



ANDRÉ LUIZ DIAS CALDAS

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
DIFERENTES DIÂMETROS E MATERIAIS EM
ADUTORAS**

LAVRAS – MG

2015

ANDRÉ LUIZ DIAS CALDAS

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE DIFERENTES
DIÂMETROS E MATERIAIS EM ADUTORAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Sistemas de Irrigação, para a obtenção do título de Mestre.

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho
Orientador

LAVRAS – MG

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Caldas, André Luiz Dias.

Viabilidade técnica e econômica de diferentes diâmetros e materiais em adutoras / André Luiz Dias Caldas – Lavras: UFLA, 2015.

66 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Jacinto de Assunção Carvalho.

Bibliografia.

1. Velocidade econômica. 2. Conduto forçado. 3. Policloreto de vinila (PVC). 4. Aço galvanizado. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

ANDRÉ LUIZ DIAS CALDAS

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE DIFERENTES
DIÂMETROS E MATERIAIS EM ADUTORAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Sistemas de Irrigação, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 09 de Fevereiro de 2015.

Dr. Arionaldo de Sá Júnior

IFSULDEMINAS

Dra. Fátima Conceição Rezende

UFLA

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho
Orientador

LAVRAS – MG

2015

A meu filho Francisco Vilhena Caldas.

Aos meus pais Osvaldo Francisco Caldas e Lucila Dias Caldas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, força maior do universo.

Aos meus pais Osvaldo Francisco Caldas e Lucila Dias Caldas.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia, Setor de Engenharia de Água e Solo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Aos professores do Departamento de Engenharia, Setor de Engenharia de Água e Solo.

Ao professor Dr. Jacinto de Assunção Carvalho.

À Dr^a. Fátima Conceição Rezende.

A Dinah da Silva Reis.

A Andressa Luiza Dias Caldas.

Ao Carlos César Reis, Terezinha Dias, Aparecida de Fátima Dias.

Aos amigos Dr. Dirceu Júnior Oliveira e Luiz Paulo de Oliveira Alves.

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Coefficiente de rugosidade
C_A	Custo de assentamento dos tubos
$C_{Aaço}$	Custo de assentamento dos tubos de aço
$C_{aço}$	Custo médio dos tubos de aço galvanizado
C_{APVC}	Custo de assentamento dos tubos de PVC
C_{AE}	Custo do acionamento elétrico
C_B	Custo da bomba hidráulica
C_{B1750}	Custo da bomba hidráulica de rotação nominal 1750 rpm
C_{B3500}	Custo da bomba hidráulica de rotação nominal 3500 rpm
C_{DEP}	Depreciação
CE	Custo com energia
C_{ee}	Consumo de energia elétrica
C_{efps}	Consumo de energia no período fora de ponta seco
C_{ER}	Custo de escavação e reaterro de valas
C_{efps}	Consumo de energia no período fora de ponta seco
C_{efpu}	Consumo de energia no período fora de ponta úmido
C_{eps}	Consumo de energia no período de ponta seco
C_{epu}	Consumo de energia no período de ponta úmido
CF	Custos fixos
CFA	Custo fixo anual
C_{ma}	Custo de manutenção
C_{pvc80}	Custo médio dos tubos de PVC PN80
C_{pvc125}	Custo médio dos tubos de PVC PN125
C_{pvc180}	Custo médio dos tubos de PVC PN180
C_S	Custo da sucção
C_{SR}	Custo do sistema de recalque

CTA	Custo total anual
CVA	Custo variável anual
D	Diâmetro da tubulação
D_c	Demanda contratada
FRC	Fator de Recuperação de Capital
H_f	Perda de carga
H_{f_s}	Perda de carga total na sucção
H_{f_r}	Perda de carga total no recalque
H_g	Desnível geométrico total
H_{man}	Altura manométrica total
i	Taxa de juros
L	Comprimento da tubulação
n	Vida útil ou tempo de amortização
η	Velocidade de rotação
η_b	Rendimento da bomba
η_m	Rendimento do motor
η_s	Rotação específica
Pot_a	Potência absorvida
Q	Vazão
T_e	Tarifa de energia elétrica
T_d	Tarifa de demanda
T_{efps}	Tarifa de consumo no período fora de ponta seco
T_{efup}	Tarifa de consumo no período fora de ponta úmido
T_{epu}	Tarifa de consumo no período de ponta úmido
T_f	Tempo de funcionamento ou tempo de operação
T_{ffps}	Tempo de funcionamento no período fora de ponta seco
T_{ffpu}	Tempo de funcionamento no período fora de ponta úmido
T_{fpu}	Tempo de funcionamento no período de ponta úmido

η_b	Rendimento da bomba
η_m	Rendimento do motor
η_s	Rotação específica

RESUMO

Atualmente, diversos materiais podem ser utilizados para adução e distribuição de água, sendo os mais utilizados o aço galvanizado e o policloreto de vinila (PVC). Neste trabalho, foram realizadas diversas simulações afim de determinar a velocidade mais econômica em adutoras de aço galvanizado e PVC, com vazões de 50, 100, 150, 200, 250 e 300 m³.h⁻¹ e sob pressões nominais de 80, 125 e 180 m.c.a, em função do tempo de funcionamento, desnível geométrico, comprimento da adutora, custo de energia e da tubulação e do período de funcionamento da adutora. Verificou-se que para tubulações de aço galvanizado a velocidade econômica variou entre 0,88 e 2,65 m.s⁻¹ e para tubulações de PVC variou entre 0,68 e 2,54 m.s⁻¹. Quando analisada a influência do tempo de funcionamento sobre a velocidade econômica, pode-se concluir que o valor da velocidade econômica é decrescente com o aumento no tempo de funcionamento da adutora. O comprimento da adutora não influenciou na velocidade econômica, visto que, quando alterado, provoca alterações tanto nos custos fixos quanto nos custos variáveis. Um aumento no desnível geométrico provoca uma diminuição na velocidade econômica e na mudança no grupo de cobrança de tarifa energética. A velocidade econômica é diretamente influenciada pelo aumento na tarifa energética e indiretamente influenciada pelo aumento no custo da tubulação. Tubulações de aço galvanizado são mais sensíveis a alterações no período de funcionamento do que tubulações de PVC.

Palavras-chave: Velocidade econômica. Conduto forçado. Policloreto de vinila (PVC). Aço galvanizado.

ABSTRACT

Currently, many materials can be used for water supplement and distribution, mostly using galvanized steel and polyvinyl chloride (PVC). In this work, we conducted many simulations in order to determine the most economic velocity in galvanized steel and PVC pipelines, with flows of 50, 100, 150, 200, 250 and 300 m³ h⁻¹, under the nominal pressures of 80, 125 and 180 m.c.a, in function of operation time, geometric gap, length of the pipeline, energy cost and tabulation, as well as the pipeline operation period. We verified that, for galvanized steel pipes, the economic velocity ranged from 0.88 to 2.65 m s⁻¹, and for PVC pipes, from 0.68 to 2.54 m s⁻¹. When analyzing the influence of operation time over economic velocity, we can conclude that the value of economic velocity decreases with the increase in the operation time of the pipeline. The length of the pipeline did not influence economic velocity, since, when altered, it causes changes in both fixed and variable costs. An increase in the geometric gap causes a decrease in the economic velocity and in the change in energy tariff billing. The economic velocity is directly influenced by the increase in energy tariff and indirectly influenced by the increase in pipe cost. Galvanized steel pipes are more sensitive to change in the functioning period than PVC pipes.

