

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DA PARCELA DA ENERGIA CINÉTICA E DA DECLIVIDADE LONGITUDINAL DE UMA TUBULAÇÃO DE ADUÇÃO POR RECALQUE NO ESTUDO DOS TRANSIENTES HIDRÁULICOS

Abmael de Sousa Lima Junior¹; Ana Beatriz Accioly de Menezes²; Giovana Bueno Alves³; José Roberto Gonçalves de Azevedo⁴; Lucas Breno dos Santos⁵; Pedro Impieri Farias de Medeiros⁶; Tarcísio Albuquerque Moraes Filho⁷

RESUMO - Chama-se Transiente ou Transitório Hidráulico, o regime variado que ocorre durante a passagem de um regime permanente para outro regime permanente. Assim, qualquer alteração no movimento ou paralisação eventual de um elemento do sistema dão origem aos chamados fenômenos transitórios. O Método das Características (MOC) é o principal método utilizado para o cálculo e caracterização do comportamento dos sistemas hidráulicos durante o fenômeno. Nota-se na literatura que no desenvolvimento do MOC é admitida que tanto a parcela referente à declividade longitudinal da tubulação e a energia cinética não trazem contribuição significativa face as outras variáveis. Este trabalho tinha como finalidade investigar, através da modelagem hidráulica, se há a contribuição destas parcelas onde foi considerado ainda a influência das zonas de escoamento no cálculo do fator de resistência “f” da fórmula de perda de carga de Darcy-Weisbach. Concluiu-se que independentemente da zona de escoamento, as parcelas não trazem contribuições significativas para os resultados.

ABSTRACT - It is called Transient or Hydraulic Transitory, the varied regime that occurs during the transition from a permanent regime to another permanent regime. Thus, any change in the movement or eventual paralysis of an element of the system give rise to the so-called transient phenomena. Characteristics Methode (MOC) is the main method used for calculating and characterizing the behavior of hydraulic systems during the phenomenon. It is noted in the literature that in the development of the MOC it is admitted that both the portion referring to the longitudinal slope of the source and the kinetic energy bring no contribution compared to other variables. This work had the possibility of investigating, through hydraulic modeling, if there is the contribution of these plots where the influence of the flow zones was also considered in the calculation of the

¹ Engenheiro Civil; Cabo de Santo Agostinho; PE; Brasil; Telefone (81) 9 8650-7328; e-mail: abmael.junior@hotmail.com

² Engenheiro Civil; Recife; PE; Brasil; Telefone (81) 9 9960-6465; e-mail: abeatriz_menezes@hotmail.com

³ Engenheiro Civil; Jaboatão dos Guararapes; PE; Brasil; Telefone (81) 9 9609-2103; e-mail: alvesbgiovana@gmail.com

⁴ Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental; CTG – UFPE, Rua Acadêmico Helio Ramos, s/n, Cidade Universitária, CEP: 50.740-530; Recife; PE; Brasil; Telefone (81) 2126-8709; e-mail: jose.azevedo@ufpe.br

⁵ Estudante de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental; CTG – UFPE, Rua Acadêmico Helio Ramos, s/n, Cidade Universitária, CEP: 50.740-530; Recife; PE; Brasil; Telefone (81) 9 8781-9090; e-mail: lucas.breno@ufpe.br

⁶ Engenheiro Civil; Recife; PE; Telefone: (81) 9 9740-1669; e-mail: pedroimpieri1@gmail.com

⁷ Engenheiro Civil; Recife; PE; Telefone: (81) 9 9918-0325; e-mail: tarcisiopco@gmail.com

resistance factor “ f ” of loss cargo formula, by Darcy Weisbach. It was concluded that, regardless of the flow area, the plots do not bring important contributions for results.

Palavras-Chave – Método das Características, Modelagem Hidráulica, Golpe de Aríete.

1 – INTRODUÇÃO

Também conhecido por Golpe de Aríete, este fenômeno se dá, devido entre outras causas, na abertura ou fechamento rápido de válvulas, alteração no nível do reservatório, alteração brusca de consumo e enchimento ou esvaziamento da tubulação de distribuição de água, que ocasionam a manipulação do sistema de válvulas da linha pressurizada (MEDEIROS *et al.*, 2019). Se as manobras fossem feitas lentamente, seria possível manter as mudanças de pressão controladas, mas em muitos casos é necessário fazer tais manobras de forma imediata.

