

VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA) COMO FERRAMENTA DE CÁLCULO PARA MODELAGEM DE UM TANQUE DE MISTURA

Paulo R. C. Filho¹, Alessandro Alisson de Lemos Araújo²

Resumo: Devido a alta concorrência nos dias atuais as empresas têm buscado maior controle de seus processos afim de se obter maior qualidade em seus produtos produzindo assim bons *feedbacks* e baixos índices de refugo. A simulação de processos envolve a análise fenomenológica ou empírica do fenômeno observado. No caso do modelo fenomenológico apresentado neste trabalho o objetivo é encontrar uma solução numérica do nível do tanque e a concentração da mistura de acordo com as condições iniciais informadas a partir da modelagem matemática. Sendo assim, foi implementado um método numérico de Runge Kutta de 4ª ordem através de uma rotina de programação em vba® para resolver a equação diferencial. Com a criação de um algoritmo em vba® Excel podemos automatizar a simulação para valores diversos, tornando o programa dinâmico e útil em múltiplos controles.

Palavras-chave: modelagem; método de Runge Kutta 4ª ordem; VBA; tanque de mistura.

1. INTRODUÇÃO

Em pouco tempo o mundo mudou radicalmente, seja ao nível social ou econômico, produtos novos e bem mais complexos surgiram, impulsionados pela pesquisa. A engenharia faz um papel crucial nessa mudança, aprimorando, mantendo o controle e reparos além de desenvolver métodos mais seguros e dinâmicos no controle de operações.

“A primeira revolução Industrial começou algures entre 1760 e 1840 na Inglaterra, com a substituição progressiva dos métodos artesanais por máquinas e ferramentas, pela exploração do carvão como energia alternativa à madeira e outros biocombustíveis, e pelo uso crescente da energia do vapor. As alterações dos processos produtivos tiveram consequências significativas a nível económico e social.” (COELHO, 2016, p. 14).

“A indústria está em transformação a uma velocidade nunca antes vista, impulsionada pelo desenvolvimento e utilização de tecnologias facilitadoras, cada vez mais evoluídas e ágeis.” (COELHO, 2016, p. 4).

Diante do exposto acima fica evidente o cenário atual, com novas tecnologias e dinâmicas de mercado se faz necessário o uso da simulação de processos para aprimora-los e manter o controle na operação. A Modelagem é uma das áreas de maior interesse nas grandes indústrias pelo mundo, devido a crescente concorrência por melhores produtos se faz necessário o uso de técnicas aprimoradas de controle que só são possíveis graças a computação e a matemática avançada.

“Atualmente existem softwares que permitem simulações, inclusive, já são amplamente utilizados nos processos de produção para aumentar a confiabilidade do processo e reduzir custos.” (SOUZA; JUNIOR; NETO, 2017, p.4)

A modelagem pode partir de dois modelos: o modelo empírico, feito através da correlação dados obtidos experimentalmente, e o modelo fenomenológico. No caso do modelo fenomenológico ele é feito através de suposições sobre elementos diferenciais e obtendo assim uma equação diferencial, logo após a obtenção da equação é possível, através de um método analítico ou numérico, resolve-la.

Depois de estudar o processo e desenvolver os modelos necessários se faz necessário automatizar o cálculo para vários valores, esta etapa é feita através de algoritmos, e para melhorar a operação, pode se utilizar o recurso de interface gráfica para inserção de novos valores. No artigo em questão abordamos um estudo de caso se tratando de um escoamento de um tanque de mistura em processo contínuo com entrada e saída de fluido. Onde foi utilizado o método numérico de Runge Kutta de 4ª ordem implementado em uma linguagem de programação utilizado vba®.

O VBA é uma poderosa ferramenta com a qual o usuário pode desenvolver programas com graus de complexidade variados (p.ex.: códigos para formatar células de uma planilha; códigos para resolver sistemas com dezenas de equações diferenciais, etc.) (CARMO; EVANGELISTA, 2015)

No algoritmo contamos com a utilização de uma interface gráfica (Useform) no intuito de receber os valores. O algoritmo fornece, através dos valores fornecidos, a solução numérica e analítica para a modelagem do escoamento e para a concentração além de gerar os gráficos comparativos. O programa fornece, além do que foi mencionado acima, os pontos de estabilização do gráfico para os eixos de tempo em relação a altura e a concentração. Por fim, é possível acompanhar uma animação do nível de líquido no tanque. Embora existam

outros métodos numéricos, o uso de Range Kutta de 4º ordem é de facilmente implementado em uma rotina computacional além de ser um método habitual na solução de problemas com edo de primeira ordem.