Keywords: Economic velocity. Pressure pipe. Polyvinyl Chloride (PVC). Galvanized steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Organograma do dimensionamento econômico	25
Figura 2	Esquema de um sistema de recalque adotado como padrão para condução de água	26
Figura 3	Exemplo de obtenção do ponto de máximo rendimento para a bomba modelo Meganorm/ Megachem 80-200	29
Figura 4	Preço médio dos tubos de aço galvanizado em função do diâmetro nominal.....	30
Figura 5	Preço médio dos tubos de PVC, PN80, em função do diâmetro nominal.....	31
Figura 6	Preço médio dos tubos de PVC, PN125, em função do diâmetro nominal.....	31
Figura 7	Preço médio dos tubos de PVC, PN180, em função do diâmetro nominal.....	32
Figura 8	Variação do custo da tubulação de sucção em função da vazão	44
Figura 9	Variação do custo do acionamentoelétrico em função da sua potência	45
Figura 10	Variação do custo de assentamento dos tubos de aço galvanizado em função do diâmetro nominal	46
Figura 11	Variação do custo de assentamento dos tubos de PVC em função do diâmetro nominal.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tarifas energéticas cobradas pela CEMIG em novembro de 2014 ..	42
Tabela 2	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ , considerando diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m.....	48
Tabela 3	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ , considerando diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 150 m.....	48
Tabela 4	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ , considerando diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m.....	50
Tabela 5	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas, considerando diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 150 m.....	50
Tabela 6	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ considerando diferentes tarifas energéticas, 30% de aumento nos custos atuais de energia de bombeamento e desnível geométrico total de 50 m.....	51

Tabela 7	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas considerando diferentes tarifas energéticas, 100% de aumento nos custos atuais de energia de bombeamento e desnível geométrico total de 50 m.....	52
Tabela 8	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ considerando diferentes tarifas energéticas, 30% de aumento nos custos atuais de energia de bombeamento e desnível geométrico total de 50 m.....	53
Tabela 9	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas considerando diferentes tarifas energéticas, 100% de aumento nos custos atuais de energia de bombeamento e desnível geométrico total de 50 m.....	54
Tabela 10	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ considerando diferentes tarifas energéticas, 30% de aumento nos custos atuais de aquisição da tubulação e desnível geométrico total de 50 m.....	55
Tabela 11	Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ considerando diferentes tarifas energéticas, 100% de aumento nos custos atuais de aquisição da tubulação e desnível geométrico total de 50 m.....	56

Tabela 12 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas considerando diferentes tarifas energéticas, 30% de aumento nos custos atuais de aquisição da tubulação e desnível geométrico total de 50 m.....	57
Tabela 13 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas considerando diferentes tarifas energéticas, 100% de aumento nos custos atuais de aquisição da tubulação e desnível geométrico total de 50 m.....	57
Tabela 14 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ , em 90% do tempo fora de ponta úmida (FPU) e 10% na ponta úmida (PU), para diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m.....	59
Tabela 15 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ , em 50% do tempo fora de ponta úmida (FPU) e 50% na ponta úmida (PU), para diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m.....	60
Tabela 16 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano ⁻¹ , em 90% do tempo fora de ponta úmida (FPU) e 10% na ponta úmida (PU), para diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m.....	61

Tabela 17 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 $horas.ano^{-1}$, em 50% do tempo fora de ponta úmida (FPU) e 50% na ponta úmida (PU), para diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m.....	61
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Adutoras	20
2.2	Parâmetros econômicos para avaliação de sistemas de adução ..	21
2.2.1	Custo de energia de bombeamento	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Dimensionamento econômico da adutora	26
3.1.1	Custos fixos	27
3.1.1.1	Custos do sistema de recalque	27
3.1.1.1.1	Custo da tubulação de sucção	28
3.1.1.1.2	Custo do acionamento elétrico	28
3.1.1.1.3	Custo da bomba hidráulica	28
3.1.1.1.4	Custo dos tubos e acessórios	29
3.1.1.2	Custo de assentamento dos tubos	32
3.1.1.3	Custo de escavação e reaterro de valas	32
3.1.2	Custos fixos anuais	33
3.1.3	Custos variáveis anuais	34
3.1.3.1	Custo de manutenção	34
3.1.3.2	Custo da energia de bombeamento	35
3.1.3.2.1	Altura manométrica total	35
3.1.3.2.2	Potência do sistema	37
3.1.3.2.3	Consumo do motor elétrico	38
3.2.3.2.4	Tarifas e custo da energia	39
3.1.4	Diâmetros e velocidades econômicas	42
3.1.4.1	Variáveis analisadas	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	Equações para determinação dos custos	44
4.1.1	Custo da sucção	44
4.1.2	Custo do acionamento elétrico	45
4.1.3	Custo da bomba hidráulica	45
4.1.4	Custo de assentamento dos tubos	46
4.2	Fator de recuperação de capital	47
4.3	Influência do desnível geométrico total sobre a velocidade econômica	47
4.4	Influência do custo da energia sobre a velocidade econômica ...	51
4.5	Influência do custo da tubulação na velocidade econômica	55
4.6	Influência do período de funcionamento na velocidade econômica	58
4.7	Dimensionamento econômico	62

5	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Água e energia elétrica são dois dos problemas básicos que irão influenciar, direta ou indiretamente, a vida de cerca de 200 milhões de brasileiros. Mesmo o Brasil detendo aproximadamente 12% de toda a água doce superficial do mundo, testemunhamos recentemente diversas regiões do país sofrendo por desabastecimento de água, em razão da falta de investimentos em sistemas de atendimento das necessidades básicas de suprimento de água e saneamento da população, agravado por períodos prolongados de estiagem. No campo energético, apesar do potencial hidroelétrico brasileiro, foram observadas, nas últimas décadas, problemas de desabastecimento e racionamento, bem como o alto custo da energia que compromete a competitividade e o crescimento econômico do país.

Na agricultura, a atividade irrigação, consome cerca de 70% de toda a água destinada aos múltiplos usos no Brasil, no entanto permite expressivos incrementos de produção em relação a áreas não irrigadas. Diante disso, ressalta-se a importância do uso da irrigação como acréscimo tecnológico de produção e a importância do uso racional da água e da energia elétrica no meio rural, como forma de preservação desses recursos, redução dos custos de produção e maximização dos lucros para o produtor.