A mudança do regime faz com que a energia cinética seja transformada em energia sonora e energia potencial elástica, promovendo a deformação além do regime elástico do material da adutora, o que pode ocasionar a ruptura da tubulação, dessa forma é necessário que os tubos sejam dimensionados a suportar tal deformação, não sendo possível, deve-se dimensionar e instalar dispositivos de proteção em pontos que atinja sua capacidade máxima de proteger o sistema de adução (MAGALHÃES, 2018).

De acordo com Magalhães (2018), o Método das Características (MOC) se torna o melhor método devido à sua simplicidade, no que diz respeito à facilidade de programação, e aos seus bons resultados. Matematicamente é um método numérico de integração de equações com derivadas parciais que utilizam como princípio as equações da Conservação de Massa e da Quantidade de Movimento como base para desenvolver as expressões matemáticas (SILVA, 2014). De acordo com Teixeira (2021) a solução apresentada pelo MOC permite, através de equações, na determinação da vazão e pressão em um instante de tempo imediatamente anterior seções anteriores e posteriores. Há a necessidade de se adotar condições de contorno que caracterizam elementos presentes no sistema estudado, como por exemplo, reservatório, válvulas e bombas.

Objetivou-se então trabalho, desenvolver um programa computacional no Microsoft Excel visando realizar uma modelagem hidráulica no estudo do fenômeno dos Transientes Hidráulicos, considerando a influência das zonas de escoamento no cálculo do fator de resistência “ f ” da fórmula de perda de carga de Darcy-Weisbach, assim como as parcelas de energia cinética e de declividade longitudinal da tubulação. O modelo permitirá se avaliar quantitativamente e qualitativamente se há a contribuição das parcelas citadas anteriormente. Objetiva-se ainda que o programa computacional seja ferramenta utilizada no estudo dos transientes hidráulicos na pós-graduação e no momento oportuno na graduação dos cursos de Engenharia.

2 – MODELO MATEMÁTICO NO REGIME TRANSITÓRIO

2.1 – Conceitos Gerais do Modelo Matemático

No regime transitório o modelo matemático é desenvolvido tendo como base os princípios da Quantidade de Movimento e da Conservação de Massa numa secção onde o líquido está sob pressão. No entanto, são admitidas algumas simplificações.

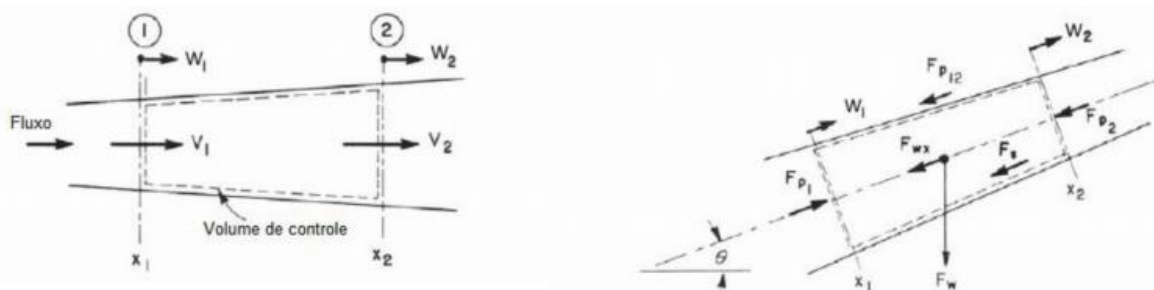
Conforme Silva (2014), o primeiro bloco de simplificações diz respeito ao líquido e ao escoamento, onde não é considerada a ocorrência de cavitação, o módulo de elasticidade do líquido define a sua compressibilidade, a perda de carga no regime transitório é calculada para cada instante, como se um regime permanente se tratasse, o escoamento é unidirecional onde a velocidade e pressão são distribuídas uniformemente em toda a seção transversal, o valor da massa específica é constante e por fim, é desprezada a altura cinética.

Já o segundo bloco de simplificações tem relação com o comportamento da tubulação, sendo esta imóvel durante o regime transitório, o comportamento elástico das paredes da tubulação obedecerá à Lei de Hooke e será constante em cada instante, assim como a espessura e o diâmetro interno, não terão variações. (SILVA, 2014)

2.2 – Princípio da Quantidade de Movimento e da Conservação de Massa

De acordo com Chaudhry (2014), conforme citado por Teixeira (2021, págs 34 e 38), ambos os princípios, são aplicados em um volume de controle pré-estabelecido, onde no escoamento em conduto fechado, é representado por um trecho de tubulação com uma seção de entrada e saída, ilustrada na figura 01. O princípio da Quantidade de Movimento preconiza que o somatório das forças exteriores com o somatório das forças de inércia é nulo, ou seja, em equilíbrio, enquanto o princípio da Conservação de Massa afirma que a quantidade de massa no interior de um trecho elementar é igual a diferença da quantidade que sai e a que entra no mesmo no volume de controle (SILVA, 2014).