2. DESENVOLVIMENTO

Como exposto na introdução o uso da computação na engenharia é bem mais presente do que era a alguns anos atrás. No caso da engenharia química encontramos diversos problemas relacionados a controle de processos, o que leva ao controle de diversas variáveis. A utilização de simuladores, bem como a modelagem de processos, também é utilizada afim de otimizar processos. Identificando condições ótimas de operação, novas configurações para planta, substituição de equipamentos, entre outros.

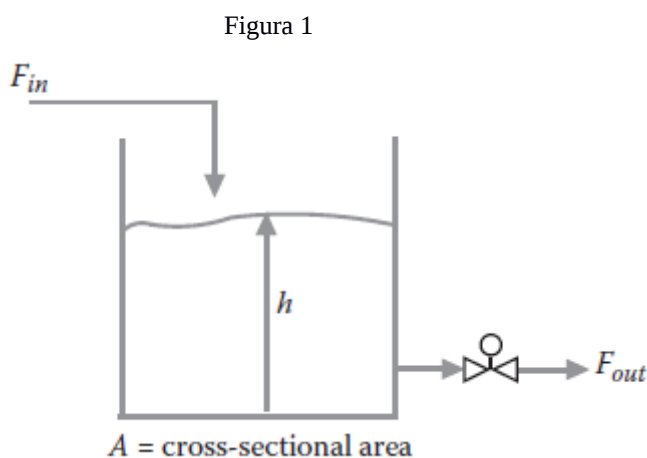
A simulação de um processo qualquer consiste em prever o resultado das variáveis desejadas. A modelagem, ou simulação, parte de dois princípios: modelos fenomenológicos ou empíricos. No caso de modelos empíricos o pesquisador obtém dados e aplica métodos de regressão entre outros para se obter uma equação que descreva o comportamento dos dados. Na engenharia química existem diversos modelos baseados nesse método de regressão, como equações para estimar pressão de vapor (Antoine e Wagner). Nesse artigo tratamos do modelo fenomenológico: busca, através de suposições, descrever o fenômeno por elementos diferenciais e a partir dos mesmos chegar em uma equação diferencial; após obtermos a equação procuramos resolvê-la por um método numérico e analítico e então comparamos para obtermos maior veracidade nas equações. O uso do software de simulação permite que o engenheiro acompanhe o processo com certo grau de segurança, permitindo assim o controle de operações mais complexas.

O processo abordado neste artigo se trata do escoamento em um tanque cilíndrico de mistura com entrada e saída de fluido. O tanque em questão possui um diâmetro e consequentemente uma área seção de transversal, além de ter uma resistência na vazão de saída e uma vazão de entrada.

A partir de agora partiremos de suposições matemáticas e físicas para a descrição do processo que embora simples apresenta detalhes que merecem nossa atenção.

2.1. Descrição e modelagem do processo de escoamento

Considerando um tanque cilíndrico de mistura, podemos introduzir variáveis úteis para nossas finalidades. Temos como variáveis: vazão de entra (F_{in}), vazão de saída (F_{out}), constante de resistência da válvula (C), diâmetro do tanque (D), altura inicial do líquido (H) e área de seção transversa (A). Processo esquematizado na fig.1.



Fonte: Victor J. Law(2013)

A equação (1) varia com o tempo, embora seja possível que, em condições específicas, a altura permaneça constante.

Escrevendo a equação:

$$\frac{dv}{dt} = f_{in} - f_{out} \quad (1)$$

O volume de um cilindro é $v = \pi r^2 h$, ou ainda $v = \pi(D/2)^2$, e de outra forma podemos escrever $v = Ah$

$$\frac{dAh}{dt} = f_{in} - f_{out} \quad (2)$$

A área é constante e portanto sai da diferencial.