Diversos estudos são realizados visando a maior eficiência nos projetos de sistemas de adução para irrigação no Brasil, principalmente quando relacionados com a parte hidráulica. Mesmo que hidraulicamente correto, o projeto pode não atender satisfatoriamente a aspectos econômicos. Portanto, no dimensionamento de sistemas de adução são necessários estudos envolvendo variáveis hidráulicas e econômicas, para a escolha adequada do diâmetro e do tipo de material da tubulação.

A escolha do diâmetro e do material mais econômico em adutoras tem um peso importante na redução do custo de aquisição dos componentes do sistema e nos custos com manutenção e gastos com energia elétrica.

Atualmente, diversos materiais estão disponíveis comercialmente para serem empregados na produção de tubos para adução e condução de água. São materiais plásticos, em aço galvanizado, ferro fundido e, ainda, tubos de aço carbono com revestimento de algum polímero e / ou resina.

Dentre os diversos materiais, os tubos de PVC e aço galvanizado são os mais utilizados por apresentarem diversas vantagens quando comparados aos outros materiais. São de rápida instalação, o que garante maior produtividade com redução dos custos, baixa rugosidade, suportam altas pressões de serviço, além de serem de fácil obtenção no comércio.

Atualmente, vêm ganhando mercado os tubos de materiais plásticos revestidos com fibra de vidro (PRFV), por apresentarem vantagens que intermediam os tubos de PVC e aço galvanizado.

Diante dessa ampla gama de materiais, o projetista se vê em uma situação complexa de escolha, na tentativa de otimizar o uso desses materiais, em função da falta de informações que o direcionem para uma escolha mais eficiente, hidráulica e economicamente.

Baseado no exposto, objetivou-se, com a realização do presente trabalho, a obtenção de valores de velocidades de escoamento que induzem a um menor custo no dimensionamento da adutora. Foram consideradas como variáveis: a vazão, o tempo de funcionamento do sistema, desnível geométrico, o comprimento da adutora, tarifas de energia elétrica e custo das tubulações de aço galvanizado e PVC e o período de funcionamento da adutora, considerando os custos atuais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Adutoras

O termo aqueduto é originado do latim, da combinação de “aqua” (água) e “ducere” (conduzir). Atualmente, designa, exclusivamente os condutos livres e a palavra “adutora” consagrou-se como expressão genérica das estruturas utilizadas para o transporte da água sob pressão diferente da atmosférica, ou seja, os condutos forçados.

De acordo com Azevedo Netto et al. (2002), as adutoras podem ser classificadas em função da natureza da água conduzida, bruta ou tratada, e quanto à energia utilizada para a movimentação do fluido no espaço, por gravidade, por recalque ou mistas.

Os materiais mais empregados em tubos para adução de água, normalmente citados em literatura, são: ferro fundido, revestido ou não internamente, poliéster revestido com fibra de vidro (PRFV), polietileno, PVC e o aço galvanizado. Atualmente, há uma predominância no uso dos tubos de PVC, em decorrência do custo de aquisição ser relativamente mais baixo do que os outros materiais citados, facilidade de obtenção no comércio e baixo peso, o que torna mais barato o custo de transporte e instalação. À medida que os tubos de PVC não atendem à pressão demandada no projeto, há uma tendência pela substituição dos tubos de PVC pelos de aço galvanizado.

De acordo com Dercas e Valiantzas (2012), no dimensionamento de adutoras para sistemas de irrigação, a maioria dos projetistas usam métodos empíricos muito simples de seleção de tubos, baseando-se em critérios como a perda de carga e a velocidade de escoamento da água na tubulação. Segundo, ainda, os autores, apesar do grande uso desses métodos, os mesmos não levam a

uma solução ótima, pois não consideram critérios econômicos, ou seja, os custos fixos e os custos variáveis.

De acordo com Zocoler et al. (2004), com base no critério do custo total mínimo, algumas fórmulas foram desenvolvidas, sendo que, provavelmente, a mais difundida seja a de Bresse. Ainda de acordo com os autores, há de se ressaltar as fórmulas de Forchheimer, Camp, Cuomo e Villela, Babbitt, Deb, Lencastre, Coiado e Rivelli e Zocoler.

Perroni (2008) comparou a velocidade econômica entre adutoras de PVC e aço galvanizado, e concluiu que o aumento da velocidade econômica visa à utilização de tubulações com diâmetros menores, o que acarreta em custos menores de aquisição dos tubos, diminuindo os custos iniciais. Entretanto, a redução dos gastos com investimentos iniciais não reflete em um custo menor da adutora como um todo, uma vez que existe a necessidade de analisar todos os custos que estão envolvidos no projeto (custos fixos e variáveis).

Carvalho e Reis (2000) citam que, qualquer tomada de decisão deve ser baseada em parâmetros econômicos atualizados, principalmente no mundo globalizado, no qual a eficiência e os custos constituem fatores de decisão. Assim, a determinação do diâmetro econômico deve ser feita para as condições atuais da economia, com o objetivo de maximizar a eficiência de um sistema de recalque, ao mesmo tempo em que se procura minimizar os custos.

2.2 Parâmetros econômicos para avaliação de sistemas de adução

A palavra “custo”, de acordo com Padoveze (2013), significa a mensuração econômica dos recursos (produtos, serviços e direitos) adquiridos para obtenção e a venda dos produtos e serviços da empresa. É o valor pago por alguma coisa, ou todos os gastos no processo de produção e criação, como: mão-de-obra, energia elétrica, manutenção, máquinas utilizadas na produção, etc.

O custo total é composto pelo somatório entre os custos fixos e os custos variáveis. De acordo com Santos e Marion (1996), os custos fixos totais são aqueles que permanecem inalterados em termos físicos e de valor, independentes do volume de produção e dentro de um intervalo de tempo relevante, e os custos variáveis totais aqueles que variam em proporção direta com o volume de produção. O diâmetro econômico, portanto, é aquele que para uma mesma situação, são mínimos os custos fixos totais e os custos variáveis totais.

Em uma adutora compõem o custo fixo os gastos de aquisição dos componentes do sistema de adução, abertura e reaterro de vala e a depreciação do sistema, e os valores gastos com energia de bombeamento e manutenção do equipamento são incluídos nos custos variáveis.

A depreciação é a perda de valor dos ativos imobilizados utilizados no processo de produção, normalmente a perda de valor dá-se pelo uso e desgaste ou pela obsolescência. Representa a diferença entre o valor do bem novo e o valor do bem usado (PADOVEZE, 2013).

Ao se avaliar os custos de sistemas de adução, em que os mesmos são geralmente dados anualmente, os custos fixos totais devem ser atualizados, utilizando o fator de recuperação de capital (FRC), que leva em consideração a taxa de juros, normalmente a SELIC, e a vida útil ou tempo de amortização do bem, que é um critério utilizado para deslocar e distribuir para mais de um período determinados gastos que se supõe tenham validade operacional para mais de um ano.

De acordo com Zocoler (1998), os custos com reparos e manutenção correspondem ao custo anual necessário para manter o bem de capital em condições de uso. Os custos com manutenção são calculados, a partir de valores médios anuais expressos em percentuais sobre o valor de compra do equipamento, sendo que para sistemas de adução, esses variam em torno de 2% (PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO- PRONI, 1987).