Figura 01 – Volume de controle considerado para o Princípio da Conservação de Massa e da Quantidade de Movimento



Fonte: Teixeira (2021) - Adaptado

Onde: V_1 e V_2 são as velocidades na seção 1 e 2, W_1 e W_2 são os pesos na seção 1 e 2 F_{p1} e F_{p2} são as forças de pressão na seção 1 e 2, F_{p12} é a força de pressão na redução, F_{wx} é a componente do peso na direção do eixo da tubulação, F_s é a força de cisalhamento.

Realizadas as devidas manipulações algébricas das variáveis apresentadas nas figuras acima, chegam-se as equações diferenciais parciais (EDP's) (01) e (02), respectivamente ao Princípio da Quantidade de Movimento e da Conservação de Massa.

$$\frac{1}{S} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q}{S^2} \frac{\partial Q}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{fQ|Q|}{2DS^2} = 0 \quad (01)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{Q}{S} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{gS} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q}{S} \sin \theta = 0 \quad (02)$$

Onde: Q : vazão [m^3/s], S : área da secção [m^2], t : instante [s], x : abscissa segundo o eixo [m], g : aceleração da gravidade [$m.s^{-2}$], θ : ângulo do eixo da tubulação com a horizontal [$^\circ$], p : pressão [N/m^2], ρ : massa específica [Kg/m^3], f : Fator de resistência da fórmula de perda de carga de Darcy-Weisbach, D : diâmetro da tubulação [m], H : cota piezométrica [m], por fim, a : celeridade [$m.s^{-2}$].

2.3 – Desenvolvimento das principais equações do Método das Características

Conforme exposto por Santos *et al.* (2020), o entendimento do Golpe de Aríete utilizando o Método das Características (MOC), busca a compreensão das variáveis ditas dependentes, vazão (Q) e cota piezométrica (H), em função das variáveis ditas independentes, espaço (x) e tempo (t). Segundo Ferreira (2011), conforme citado em Teixeira (2021, pág. 41) o Método das Características decorre da conversão das equações diferenciais parciais (EDP's) (01) e (02) em equações diferenciais ordinárias (EDO's) e, a posteriori, a resolução é feita com a utilização de diferenças finitas explícitas.

De acordo com Santos *et al.* (2020) o MOC determinará dentro de um conjunto discreto de seções da tubulação e em instantes temporais, quais os valores de “Q” e “H”. Os autores eliminam os termos convectivos das EDP’s, assim como é feito em Tassinari (2017), sendo este procedimento comum no contexto da engenharia, já que o termo é pequeno em comparação com os demais. A mesma justificativa é dada para eliminar o termo da declividade e reafirma que tais simplificações são usuais. Logo, tem-se a equação (05) que é nula para qualquer valor de “ β ”. Ressalta-se que esta equação é uma combinação linear das equações (03) e (04) e se busca valores de “ β ” nos quais as EDP’s passam a ser EDO’s.

$$L1 = 0 \Leftrightarrow \frac{1}{s} \frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f|Q|Q}{2DS^2} = 0 \quad (03)$$

$$L2 = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gS} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (04)$$

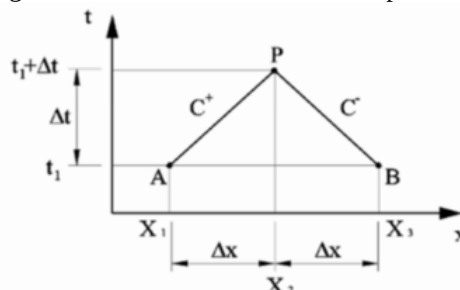
$$L = L1 + \beta L2 = 0 \quad (05)$$

A transformação de EDP’s para EDO’s só é possível, porque são feitas as seguintes considerações: O valor da cota piezométrica e da vazão é função da posição e do tempo, e o multiplicador “ β ” pode ser escrito conforme mostrado na equação 06.

$$\frac{1}{\beta} = \frac{dx}{dt} = \beta a^2 \rightarrow \beta = \pm \frac{1}{a} \quad (06)$$

Para cada valor de “ β ” são obtidas um conjunto de equações características que serão integradas, sendo C^+ integrada entre A e P e C^- entre B e P, conforme figura 02, resultando nas equações (07) e (08):

