
```

```
    Dim t, y, h, k1, k2, k3, k4, Parada As Single
```

```
    Range("I33").Value = TBy0.Value
```

```
    Range("D33").Value = 0
```

```
    y = TBy0.Value
```

```
    t = 0
```

```
    Parada = TParada.Value
```

```
    h = TBh.Value
```

```
    Range("I33").Select
```

```
    Do While t < Parada
```

```
        k1 = -t * (y) ^ (1 / 2) + 7 * y
```

```
        ActiveCell.Offset(0, -4).Value = k1
```

```
        k2 = -(t + h / 2) * (y + k1 * h / 2) ^ (1 / 2) + 7 * (y + k1 * h / 2)
```

```
        ActiveCell.Offset(0, -3).Value = k2
```

```
        k3 = -(t + h / 2) * (y + k2 * h / 2) ^ (1 / 2) + 7 * (y + k2 * h / 2)
```

```
        ActiveCell.Offset(0, -2).Value = k3
```

```
        k4 = -(t + h) * (y + k3 * h) ^ (1 / 2) + 7 * (y + k3 * h)
```

```
        ActiveCell.Offset(0, -1).Value = k4
```

```
        ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
```

```
        y = y + (h / 6) * (k1 + 2 * k2 + 2 * k3 + k4)
```

```
        ActiveCell.Value = y
```

```
        t = t + h
```

```
        ActiveCell.Offset(0, -5).Value = t
```

```
        ActiveCell.Offset(0, -4).Value = k1
```

ActiveCell.Offset(0, -3).Value = k2

ActiveCell.Offset(0, -2).Value = k3

ActiveCell.Offset(0, -1).Value = k4

Loop

Unload Me

End Sub

Assim, quando iniciarmos o UserForm e preenchemos corretamente os dados de entrada, devemos obter como resultados:

RK4					
t_n	k_1	k_2	k_3	k_4	y_n
0	28,0	37,7	41,1	56,5	4
0,1	55,9	75,3	82,1	112,9	8,033
0,2	111,8	150,6	164,2	225,8	16,093
0,3	223,8	301,5	328,6	452,3	32,214
0,4	223,8	301,5	328,6	452,3	64,487

Após, podemos calcular os erros:

Erro Euler	
Absoluto	Relativo
31,602	48,85%

Erro RK4	
Absoluto	Relativo
0,200	0,31%

Exercício 5.4.

Este exercício está intimamente ligado com o exemplo descrito no tópico referente ao método das diferenças finitas, pois é classificado da mesma forma: condução de calor em placa plana unidimensional, em regime permanente, com geração de calor uniforme e propriedades termofísicas constantes. A distinção é que ao invés do item (a) da figura do enunciado, este problema é representado pela figura (c):

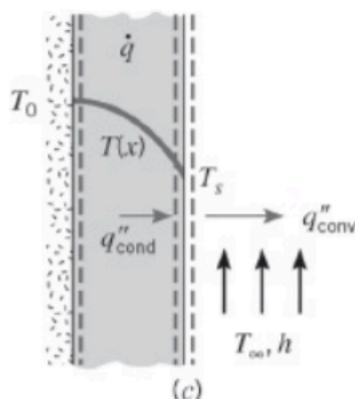


Figura 144 - Figura (c) do exercício 5.4.

Vamos primeiramente modelar o sistema, para aplicar as equações corretamente e encontrar o perfil de temperaturas. No interior do material há geração de energia uniforme, logo é regido pela mesma equação de calor descrita na equação retomada abaixo:

$$\frac{d^2T(x)}{dx^2} + \frac{g}{k} = 0 \quad \text{em } 0 \leq x \leq L$$

Com isso, nos nós internos, que correspondem à $0 < x < L$, pode-se aplicar o método utilizando o esquema central para a derivada segunda, resultando na equação:

$$(T_{m-1} - 2T_m + T_{m+1}) + \frac{(\Delta x)^2 g}{k} = 0 \quad \text{para } 2 < m < M - 1$$

Analogamente ao primeiro caso descrito, a condição de contorno na superfície em $x = 0$, nó de fronteira $m = 1$, é uma temperatura constante e conhecida por $T_0 = 100^\circ\text{C}$. Logo, nesta etapa não é necessário aplicar o método.