Os gastos com energia de bombeamento estão relacionados com a potência do sistema e com o tipo de tarifa cobrado pela concessionária de energia elétrica.

2.2.1 Custo de energia de bombeamento

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) divide os consumidores por potência instalada em, basicamente, dois grupos: consumidores do grupo B, com transformadores até 75 kVA e consumidores do grupo A, com transformadores com potência superior a 75 kVA (BRASIL, 2014).

Os consumidores do grupo B pagam apenas pelo consumo de energia, ou seja, tarifa única, podendo ainda ser beneficiados pela tarifa reduzida no caso de irrigantes. A tarifação para os consumidores do grupo A possui estruturas com dois componentes na definição do seu preço, a demanda de potência e o consumo de energia.

Segundo Carvalho e Oliveira (2008), ainda para os consumidores do grupo A, há subdivisões de acordo com o período do ano e o período do dia no qual o consumidor faz o uso do sistema, chamado tarifação horosazonal. O período seco compreende os meses de maio a novembro e o preço da energia elétrica tem um custo maior. O período úmido compreende os meses de dezembro até abril, com preços reduzidos. De acordo com o período do dia há a subdivisão em horários de ponta, entre 17 horas e 22 horas, com custos mais elevados e o horário fora de ponta para o restante do dia, sob valores de tarifas mais reduzidas. Durante o período compreendido entre 23 horas e 5 horas (Tarifa Noturna), os usuários podem ter um desconto no valor da energia consumida no caso de irrigação.

Em decorrência do fato de que no Brasil a geração de energia elétrica ser predominantemente produzida por usinas hidrelétricas, a partir de 2015, a ANEEL adotou, além do sistema tarifário descrito, o uso do Sistema de Bandeiras Tarifárias. Todo mês, em função das condições de geração de eletricidade as bandeiras verde, amarela e vermelha indicarão se a energia custará mais ou menos. A bandeira verde indica boas condições de geração de energia e a tarifa não sofrerá acréscimo. Bandeira amarela indica condições de geração menos favoráveis e a tarifa sofrerá acréscimo para cada 100 kWh consumidos, assim como a bandeira vermelha, que indica condições mais custosas de geração de energia e o acréscimo será maior.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram desenvolvidas planilhas eletrônicas nas quais foi possível gerar as equações que possibilitaram o dimensionamento e estudo da viabilidade econômica da adutora de acordo com as variáveis simuladas. Foi desenvolvido um organograma (Figura 1), para facilitar o entendimento do trabalho.

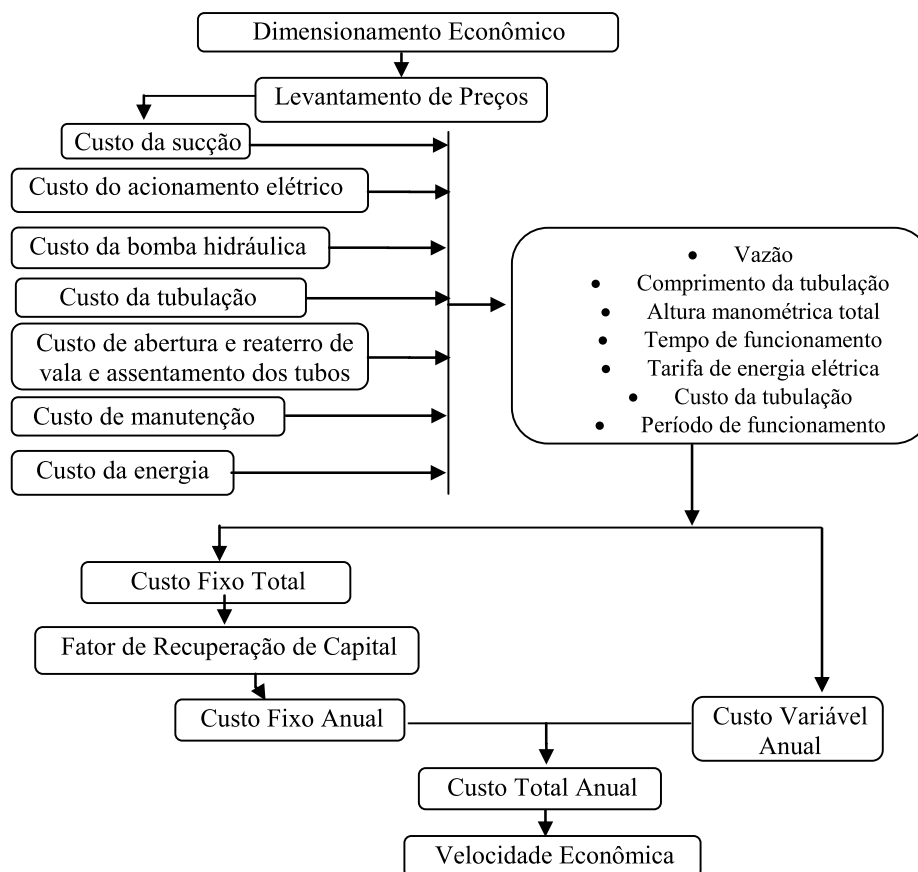


Figura 1 Organograma do dimensionamento econômico

3.1 Dimensionamento econômico da adutora

Para realizar este estudo, foi considerado um sistema de recalque padrão, conforme a Figura 2, composto por uma válvula de pé com crivo (a), curva de 90° (b), reduções excêntrica (c) e concêntrica (d), registro de gaveta (e), curva dupla (f), válvula de retenção (g), bomba hidráulica (h), acoplamento elástico (i), motor elétrico trifásico (j), base de aço (k), chave de partida e proteção (l) e tubulações de aço galvanizado para pressão nominal de 180 m.c.a e PVC para pressão nominal de 80, 120 e 180m.c.a. Foram avaliadas vazões de 50, 100, 150, 200, 250 e 300 m³.h⁻¹.

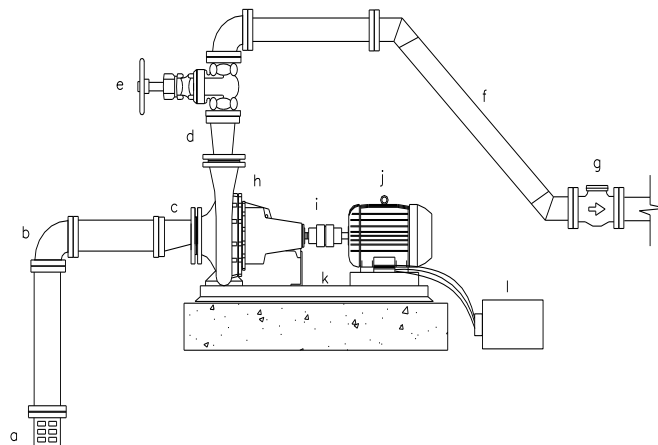


Figura 2 Esquema de um sistema de recalque adotado como padrão para condução de água

Os preços dos componentes do sistema de recalque foram obtidos junto a diversos estabelecimentos comerciais no período de setembro a novembro de 2014, visando a gerar um preço médio para os mesmos. Nesse levantamento foi considerado o preço na condição de pagamento à vista e com impostos incluídos, preço final ao consumidor.