Figura 02 – Linhas características no plano x-t



Fonte: Teixeira (2021) - Adaptado

$$C_A = H_A + \left[\frac{a}{gS} - (1 - K) \cdot \left(\frac{f}{2gDS^2} \Delta x - T_A \right) \cdot |Q_A| \right] \cdot Q_A \quad (07)$$

$$C_B = H_B + \left[\frac{a}{gS} - (1 - K) \cdot \left(\frac{f}{2gDS^2} \Delta x + T_B \right) \cdot |Q_B| \right] \cdot Q_B \quad (08)$$

$$T = \frac{\sin \theta}{aS|Q|} \Delta x \quad (09)$$

Sabendo-se os valores de “Q” e “H” nas seções A e B, no instante “t”, as equações (07) e (08) formam o sistema de equações (10) e (11) de incógnitas “Hp” e “Qp”:

$$H_P = \frac{K \cdot (Tp^e + Tp^d) \cdot |Q_P| \cdot Q_P + C_A + C_B}{2} \quad (10)$$

$$Q_P = \frac{(C_A - C_B)}{\frac{a}{gS} + \sqrt{\left(\frac{a}{gS} \right)^2 + 2 \cdot K \cdot \left(\frac{f}{2gDS^2} \Delta x + \frac{Tp^d}{2} - \frac{Tp^e}{2} \right) \cdot |C_A - C_B|}} \quad (11)$$

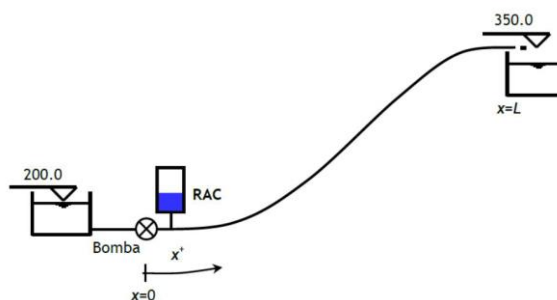
Onde: Q_b , Q_A , Q_B e Q_P : vazão na bomba e nos pontos A, B e P [$m^3 \cdot s^{-1}$], H_b , H_A , H_B e H_P : carga hidráulica na bomba e nos pontos A, B e P [m], K: Fator de ponderação, T_A e T_B : parâmetros para a secção da tubulação, nos pontos A e B, T_p^d e T_p^e : T à direita e a esquerda do ponto P, C_A e C_B : equações características do Método das Características nos pontos A e B. Δx : Diferença de comprimento nos trechos da tubulação [m].

3 - METODOLOGIA

3.1 – Apresentação do Problema

O problema simulado e analisado neste trabalho se encontra na dissertação de Silva (2014) e se trata de um caso singelo de abastecimento de água através do bombeamento de um reservatório de montante a um reservatório de jusante, como é mostrado na figura 03. Embora Silva (2014) tenha admitido a presença do Reservatório de Ar Comprimido (RAC) como dispositivo de proteção, em nosso estudo tal equipamento não foi considerado. A tubulação de 2000 m de extensão e com 0,25 m de diâmetro nominal, foi dividida em 40 trechos para análise, e seu perfil característico, segundo coordenadas (x, y) em metros é: (0, 200), (500, 275), (1000, 310), (1500, 275) e (2000, 350).

Figura 03 – Sistema Hidráulico analisado



Fonte: Silva (2014).

Outros dados do problema original foram considerados como, 6,75 mm para a espessura da parede da tubulação, 0,15 mm para a rugosidade equivalente, 95 GPa e 2,03 para respectivamente o módulo de elasticidade da tubulação e do líquido e por fim, a viscosidade cinemática da água tem como valor $1,31 \times 10^{-6} m^2/s$. As perdas de cargas localizadas foram desprezadas. O grupo elevatório é composto por 2 bombas em paralelo, modelo Multitec 65 5.1/4 e a inércia de cada bomba é definida pelo parâmetro PD^2 igual a 18 N.m².