$$\frac{A dh}{dt} = f_{in} - f_{out} \quad (3)$$

Por motivos de simplificação poderíamos obter uma relação $f_{out} = Ch$, entretanto, com o objetivo do modelo é se aproximar da realidade; consideraremos a seguinte hipótese: a pressão atmosférica exercida na superfície do fluido é a mesma na saída do tanque. Assim obtemos a eq. (4):

$$f_{out} = C\sqrt{h} \quad (4)$$

Substituindo em (3) e rearranjando os termos obtemos:

$$\frac{dh}{dt} \equiv \frac{f_{in}}{A} - \frac{C\sqrt{h}}{A} \quad (5)$$

2.1.1 Resolução analítica da equação da modelagem do processo

Apesar de parecer simples não é uma equação que é possível de ser resolvido por métodos convencionais de integração. A resolução dessa equação precisa do uso da transformada de Laplace e a sua inversa. A solução se faz possível através da análise de um ponto em estado estacionário e logo após empregamos a série de Taylor para introduzir uma nova equação. Após a devida manipulação matemática chegamos na seguinte equação:

$$A \cdot h = F_{in} - \frac{kh}{2\sqrt{h}} \quad (6) \quad \text{chamaremos } \frac{k}{2\sqrt{h}} \text{ de } 1/R$$

Não nos deteremos em demonstrar todo o processo pelo fato de estarmos concentrado na formulação do modelo e sua resolução numérica e analítica, além de demonstrar a automatização do processo. A transformada de Laplace se apresenta da seguinte forma:

$$H(s) = \frac{RQ(s)}{RA-1} \quad (7)$$

A resolução da inversa de Laplace nos fornece a equação:

$$h(t) = RF_{in} \left(1 - e^{-t/RA} \right) \quad (8) \text{ onde R se torna o inverso de } 1/R$$

É importante salientar que equações desse tipo são de um nível mais complexo. Quanto mais um modelo se aproxima da realidade mais complexo e exaustivo ele se torna. Uma simplificação do tipo $f_{out} = Ch$ tornaria dispensável o uso da transformada de Laplace e consequentemente a sua solução seria bem mais fácil, ao ponto de usarmos apenas técnicas de integração por substituição.

2.1.2 Resolução numérica da equação da modelagem do processo

Para este fim utilizaremos o método de Range-Kutta de 4º ordem. Para (RUGGIERO; LOPES, 1994, p. 326,) o método de Runge Kutta [...] é aproveitar as qualidades do método de série de Taylor e ao mesmo tempo eliminar seu maior defeito que é o cálculo de derivadas de $f(x, y)$ que, conforme vimos, torna os métodos de série de Taylor computacionalmente inaceitáveis.

Visto que alguns processos aparentemente simples podem trazer equações complexas, resolve-las analiticamente pode ser uma tarefa dispendiosa. Assim, usar um método numérico pode ser a solução mais prática e rápida embora esteja embutido um erro decimal.

A construção do método esta disposto da seguinte forma:

Condições iniciais:

$$t(0) = 0$$

$$h(0) = h(\text{inicial})$$

$$A = \pi r^2 \text{ onde } r^2 \text{ é o raio do tanque}$$

$$H = x \text{ onde } x \text{ é um valor de passo escolhido arbitrariamente}$$

$$\text{Para ajuste do método usaremos } s = \frac{2\sqrt{h}}{C_v} \text{ onde } C_v \text{ é a constante da valvula.}$$

$$K_1 = \frac{F_{in} - (h)/s}{A} \quad (9)$$

$$K_2 = \frac{F_{in} - (h + (\frac{H}{2})K_1)/s}{A} \quad (10)$$

$$K_3 = f(t_n + h/2, y_n + h^{-2}K_2) \quad (11)$$

$$K_4 = f(t_n + h/2, y_n + h * K_3) \quad (12)$$

$$h = h + \left(\frac{H}{6}\right) (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4) \quad (13)$$

2.2 Descrição e modelagem do processo de concentração em mistura perfeita

Anteriormente trabalhávamos com a modelagem para casos genéricos, agora vamos estudar um caso específico de concentração. Vamos definir que inicialmente em um tanque cilíndrico está presente 7 kg de poluente e seu volume é de 350 l de água, a vazão de entrada é igual a de saída, ou seja, o volume permanece constante. Concentração de entrada de poluente é de 50g/l de poluente. A descrição é a mesma da fig.1 para escoamento, a única diferença é que o volume não varia e não contamos aqui com a abordagem de uma resistência oferecida de pôr uma válvula. Essa diferença e os valores de entrada definirão uma equação que relaciona a concentração em função do tempo e que funcionara se, e somente se, o programa operara em torno dessas variáveis de controle.