O dimensionamento econômico da adutora foi realizado, por meio da análise dos custos totais da adutora, composto pelo somatório dos custos fixos e custos variáveis.

$$CTA = CFA + CVA \quad (1)$$

em que:

CTA = custo total anual, R\$;

CFA = custo fixo anual, R\$;

CVA = custo variável anual, R\$.

3.1.1 Custos fixos

Os custos fixos foram definidos como sendo aqueles representados pelo custo de aquisição do sistema de recalque (C_{SR}), custo de assentamento dos tubos (C_A), custo de escavação e reaterro de valas (C_{ER}) e a depreciação (C_{DEP}) dos mesmos durante a sua vida útil.

$$CF = C_{SR} + C_A + C_{ER} + C_{DEP} \quad (2)$$

3.1.1.1 Custos do sistema de recalque

O custo do sistema de recalque foi dado pelo somatório do custo da tubulação de sucção, motor elétrico, custo da bomba hidráulica e custo de aquisição dos tubos e acessórios.

3.1.1.1.1 Custo da tubulação de sucção

O custo da tubulação de sucção foi dado em função da vazão, adotando uma velocidade de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ para a determinação do diâmetro da tubulação. Foi composto pelo custo de aquisição de uma tubulação de aço galvanizado com 6 metros de comprimento, uma válvula de pé com crivo, uma curva de 90° e uma redução excêntrica.

3.1.1.1.2 Custo do acionamento elétrico

O custo do acionamento elétrico foi obtido pelo somatório dos custos de um motor elétrico trifásico, chave de proteção e partida, acoplamento elástico e base de ferro. Foi realizado um ajuste, por meio de regressão, em que os dados utilizados foram provenientes do levantamento de preços no mercado, sendo que esses preços foram ajustados em função da potência nominal de operação. Foi gerado um preço médio para acionamento para motores de 1750 e 3500 rpm.

3.1.1.1.3 Custo da bomba hidráulica

Para a determinação do custo das bombas hidráulicas, foram coletados os preços de diferentes marcas e modelos existentes no mercado para atender às situações simuladas. Utilizando os catálogos técnicos fornecidos pelos fabricantes foi selecionado, nas curvas características de cada bomba, o ponto de máximo rendimento, como exemplificado na Figura 3, e, desse foram, extraídos os valores de pressão e vazão. Adotou-se o ponto de máximo rendimento como sendo o ponto de operação da bomba. Utilizando valores de vazão, pressão e custo, foram ajustados dois modelos, sendo um para as bombas com rotação de

1750 rpm e outro para as bombas com rotação de 3500 rpm, para representar o custo das bombas em função dos valores de vazão e pressão.

$$C_B = f(Q, H_{\text{man}}) \quad (3)$$

Em que:

C_B = custo da bomba hidráulica, R\$;

Q = vazão, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;

H_{man} = altura manométrica total, m.

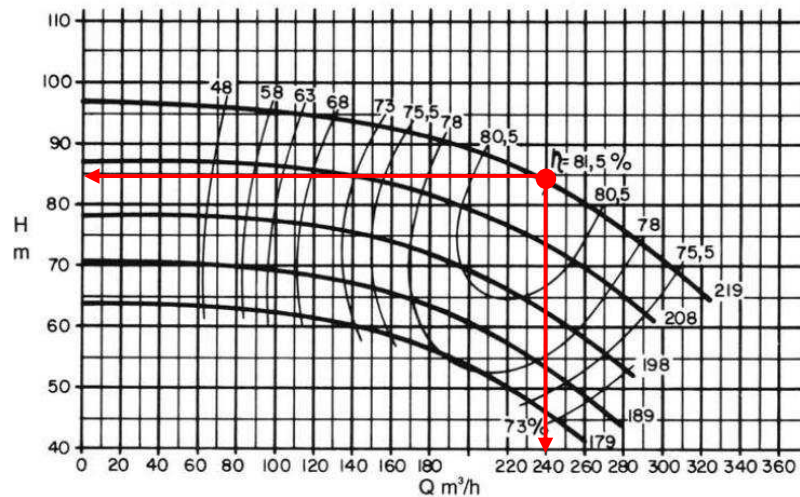


Figura 3 Exemplo de obtenção do ponto de máximo rendimento para a bomba modelo Meganorm/ Megachem 80-200

3.1.1.1.4 Custo dos tubos e acessórios

Para a determinação do custo dos tubos e acessórios foram utilizados tubos de 6 m de comprimento de aço galvanizado flangeados e de PVC com ponta e bolsa e junta elástica. Para a tubulação de aço galvanizado foram utilizados diâmetros de 75 a 500 mm, com pressão nominal de 180 m.c.a, e para

a tubulação de PVC foram utilizados diâmetros de 100 a 500 mm, para pressão nominal de 80, 125 e 180 m.c.a. Foram utilizados valores de preço médio obtidos no mercado tanto para os tubos de aço galvanizado e PVC quanto para os acessórios (Figuras 4, 5, 6 e 7).

Na Figura 4, representa-se o custo médio dos tubos de aço galvanizado, obtidos no mercado em função do diâmetro nominal.

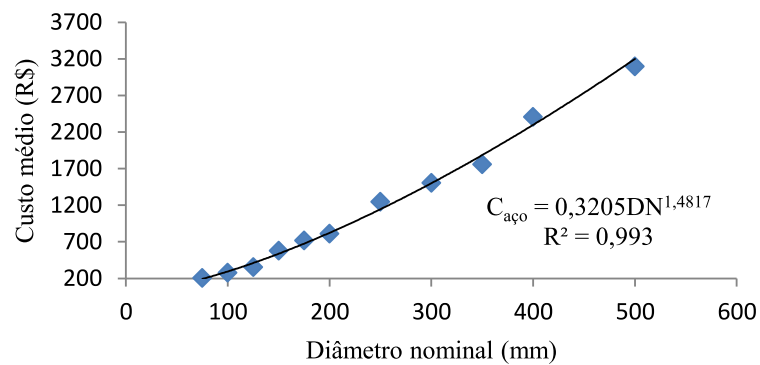


Figura 4 Preço médio dos tubos de aço galvanizado em função do diâmetro nominal

Na Figura 5, representa-se o custo médio dos tubos de PVC, PN 80, em função do diâmetro nominal.