3.2 – Valores iniciais da vazão e do fator de resistência “f” da fórmula de Darcy-Weisbach

Segundo Baptista et al (2001), a classificação das tubulações em hidraulicamente lisas, rugosas e em transição tem uma dependência direta com os valores de “f”, da rugosidade interna “ ε ” e da camada limite “ δ ”, que é determinada pela equação (12), sendo “v” a viscosidade cinemática da água. O fator de resistência tem formulações próprias a depender da zona de escoamento, onde (13) e (14) são para escoamento dito liso e rugoso, respectivamente e para o escoamento em transição, tem-se as formulações (15), (16) e (17):

$$\delta = \frac{32,8 D \pi v D}{4 Q \sqrt{f}} \quad (12)$$

$$f = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{4 Q \sqrt{f}}{2,51 \pi v D}\right)\right)^2}, \text{ fórmula de Prandtl} \quad (13)$$

$$f = \frac{0,25}{(\log(\frac{3,7D}{\varepsilon}))^2}, \text{ fórmula de Nikuradse} \quad (14)$$

$$f = \frac{0,25}{(\log(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51\nu D}{4Q\sqrt{f}}))^2}, \text{ fórmula de Colebrook-White} \quad (15)$$

$$f = \frac{0,25}{(\log(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{(\frac{4Q}{\pi\nu D})^{0,9}}))^2}, \text{ fórmula de Swamee e Jain} \quad (16)$$

$$\text{Limitações: } 5000 \leq \frac{4Q}{\pi\nu D} \leq 10^8 \text{ e } 10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-2}$$

$$f = \frac{0,25}{(\log(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,13}{(\frac{4Q}{\pi\nu D})^{0,89}}))^2}, \text{ fórmula de Barr - Limitação: } \frac{4Q}{\pi\nu D} > 100000 \quad (17)$$

Santos *et al.* (2020) trouxeram à tona que no escoamento permanente e uniforme a cota piezométrica no reservatório de jusante estava apresentando um valor diferente da cota do nível de água quando o “f” era calculado em função da vazão (Q), o que fez com que fosse concluído que “Q” admitida não é a mesma em todos os regimes. A equação (18) determina o valor da altura manométrica (Hman) e a equação (19) representa a fórmula universal da perda de carga “Δh” de Darcy-Weisbach:

$$H_{man} = (Z_{jus} - Z_{mont}) + \Delta h + \frac{V^2}{2g} \quad (18)$$

$$\text{E que } \Delta h = \frac{8fL(T)}{\pi^2 g D^5} Q^2 \quad (19)$$

Aplicou-se o valor de 1,1 para o Fator de Majoração (Fmaj) para o cálculo do comprimento como é mostrado na equação (14). Realizando manipulações algébricas simples com as equações (18), (19) e (20) chega-se a equação (21), onde “Hman” foi determinada no primeiro momento considerando e depois desprezando a energia cinética, como é mostrado na tabela 01.

$$L(T) = L(G) F_{maj} \quad (20)$$

$$H_{man} = (Z_{jus} - Z_{mont}) + \frac{8LF_{maj}}{\pi^2 g D^5} f Q^2 + \frac{V^2}{2g} \quad (21)$$

Onde: “Zjus” [m] e “Zmont” [m] representam respectivamente a cota geométrica do reservatório de jusante e montante, “V” a velocidade da água [m/s], “L(T)” [m] e “L(G)” [m], respectivamente o comprimento equivalente e o real [m].

Tabela 01 – Determinação da Vazão (Q) e do Fator de Resistência (f) via Solver – Excel

Zonas de Escoamento	Cálculo do “f” via	Sem Energia Cinética		Com Energia Cinética	
		Q	f	Q	f
Liso	Equação 13	0,03955	0,01171	0,03954	0,01171
Rugoso	Equação 14	0,03909	0,01740	0,03908	0,01740
Transição	Equação 15	0,03890	0,01981	0,03889	0,01981
	Equação 16	0,03889	0,01993	0,03888	0,01993
	Equação 17	0,03889	0,01995	0,03888	0,01995

Fonte: Os autores (2021).

3.3 – Convergência do Método das Características

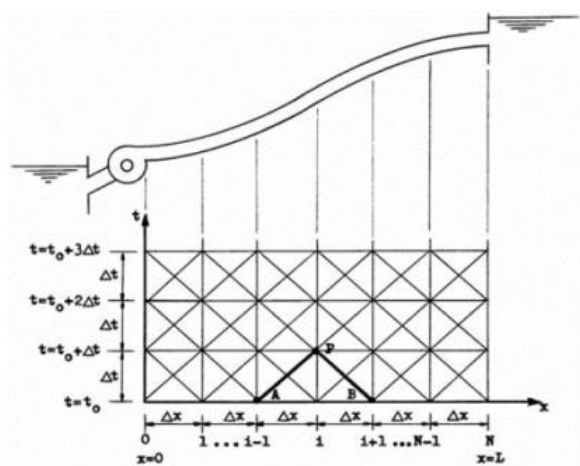
Conforme mostrado em Silva (2014) para um sistema de recalque se faz necessário no início determinar, via processo iterativo, para cada instante de tempo, os parâmetros referentes ao

conjunto elevatório, a saber: rotação da bomba, vazão, cota piezométrica, rendimento da bomba, coeficientes da curva característica da bomba e o termo C_B do

Método das Características, formando o que se chama de “Solução Base”. Silva (2014) havia restringido o número de iterações, porém neste trabalho não foi imposta tal restrição, fazendo com que os valores de cada parâmetro converjam sem nenhum “erro” acumulado.