2.2.1 Resolução analítica da equação da modelagem da concentração

Consideraremos ainda a função para $t = 8$ min e a partir daí uma equação será possível para outros tempos.

$y(t)$ = função da quantidade de poluentes(g) após t minutos

$y(0) = 7 \text{ kg} = 7.000\text{g}$

$$\frac{dy}{dt} = E_x - S_x \quad (14)$$

$$E_x = \frac{50\text{g}}{l} * \frac{12l}{\min} \quad (15)$$

$$S_x = y(t) * \frac{t}{350l} \quad (16)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{50\text{g}}{l} * 12l/\min - y(t) * t/350l$$

$$\text{Aplicando } y' + p(x)y = g(x) \quad (17)$$

Obtemos uma equação da seguinte forma:

$$y(t) = 26250 - 19250 * e^{-4t/175} \quad (18)$$

Tanto para o cálculo do nível do tanque quanto para encontrar a concentração foi usado o mesmo método de runge kutta de 4ª ordem.

2.4. Resultados e Discussão

Através do desenvolvimento do algoritmo e sua automatização, através da useform no VBA, tanto para o escoamento quanto para a concentração foi possível a partir daí gerar gráficos comparativos e observar a veracidade dos modelos quando comparados. Existe um erro decimal quando comparamos o modelo analítico e o numérico, embora esse erro se torne muito pequeno na medida em que fazemos iterações os valores iniciais apresentam uma distância considerável. São cerca de 110 iterações para o método numérico chegar no ponto de estabilização para o escoamento e para concentração, e cerca de 400 iterações para o erro entre o numérico e analítico ser mínimo ou zero para ambas as modelagens. As iterações citadas demonstram um esforço mínimo do ponto de vista computacional.

2.4.1 Comparativos de gráficos e valores entre a resolução analítica e numérica para o escoamento

Na tabela 1 observamos os valores do método numérico, solução analítica e o erro absoluto. Aplicamos aqui valores na useform do Excel : altura inicial 12ft , constante de resistência da válvula 300lb/h-ft , diâmetro 40ft e vazão de entrada 1300lb/h. Ponto de estabilização em 967,5 segundos e altura igual a 30,02 ft.

t(s)	k1	k2	k3	k4	Altura(ft)	n	Volume(ft³)	ANALÍTICA(ft)	Erro
0	0,621325444	0,59454979	0,570081891	0,5967581	13,47806	0	16928,4449	0	13,47806
2,5	0,570368495	0,5457888	0,523327595	0,547816	14,8349	1	18632,6366	2,479205172	12,3557
5	0,523590694	0,50102686	0,480407773	0,5028878	16,08046	2	20197,0619	4,753679997	11,32678
7,5	0,480649294	0,45993599	0,441007947	0,46164431	17,22387	3	21633,1836	6,840330908	10,38354
10	0,441229661	0,42221513	0,404839431	0,42378334	18,27351	4	22951,5241	8,75466822	9,518838
12,5	0,405042961	0,38758787	0,371637214	0,38902747	19,23706	5	24161,7432	10,51092142	8,726135
15	0,371824052	0,35580051	0,341158021	0,35712205	20,12158	6	25272,7083	12,12214495	7,999438
17,5	0,341329535	0,32662014	0,313178526	0,32783329	20,93357	7	26292,5594	13,6003152	7,333251
20	0,313335974	0,29983294	0,287493722	0,3009466	21,67896	8	27228,7692	14,9564196	6,722537
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
967,5	2,71545E-15	2,5344E-15	2,53442E-15	2,5344E-15	30,02221	387	37707,9008	30,022214	0

Tabela 1. Comparação do método numérico e analítico e ponto de estabilização para t no infinito

Comparativo do gráfico dos métodos a seguir no gráfico 1 e gráfico 2:

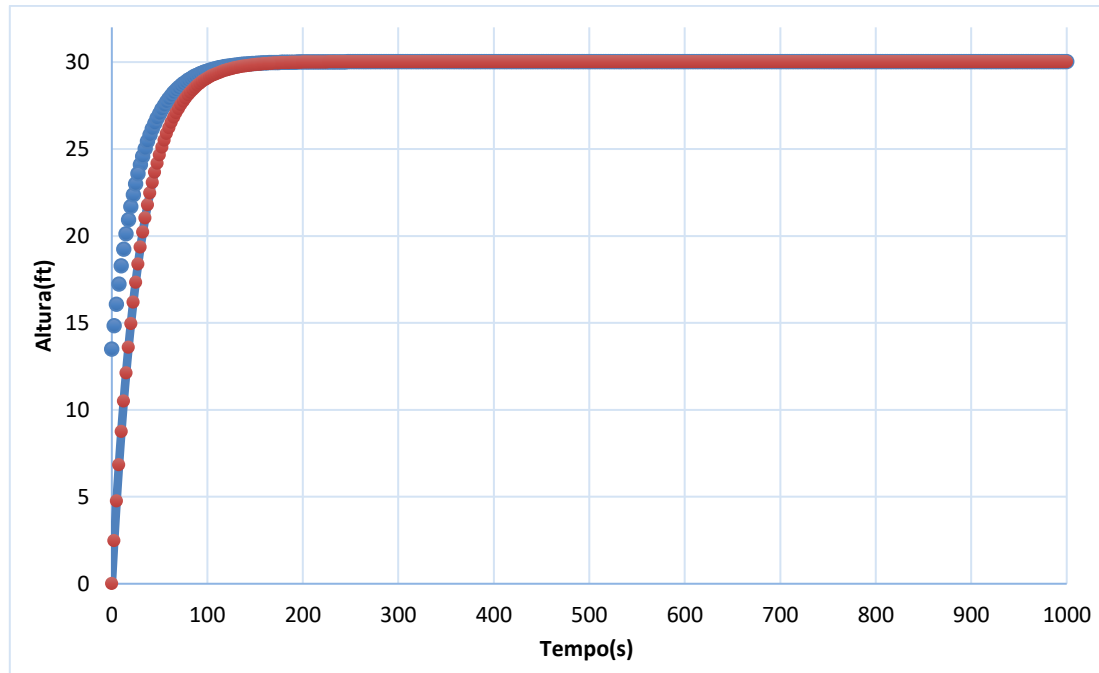


Gráfico 1. Comparação dos métodos

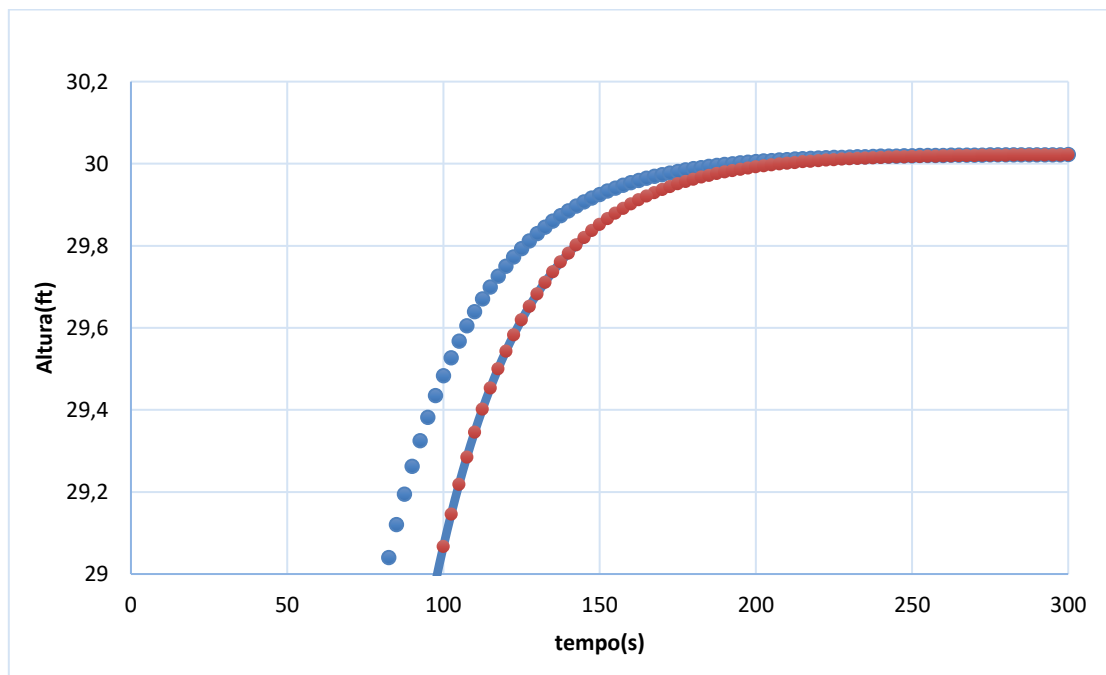


Gráfico 2. Comparação dos métodos (Range menor)