$$T_m = 100^\circ\text{C} \quad \text{para } m = 1$$

Já para a superfície em $x = L$, há dissipação de calor por convecção, com uma taxa de transferência de calor $h = 1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ em um ambiente de temperatura $T_\infty = 30^\circ\text{C}$. A resolução seria facilitada se a temperatura nessa superfície, nó de fronteira $m = M$, já fosse conhecida, porém é comum uma situação como essa, em que um fluido circula externamente. Para encontrar a relação que representa a condição de contorno nessa fronteira é necessário um balanço de energia na superfície, expresso por:

$$\text{Condução de calor na superfície} = \text{Convecção de calor na superfície}$$

Substituindo as equações de taxa apropriadas

$$-k \left. \frac{dT(x)}{dx} \right|_{x=L} = h[T(L) - T_\infty]$$

Aplicando o esquema para trás da derivada primeira e atribuindo o domínio discreto, tem-se:

$$-k \left(\frac{T_M - T_{M-1}}{\Delta x} \right) = h(T_M - T_\infty)$$

Simplificando a equação:

$$T_{M-1} - \left(1 + \frac{\Delta x h}{k} \right) T_M + \frac{\Delta x h}{k} T_\infty = 0 \quad \text{para } m = M$$

Sendo assim, finalizamos a modelagem tanto para os nós de fronteira quanto para os internos. Após isso, podemos prosseguir com a resolução propriamente dita. Primeiramente preenchemos a tabela de dados e nomeamos as constantes. Em seguida, podemos vincular a temperatura do nó $m = 1$, que é constante e conhecida como T_0 na tabela de Nó e Temperatura.

As outras temperaturas são nossas incógnitas. Se fôssemos resolver sem o uso do software Solver, obteríamos um sistema de equações lineares que precisaria ser resolvido de outra forma, como por exemplo pelo Algoritmo de Thomas (TDMA), que transforma a matriz dos coeficientes em uma matriz triangular superior.

Para a terceira tabela, chamada “Cálculo do Modelo”, iremos preencher com as fórmulas do método de diferenças finitas correspondente ao conjunto de nós internos e fronteira na superfície $x = L$. O primeiro ponto não precisa ser calculado pois já conhecemos. Para o restante, utilizaremos o método central, exceto para o último, o qual é o método para trás. Depois de preenchida, a tabela terá o formato ilustrado na figura abaixo:

Nó	Temperatura	Cálculo do Modelo
1	100,00	
2		1,03E+02
3		2,50E+00
4		2,50E+00
5		2,50E+00
6		2,50E+00
7		2,50E+00
8		2,50E+00
9		2,50E+00
10		2,50E+00
11		2,50E+00
12		2,50E+00
13		2,50E+00
14		2,50E+00
15		2,50E+00
16		2,50E+00
17		2,50E+00
18		2,50E+00
19		2,50E+00
M-1		2,50E+00
M		4,17E+00

Antes de partir para o Solver é necessário atribuímos valores estimados para as células que correspondem as incógnitas para que o método possa ser efetivo, uma vez que é iterativo. Assumindo que isso tenha sido feito, então, utilizando o Solver iremos primeiramente definir como objetivo tornar a célula **E22** para o valor 0. Sim, está é a célula correspondente à segunda linha da coluna “Cálculo do Modelo”, pois a primeira célula não há um modelo, uma vez que é uma temperatura dada e