Com os parâmetros determinados, é possível se calcular para a primeira seção de fronteira, e assim, para cada tempo diferente de zero, que é o momento onde o escoamento deixa de ser permanente e passa para transitório, é possível calcular as variáveis para as seções intermediárias e para a última, que fica no reservatório. A figura (04) ilustra o processo de cálculo do MOC.

Figura 04 – Malha de Cálculo



Fonte: Magalhães (2018).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram simulados no modelo para cada zona de escoamento os quatro casos possíveis: sem energia cinética e sem declividade, com energia cinética e sem declividade, sem energia cinética e com declividade e por fim com declividade e com energia cinética. Inicialmente a comparação dos resultados se deu internamente em cada zona de escoamento, da seguinte forma:

- (Situação A) Resultados sem energia cinética: confrontaram-se os resultados com e sem a declividade longitudinal da tubulação.
- (Situação B) Resultados com energia cinética: confrontaram-se os resultados com e sem a declividade longitudinal da tubulação.
- (Situação C) Confrontaram-se todos os resultados anteriores.

Dessa forma foi percebido que não há contribuição significativa para os valores determinados para as cotas piezométricas mínimas e máximas, como é apresentado nas tabelas 02 e 03. Em seguida a análise se deu confrontando os resultados obtidos nas zonas de escoamento em cada possível caso citado anteriormente.

Tabela 02 – Maior Diferença Percentual entre as cotas piezométricas mínimas

Cota Piezométrica Mínima – Maior Diferença Percentual				
Zona de escoamento	Cálculo do “f” via	Situação A	Situação B	Situação C
Liso	Equação 13	0,010%	0,010%	0,020%
Rugoso	Equação 14	0,010%	0,010%	0,026%
Transição	Equação 15	0,010%	0,010%	0,026%
	Equação 16	0,010%	0,010%	0,026%
	Equação 17	0,010%	0,010%	0,026%

Fonte: Os autores (2021).

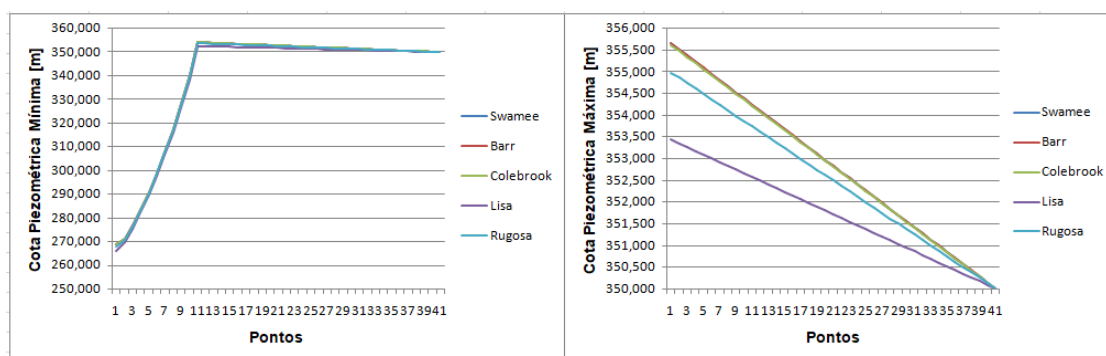
Tabela 03 – Maior Diferença Percentual entre as cotas piezométricas máximas

Cota Piezométrica Máxima – Maior Diferença Percentual				
Zona de escoamento	Cálculo do “f” via	Situação A	Situação B	Situação C
Liso	Equação 13	0,012%	0,012%	0,021%
Rugoso	Equação 14	0,012%	0,011%	0,020%
Transição	Equação 15	0,009%	0,009%	0,020%
	Equação 16	0,009%	0,009%	0,020%
	Equação 17	0,011%	0,011%	0,020%

Fonte: Os autores (2021).

- Situação 01 - Zonas Rugosa, Lisa e Transição: confrontaram-se os resultados do caso de sem a energia cinética e sem a declividade, como é mostrada na figura 05.