Os pontos sem linha apresentam a solução numérica e os pontos com linha sólida apresentação a solução analítica. Não só os valores coincidem como também o gráfico apresenta comportamento característico para escoamentos. Como pode ser observado no gráfico 1, os valores tendem a se tornar próximos à medida que iterações são feitas até apresentarem erro igual a zero quando comparados com a solução analítica. Dependendo dos valores fornecidos pelo usuário a curva pode apresentar diferentes formas, a curva pode ter tanto sentido crescente quanto decrescente. Matematicamente é ideal que o erro seja zero, embora testes experimentais possam confirmar a veracidade da modelagem. No gráfico 2 observamos a mesma comparação mas com um range menor. É possível observar variações em torno do ponto de estabilização embora sejam mínimas.

2.4.1 Comparativo de gráficos e valores entre a resolução analítica e numérica para a concentração

É possível observar curvas semelhantes que se estabilizam para um determinado t . Segue a tabela 2 com os dados dos valores para o método numérico e analítico e erro absoluto. Importante salientar que o desenho da curva depende muito dos valores sobre os quais são dados os valores de controle. Ponto de estabilização em 968 min ou cerca de 16 h, a quantidade de poluentes nesse tempo é de 26240,001kg.

T(min)	K1	K2	k3	k4	Y(t)(kg)	n	Analíticay(t)(kg)	Erro
0	440	419,88572	401,61	421,641	8669,75535	0	7000	23,85364791
4	401,834	383,46461	366,775	385,067	10194,6752	1	8681,939847	17,42393309
8	366,979	350,20268	334,96	351,666	11587,3228	2	10216,92273	13,41304097
12	335,147	319,82592	305,906	321,163	12859,1713	3	11617,78878	10,68518744
16	306,076	292,08405	279,371	293,305	14020,699	4	12896,25627	8,719140729
20	279,527	266,74852	255,138	267,863	15081,4752	5	14063,01958	7,242083365
24	255,281	243,61061	233,008	244,629	16050,2391	6	15127,83869	6,09737048
...	...	...	...	...	...	...	...	...
968	1,3E-07	1,222E-07	1,2E-07	1,2E-07	26250,001	242	26250	3,74856E-06

Tabela 2. Comparativo de valores entre a resolução analítica e numérica para a concentração

Em seguida observamos o comparativo no gráfico 3:

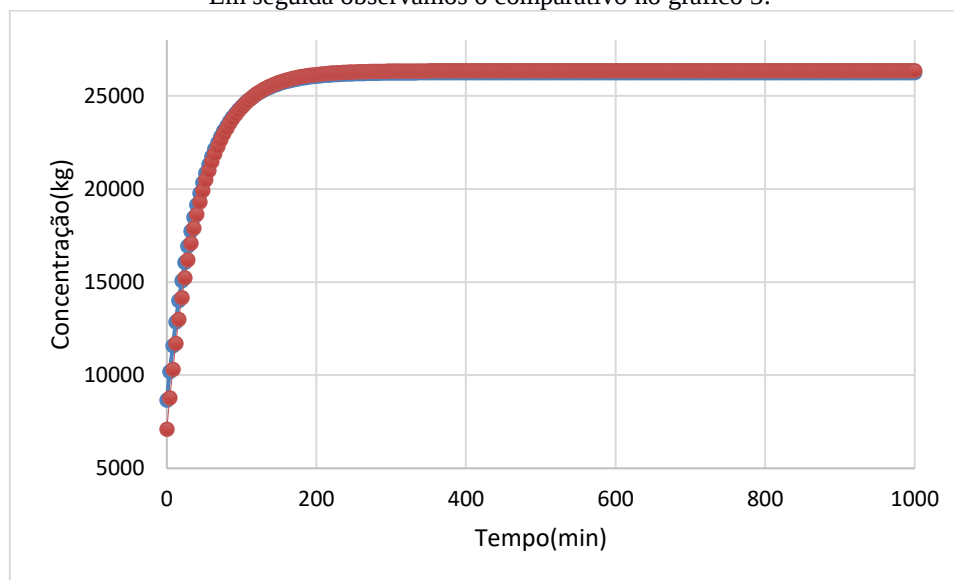


Gráfico 3. Comparativo gráfico

Os pontos sem linha apresentam a solução numérica e os pontos com linha sólida apresentação a solução analítica. No caso da concentração, os valores numéricos diminuem seu erro de maneira mais rápida do que no escoamento. As duas curvas expressam valores muito próximos, tornando quase impossível distingui-las. Os resultados são úteis principalmente no controle de processos que requerem estabilização de misturas e nível do tanque. O tempo em minutos implica que a concentração demora substancialmente mais para atingir a estabilização do que no escoamento. Embora o range do gráfico esteja diminuído, as duas linhas, tanto numérica quanto analítica, coincidem.

3. CONCLUSÃO

Os resultados neste trabalho demonstraram a proximidade dos métodos numéricos e analíticos e a conclusão de que o uso de métodos numéricos na resolução de modelos pode tornar mais fácil a solução de equações. Partir para uma representação mais próxima da realidade garante na maioria das vezes equações mais complexas, o que por sua vez necessita do uso mais avançado da matemática, tornando o trabalho do modelador algo bem mais exaustivo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Ruma à Indústria 4.0**. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e gestão Industrial – Universidade de Coimbra. Lisboa, Portugal. 2016.

-
- [2] SOUZA, Paulo Henrique Moura de; JUNIOR, Silvio José Cavallari. **Indústria 4.0: Contribuições para Setor Produtivo Moderno**. XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Joinville, SC, Brasil, 2017.
- [3] CARMO, Frederico Ribeiro do; EVANGELISTA, Nathan Sombra. **Excel Para Engenheiros - O Uso do MS-EXCEL Como Ferramenta Auxiliar na Resolução de Problemas de Engenharia**. 1ª EDIÇÃO – MAIO, 2015.
- [4] RUGGIERO, Márcia A. Gomes; LOPES, Vera Lúcia da Rocha. **CÁLCULO NUMÉRICO - ASPECTOS TEÓRICOS E COMPUTACIONAIS**. 2a edição. Editora Afiliada. São Paulo, 1994.
- [5] LAW, Victor J. **NUMERICAL METHODS FOR CHEMICAL ENGINEERS USING EXCEL®, VBA, AND MATLAB®**. First edition. Taylor & Francis Group. NW, North Caroline, 2013.



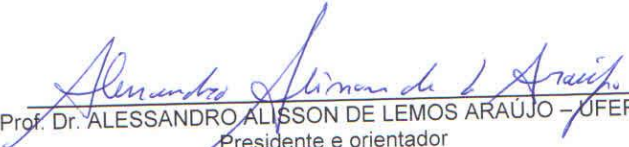
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:00 horas do dia cinco de fevereiro de dois mil e vinte, no auditório do CE II – Centro de Engenharias UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **PAULO REGINALDO COSTA FILHO**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2014021142**, com o título **“VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA) COMO FERRAMENTA DE CÁLCULO PARA MODELAGEM DE UM TANQUE DE MISTURA”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por quatro membros: Prof. Dr. **ALESSANDRO ALISSON DE LEMOS ARAÚJO**, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Msc. **RANIERE DANTAS VALENÇA**, Eng. Químico **EDMILSON BARROS DE ALBUQUERQUE JÚNIOR** e o Eng. Químico **HUGO ANDERSSON DANTAS MEDEIROS** como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: **8,0; 8,0; 8,5; 8,5**. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral **8,2**. E para constar, eu, **ALESSANDRO ALISSON DE LEMOS ARAÚJO**, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 5 de fevereiro de 2020.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Prof. Dr. **ALESSANDRO ALISSON DE LEMOS ARAÚJO** – UFERSA
Presidente e orientador


Prof. Msc. **RANIERE DANTAS VALENÇA** – UFRN
Primeiro Membro


Eng. Químico **EDMILSON BARROS DE ALBUQUERQUE JÚNIOR** – UFERSA
Segundo Membro


Eng. Químico **HUGO ANDERSSON DANTAS MEDEIROS** – UFERSA
Terceiro Membro