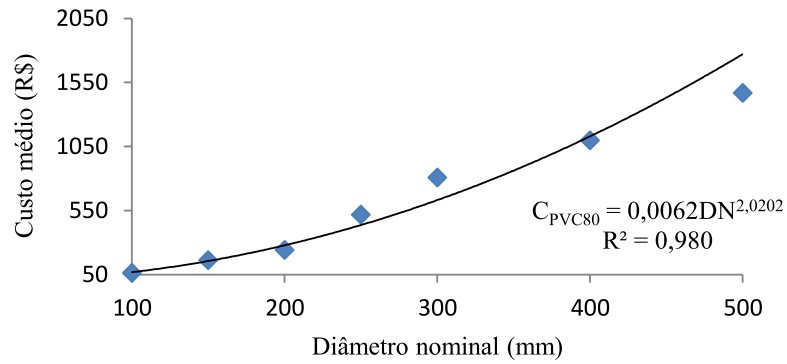


Figura 5 Preço médio dos tubos de PVC, PN80, em função do diâmetro nominal

Na Figura 6, representa-se o custo médio dos tubos de PVC, PN 125, em função do diâmetro nominal.

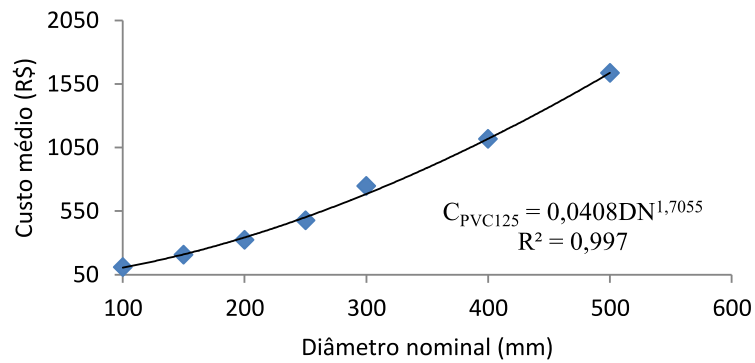


Figura 6 Preço médio dos tubos de PVC, PN125, em função do diâmetro nominal

Na Figura 7, representa-se o custo médio dos tubos de PVC, PN 180, em função do diâmetro nominal.

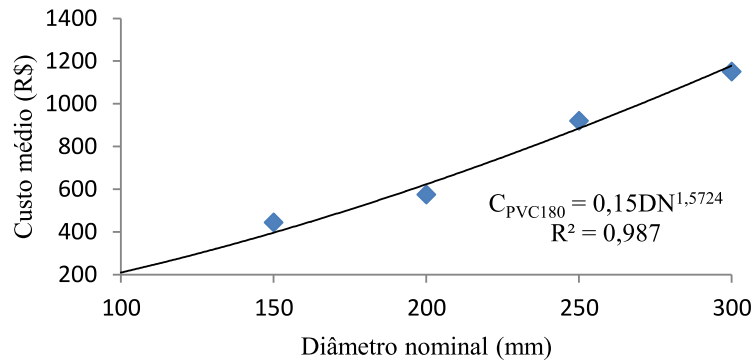


Figura 7 Preço médio dos tubos de PVC, PN180, em função do diâmetro nominal

3.1.1.2 Custo de assentamento dos tubos

O custo de assentamento dos tubos foi obtido por meio de um ajuste, feito por regressão, com base nos valores publicados pela Caixa Econômica Federal e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL - CEF, 2014), em tabela com referência para o mês de novembro de 2014.

Foram geradas duas equações, para a determinação do custo de assentamento em função do diâmetro nominal do tubo, sendo uma para tubos de aço galvanizado e outra equação para tubos de PVC.

3.1.1.3 Custo de escavação e reaterro de valas

O custo de escavação de vala e reaterro foram determinados, considerando os valores divulgados pela Tabela SINAPI (CEF, 2014), com referência para o mês de novembro de 2014.

Para o custo de escavação de vala foi considerado a escavação mecânica com retroescavadeira de material de 1º categoria para profundidades de até 1,50 m. Para o reaterro foi considerado reaterro manual com apiloamento mecânico.

3.1.2 Custos fixos anuais

Os custos fixos foram anualizados utilizando-se o fator de recuperação de capital (FRC) que leva em consideração a taxa de juros (i) e a vida útil ou tempo de amortização (n).

$$\text{FRC} = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (5)$$

A taxa de juros considerada foi a SELIC, divulgada pelo Comitê de Política Monetária (COPOM) para o mês de novembro de 2014, que foi de 11,25% ao ano. A vida útil média dos componentes adotada foi de 15 anos, conforme metodologia adotada por PRONI (1987). Não foram contabilizados os valores de sucata dos equipamentos.

O custo fixo anual foi dado por:

$$\text{CFA} = \text{CF} \cdot \text{FRC} \quad (6)$$

Em que:

CFA = custo fixo anual, R\$.ano⁻¹;

CF = custo fixo, R\$;

FRC = fator de recuperação de capital, adimensional.

3.1.3 Custos variáveis anuais

Os custos variáveis foram definidos como sendo o somatório dos gastos com manutenção e energia elétrica utilizada para o funcionamento do sistema de adução.

$$CVA = C_{ma} + CE \quad (7)$$

Em que:

CVA = custo variável anual, R\$.ano⁻¹;

C_{ma} = custo com manutenção, R\$.ano⁻¹;

CE = custo com energia, R\$.ano⁻¹.

3.1.3.1 Custo de manutenção

Os gastos com manutenção foram calculados, de acordo com metodologia adotada por PRONI (1987), onde estes representam 2% do custo fixo total.

$$C_{ma} = \left(\frac{2.CF}{100} \right) \quad (8)$$

Em que:

C_{ma} = custo com manutenção, R\$.ano⁻¹;

CF = custo fixo total, R\$;

3.1.3.2 Custo da energia de bombeamento

Para a determinação do custo da energia de bombeamento, foram utilizadas diferentes situações de operação do sistema, envolvendo interações entre diferentes alturas manométricas, vazões, diâmetros, comprimentos de tubulação e tempos de funcionamento. O custo da energia pode ser representado pela seguinte equação:

$$CE = f(Q, H_{man}, L, T_f) \quad (9)$$

Em que:

CE = custo com energia, R\$;

Q = vazão m³.h⁻¹;

H_{man} = altura manométrica total, m.c.a.;

L = comprimento da tubulação, m;

T_f = tempo de funcionamento, horas.

3.1.3.2.1 Altura manométrica total

A altura manométrica foi determinada pelo somatório do desnível geométrico total e a perda de carga total (contínua e localizada) nas tubulações de sucção e recalque.

$$H_{man} = H_g + H_{f_s} + H_{f_r} \quad (10)$$

Em que:

H_g = desnível geométrico total, m;

H_{f_s} = perda de carga total na sucção, m;

H_{fr} = perda de carga total no recalque, m.

A perda de carga (H_f) foi calculada utilizando a equação de Hazen-Williams.

$$H_f = f(Q, L, D) \quad (11)$$

Em que:

Q = vazão, m³.s⁻¹;

L = comprimento virtual da adutora, m;

D = diâmetro da adutora, m.