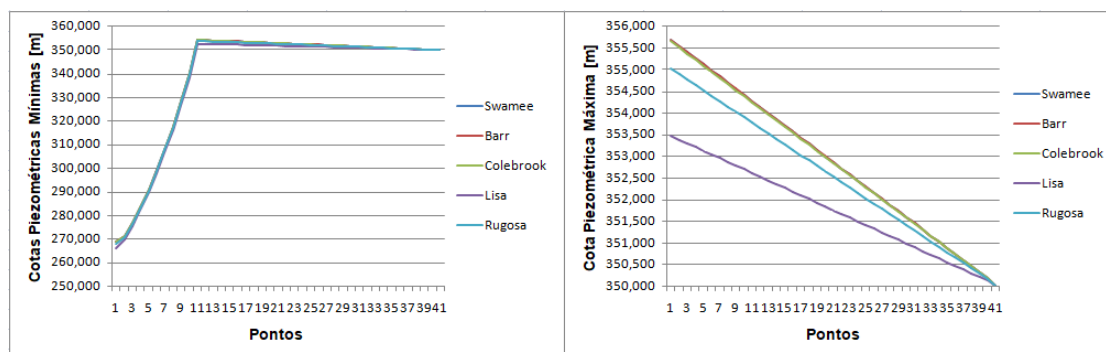
Figura 05 – Gráficos das Cotas Piezométricas Mínimas e Máximas – Sem Energia Cinética e sem declividade



Fonte: Os autores (2021)

- Situação 02 - Zonas Rugosa, Lisa e Transição: confrontaram-se os resultados do caso de com a energia cinética e sem a declividade, como é mostrada na figura 06.

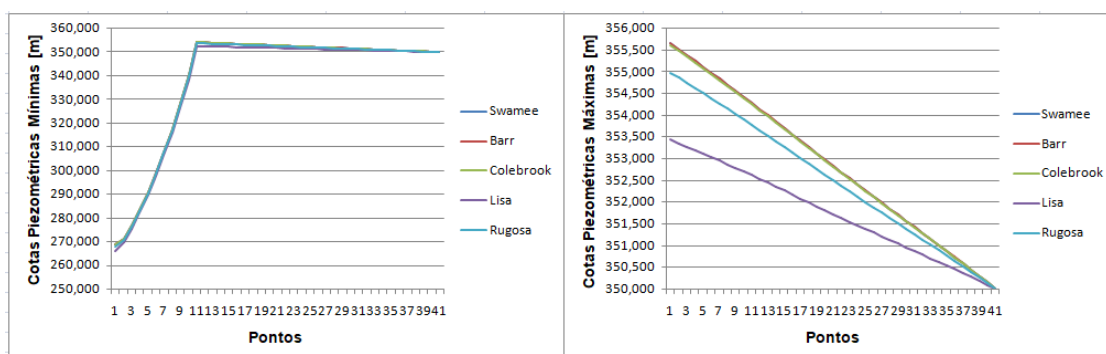
Figura 06 – Gráficos das Cotas Piezométricas Mínimas e Máximas – Com Energia Cinética e sem declividade



Fonte: Os autores (2021)

- Situação 03 - Zonas Rugosa, Lisa e Transição: confrontaram-se os resultados do caso de sem a energia cinética e sem a declividade, como é mostrada na figura 07.

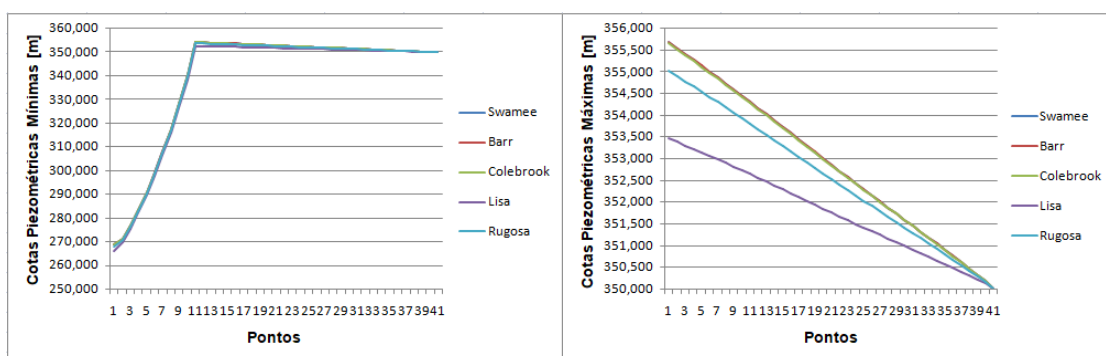
Figura 07 – Gráficos das Cotas Piezométricas Mínimas e Máximas – Sem Energia Cinética e com declividade



Fonte: Os autores (2021)

- Situação 04 - Zonas Rugosa, Lisa e Transição: confrontaram-se os resultados do caso de com a energia cinética e sem a declividade, como é mostrada na figura 08.