fixa. Em seguida, em “Alterando Células Variáveis” selecionamos o conjunto de células que correspondem às temperaturas, excluindo a primeira, como nossas células variáveis, ou seja, da **C22** à **C41** no formato **\$C\$22:\$C\$41**. No tópico “Sujeito às Restrições” clicamos em “Adicionar”, para selecionar todas as células na coluna correspondente ao Cálculo do Modelo, exceto à primeira e a **\$E\$22** já atribuída como objetivo, para estar sujeito à restrição igual a 0. No caso ficará como **\$E\$23:\$E\$41 = 0**. Devemos agora adotar um Método de Solução, neste caso será o GRG Não Linear, com a opção “Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas” selecionada e finalmente apertamos o botão “Resolver”.

Parâmetros do Solver

Definir Objetivo:

Para: Máx. Mín. Valor de:

Alterando Células Variáveis:

Sujeito às Restrições:

Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas

Selecionar um Método de Solução:

Método de Solução
 Seleccione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Seleccione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Seleccione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.

Figura 145 - Solver do exercício 5.4.

Sendo assim obtemos as temperaturas, podendo utilizar uma Formatação Condicional para evidenciar o gradiente.

Nó	Temperatura	Cálculo do Modelo
1	100,00	
2	127,46	0,00E+00
3	152,43	0,00E+00
4	174,89	5,68E-14
5	194,85	-5,68E-14
6	212,32	2,84E-14
7	227,28	-2,84E-14
8	239,74	5,68E-14
9	249,71	-1,00E-06
10	257,17	-5,68E-14
11	262,13	-1,14E-13
12	264,60	2,27E-13
13	264,56	-5,68E-14
14	262,02	-1,14E-13
15	256,99	2,84E-14
16	249,45	0,00E+00
17	239,41	0,00E+00
18	226,87	2,84E-14
19	211,84	-2,84E-14
M-1	194,30	2,84E-14
M	174,26	9,15E-07

É válido ressaltar que dependendo da precisão adotada no cálculo do modelo, definido nas opções do Excel, os valores correspondentes as células do modelo poderão ter algumas divergências, porém guie-se pelo valor numérico das temperaturas.

Finalmente, podemos construir um gráfico para visualizar efetivamente o perfil, cujo comportamento esperado é parabólico (análise feita através da solução analítica). Com a tabela destinada para o cálculo do domínio de x ,

primeiramente preenchamos com o valor zero na primeira célula. Em seguida, vinculamos a célula anterior, somando Δx . Então podemos replicar até o final, ou seja, seguindo a fórmula:

$$x_i = x_{i-1} + \Delta x$$

Já para a coluna de $T(x)$, podemos simplesmente igualar a coluna de temperatura já calculada ou copiar os valores. Resultando em:

x	T(x)
0	100,00
0,0025	127,46
0,0050	152,43
0,0075	174,89
0,0100	194,85
0,0125	212,32
0,0150	227,28
0,0175	239,74
0,0200	249,71
0,0225	257,17
0,0250	262,13
0,0275	264,60
0,0300	264,56
0,0325	262,02
0,0350	256,99
0,0375	249,45
0,0400	239,41
0,0425	226,87
0,0450	211,84
0,0475	194,30
0,0500	174,26

Expressando esses resultados em um gráfico, como exemplificado abaixo, teremos concluído o exercício.

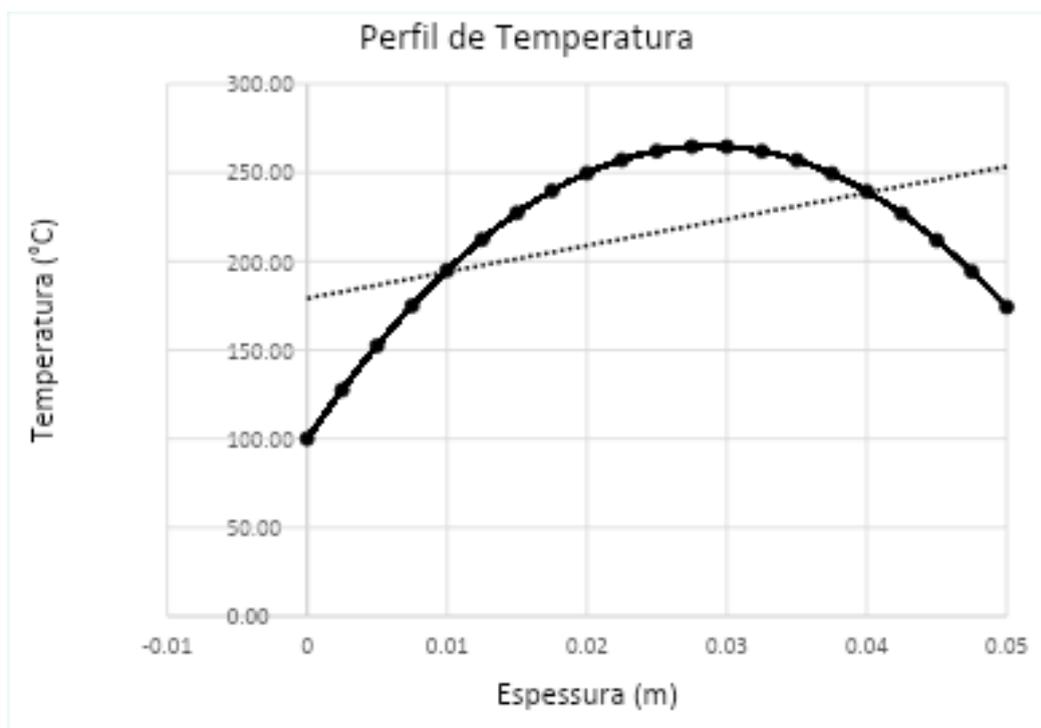


Figura 146 - Perfil de Temperatura exercício 5.4.