A equação de Hazen-Williams foi utilizada, pelo fato de apresentar resultados consistentes quando utilizada com diâmetros maiores que 50 mm, e sua grande utilização em cálculos dessa natureza. A equação pode ser descrita por:

$$H_f = 10,641 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \cdot \frac{L}{D^{4,87}} \quad (12)$$

Em que:

H_f = perda de carga, m;

Q = vazão, m³.s⁻¹;

C = coeficiente de rugosidade, adimensional;

L = comprimento da tubulação, m;

D = diâmetro da tubulação, m.

Foi adotado um coeficiente de rugosidade de 125 para tubulações de aço galvanizado, 140 para tubulações de PVC.

3.1.3.2 Potência do sistema

A potência do motor, denominada de potência absorvida, foi calculada pela seguinte equação:

$$POT_a = \frac{Q \cdot H_{man}}{270 \cdot \eta_m \cdot \eta_b} \quad (13)$$

Em que:

POT_a = potência absorvida, cv;

Q = vazão, $m^3 \cdot h^{-1}$;

H_{man} = altura manométrica total, m;

η_m = rendimento do motor, decimal;

η_b = rendimento da bomba, decimal.

Para o rendimento do motor elétrico, foi adotado um rendimento médio de 90%. O rendimento da bomba foi obtido por ajuste, por meio de regressão, considerando os valores de rotação específica, vazão e altura manométrica para o ponto de máximo rendimento de diversos modelos de bombas encontradas no mercado. Os valores de rotação específica foram obtidos pela seguinte equação:

$$\eta_s = \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H_{man}^{3/4}} \quad (14)$$

Em que:

η_s = rotação específica;

n = velocidade de rotação, rpm;

Q = vazão, $m^3.s^{-1}$;

H_{man} = altura manométrica total, m.

Como na maioria dos casos, os valores de potência obtidos não coincidem com os comerciais disponíveis no mercado, foi considerado a potência comercial, sendo seu valor imediatamente superior ao calculado pela equação 13.

3.1.3.2.3 Consumo do motor elétrico

O consumo de energia pelos motores elétricos, durante um ano, foi obtido, relacionando-se a potência absorvida calculada e o tempo de funcionamento do sistema de adução. Foram adotados tempos de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas por ano. O consumo dos motores foi determinado por:

$$C_{ee} = Pot_a \cdot T_f \quad (15)$$

em que:

C_{ee} = consumo de energia elétrica, kWh;

Pot_a = potência absorvida, kW;

T_f = tempo de funcionamento, $horas.ano^{-1}$.

3.1.3.2.4 Tarifas e custo da energia

A determinação do custo da energia elétrica anual foi baseada nos valores cobrados e critérios utilizados pela concessionária de energia elétrica do Estado de Minas Gerais (CEMIG), a qual divide os consumidores de acordo com a classificação da ANEEL, ou seja, por potência instalada: consumidores do grupo B, com transformadores de até 75 kVA e consumidores do grupo A, com transformadores maiores que 75 kVA.

Para o cálculo do custo de energia do grupo B, foi utilizada a seguinte equação:

$$CE = C_{ee} \cdot T_e \cdot T_f \quad (16)$$

em que:

CE = custo com energia, R\$;

C_{ee} = consumo da energia elétrica, kWh;

T_e = tarifa de energia elétrica, R\$.kWh⁻¹;

T_f = tempo de funcionamento, horas.ano⁻¹.

Para o cálculo do custo de energia dos consumidores do grupo A, foi considerado o consumo de energia (kWh) e a demanda de potência (kW). Foram utilizados o sistema de tarifação modalidade convencional, que não diferencia a tarifa conforme o período do ano e a hora do dia, e os sistemas de tarifação horosazonal verde e horosazonal azul, que fazem distinção de tarifa conforme o período do ano e a hora do dia. Foram simuladas situações, para o período de funcionamento fora de ponta seco (FPS), período de ponta seco (PS), fora de ponta úmido (FPU) e na ponta úmido (PU). O custo da energia anual para os consumidores do grupo A, foi obtida, portanto por:

Modalidade convencional:

$$CE = 12 \cdot D_c \cdot T_d + C_{ee} \cdot T_e \cdot T_f \quad (17)$$

em que:

CE = custo com energia, R\$.ano⁻¹;

D_c = demanda contratada, kW;

T_d = tarifa de demanda, R\$.kW⁻¹;

C_{ee} = consumo de energia elétrica, kWh;

T_e = tarifa de consumo (modalidade convencional), R\$.kWh⁻¹;

T_f = tempo de funcionamento, horas.ano⁻¹.

Modalidade horosazonal verde e horosazonal azul:

$$CE = 12 \cdot D_c \cdot T_d + C_{efps} \cdot T_{efps} \cdot T_{ffps} + C_{efpu} \cdot T_{efpu} \cdot T_{ffpu} + C_{epu} \cdot T_{epu} \cdot T_{fpu} + C_{eps} \cdot T_{eps} \cdot T_{fps} \quad (18)$$

em que:

CE = custo com energia, R\$.ano⁻¹;

D_c = demanda contratada, kW;

T_d = tarifa de demanda, R\$.kW⁻¹;

C_{efps} = consumo de energia no período fora de ponta seco, kWh;

T_{efps} = tarifa de consumo no período fora de ponta seco, R\$.kWh⁻¹;

T_{ffps} = tempo de funcionamento no período fora de ponta seco, horas.ano⁻¹;

C_{efpu} = consumo de energia no período fora de ponta úmido, kWh;

T_{efpu} = tarifa de consumo no período fora de ponta úmido, R\$.kWh⁻¹;

T_{ffpu} = tempo de funcionamento no período fora de ponta úmido, horas.ano⁻¹.

C_{epu} = consumo de energia no período de ponta úmido, kWh;

T_{epu} = tarifa de consumo no período de ponta úmido, R\$.kWh⁻¹;

T_{fpu} = tempo de funcionamento no período de ponta úmido, horas.ano⁻¹;

C_{eps} = consumo de energia no período de ponta seco, kWh;

T_{eps} = tarifa de consumo no período de ponta seco, R\$.kWh⁻¹;

T_{fps} = tempo de funcionamento no período de ponta seco, horas.ano⁻¹.

Para a demanda contratada, foi utilizado o valor de potência nominal (comercial) do motor elétrico.

Foram considerados os valores de tarifação aplicados pela Companhia Energética de Minas Gerais- CEMIG (2014), divulgados para o mês de novembro de 2014 (Tabela 1), para tarifa do grupo B e para as tarifas do grupo A utilizadas nas simulações deste estudo. Foram simuladas situações de funcionamento em que o valor de demanda não ultrapasse a demanda contratada, evitando multas.

Tabela 1 Tarifas energéticas cobradas pela CEMIG em novembro de 2014

Grupo B – subgrupo B2 (Rural)		
Energia	Preço (R\$.kWh ⁻¹)	
	0,25272	
Grupo A – subgrupo A4		
	Demanda (R\$.kW)	Energia (R\$.kWh ⁻¹)
Convencional	29,14	0,24155
	Ponta seca	8,28
Horosazonal	Ponta úmida	8,28
Verde	Fora de ponta seca	8,28
	Fora de ponta úmida	8,28
	Ponta seca	28,98
Horosazonal	Ponta úmida	28,98
Azul	Fora de ponta seca	8,28
	Fora de ponta úmida	8,28

*Tarifas sem impostos (ICMS, PIS/PASEP, COFINS e contribuição de iluminação pública). Fonte: CEMIG (2014).