Figura 08 – Gráficos das Cotas Piezométricas Mínimas e Máximas – Com Energia Cinética e com declividade



Fonte: Os autores (2021)

Semelhantemente ao que foi percebido anteriormente, as parcelas de energia cinética não trouxeram contribuições significativas as cotas piezométricas determinadas, embora que as diferenças percentuais aumentaram, ficaram inferiores a 1%. Isto é apresentado na tabela 04:

Tabela 04 – Maior Diferença Percentual em cada situação

Cotas Piezométricas	Maior Diferença Percentual			
	Situação 01	Situação 02	Situação 03	Situação 04
Mínima	0,921%	0,924%	0,924%	0,927%
Máxima	0,625%	0,624%	0,625%	0,624%

Fonte: Os autores (2021).

Santos *et al.* (2020) em seu estudo restringiu o processo iterativo em 20 iterações e não incluíram a declividade longitudinal e a energia cinética como variáveis importantes no problema, concluiu que não há diferenças significativas entre as cotas piezométricas máxima e mínima quando se utiliza qualquer uma das três fórmulas do cálculo do fator de resistência (f) na zona de transição e quando comparado estes resultados aos determinados nas demais zonais a diferença é menor que 1%, o que indica que quando se utiliza a fórmula de Swamee e Jain para o cálculo do “ f ” minimiza a complexidade do problema.

5 – CONCLUSÃO

A modelagem hidráulica realizada no Microsoft Excel com o uso do Visual Basic for Applications e tendo como princípio matemático o Método das Características (MOC), oportunizou verificar e demonstrar que as parcelas de energia cinética e da declividade longitudinal da tubulação presentes nas fórmulas do MOC são de fato desprezíveis. Dessa forma, este trabalho é base científica para as descon siderações das referidas parcelas, saindo do senso comum da simplificação da engenharia. O modelo aqui desenvolvido pode ser utilizado como ferramenta de estudo do fenômeno dos Transientes Hidráulicos em um sistema de adução por recalque no ensino superior.

6 - REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, Márcio Benetido *et al.* *Hidráulica Aplicada*. In: Baptista, M.B., Coelho, MMLPC., Cirilo, J.A. (Orgs). ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1ed. Porto Alegre - RS: 2001.
- CHAUDHRY, M. H. *Applied Hydraulic Transients*. Third. Columbia, SC, USA: Van Nostrand Reinhold Ltd., 2014.
- FERREIRA, Fábio Eduardo Franco Rodrigues. “*Modelagem computacional de efeitos dinâmicos de dissipação de energia em transientes hidráulicos*.” 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Ceará, Fortaleza, 2011.
- MAGALHÃES, Cláudio Henrique Milfont de Magalhães. “*Tubos e dispositivos de segurança utilizados para minimizar os efeitos dos transientes hidráulicos em adutoras*.” 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal Pernambuco, Recife, 2018.
- MEDEIROS, P.I.F; AZEVEDO, J.R.G; FILHO, P.F.A. (2019). “*Elaboração de um programa computacional para resolução simples e entendimento de transientes hidráulicos*” in Anais do XXIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Foz do Iguaçu, Nov. 2019.
- SILVA, Paulo Ricardo Duarte. “*Modelação Numérica do Choque Hidráulico*.” 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, Porto, 2014.
- SANTOS, L.B.; AZEVEDO, J.R.G.; MENEZES, A.B.A. (2020). “*Modelo Hidráulico para estudo da sensibilidade do cálculo dos parâmetros de um Golpe de Aríete em tubulações de recalque*” in Anais do XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Caruaru, Nov. 2020.
- TASSINARI, Lucas Camargo da Silva. “*Transientes Hidráulicos em sistemas de bombeamento: Influência do material do conduto e dispositivo de proteção*.” 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- TEIXEIRA, Lucas Florêncio da Cunha Teixeira. “*Efeito da entrada da tubulação por cima do reservatório de jusante nos transientes hidráulicos*.” 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Ceará, Fortaleza, 2021.