3.1.4 Diâmetros e velocidades econômicas

Foi considerado como diâmetro econômico aquele que, para uma mesma situação, apresentou menor custo total provenientes do bombeamento (incluindo amortização e custos variáveis) e os custos da própria tubulação (incluindo também a amortização e a manutenção).

3.1.4.1 Variáveis analisadas

Foram analisados, neste trabalho, os efeitos da variação do tempo de funcionamento e do desnível geométrico total, comprimento da adutora, aumento na tarifa energética e aumento nos custos da tubulação, bem como a influência do período de funcionamento na velocidade econômica da adutora.

Foram considerados vazões de 50, 100, 150, 200, 250 e 300 m³.h⁻¹, comprimentos de 1000, 2500 e 5000 m, também, desnível geométrico total de 50, 100 e 150 m e tempos de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, divididos em: 90% do tempo de funcionamento no período fora de ponta úmida (FPU) e 10% na ponta úmida (PU), 50% fora de ponta úmida e 50% na ponta úmida. Foram considerados, também, acréscimos de 30, 50 e 100% nos custos atuais de energia de bombeamento e os mesmos valores de acréscimos nos custos atuais de aquisição dos tubos e acessórios.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Equações para determinação dos custos

A seguir serão apresentadas as equações obtidas na determinação do custo da adutora.

4.1.1 Custo da sucção

O custo da sucção (C_s) em função da vazão simulada está representada pela Figura 8.

Na Figura 8, representa-se a variação do custo da tubulação de sucção (C_s) em função da vazão.

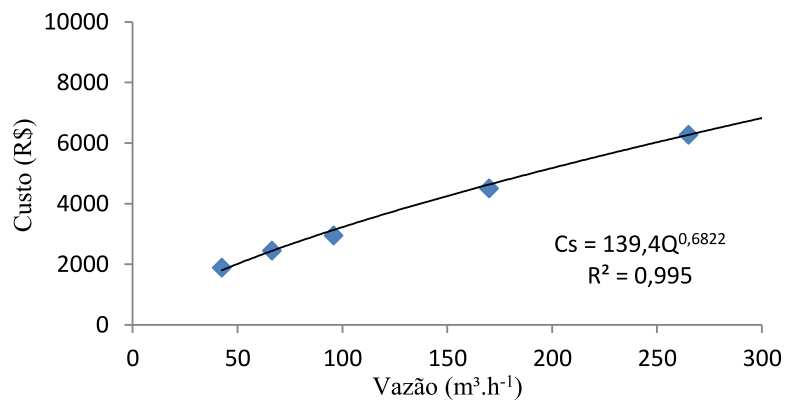


Figura 8 Variação do custo da tubulação de sucção em função da vazão

4.1.2 Custo do acionamento elétrico

A equação do custo do acionamento elétrico (C_{AE}) foi obtida em função da potência dos componentes do sistema e está representada na Figura 9.

Na figura 9, representa-se a variação do custo do acionamento elétrico (C_{AE}) (motor elétrico, chave de proteção e partida, acoplamento elástico e base de aço) em função da sua potência.

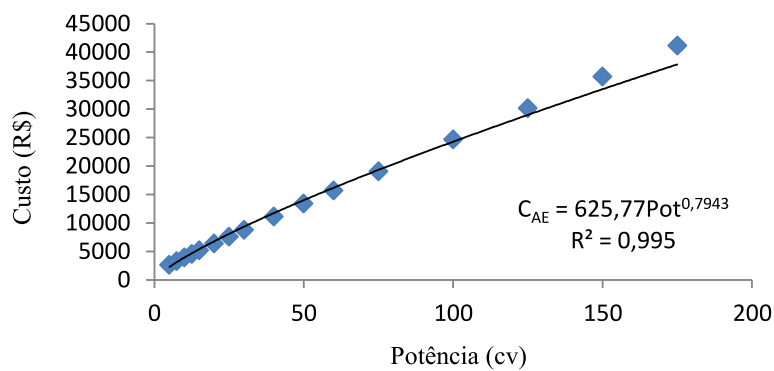


Figura 9 Variação do custo do acionamento elétrico em função da sua potência

4.1.3 Custo da bomba hidráulica

As equações ajustadas para o custo da bomba hidráulica em um sistema de recalque em função da vazão e da altura manométrica, estão representadas pela equação 19 e equação 20, para bombas com velocidade de rotação de 1750 rpm e 3500 rpm, respectivamente.

$$C_{B1750} = 2276,53 + 10,76 \cdot Q + 55,13 \cdot H_{man} \quad (19)$$

$$r^2 = 0,965$$

$$C_{B3500} = 1248,30 + 14,91 \cdot Q + 22,55 \cdot H_{man} \quad (20)$$

$$r^2 = 0,839$$

Em que,

CB1750 = custo da bomba hidráulica de rotação nominal 1750 rpm, R\$;

CB3500 = custo da bomba hidráulica de rotação nominal 3500 rpm, R\$;

H_{man} = altura manométrica total, m;

Q = vazão, m³.h⁻¹.

4.1.4 Custo de assentamento dos tubos

Para o custo de assentamento dos tubos foi gerado dois modelos, um para tubos de aço galvanizado e outro para tubos de PVC.

Na Figura 10, representa-se a variação do custo de assentamento dos tubos de aço galvanizado ($C_{Aaço}$) em função do diâmetro nominal.

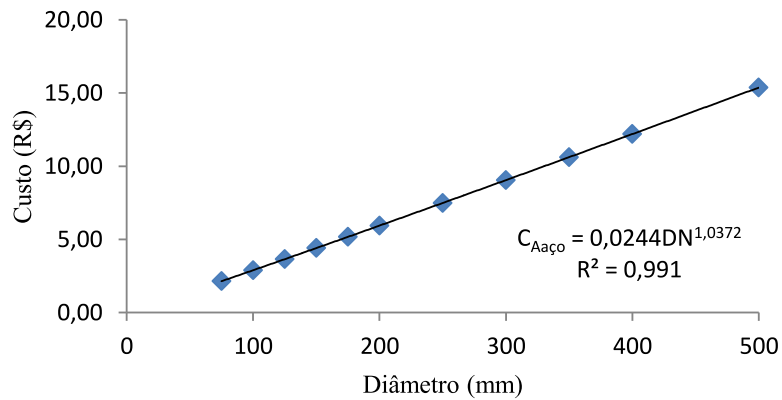


Figura 10 Variação do custo de assentamento dos tubos de aço galvanizado em função do diâmetro nominal

Na Figura 11, representa-se a variação do custo de assentamento dos tubos de PVC em função do diâmetro nominal.

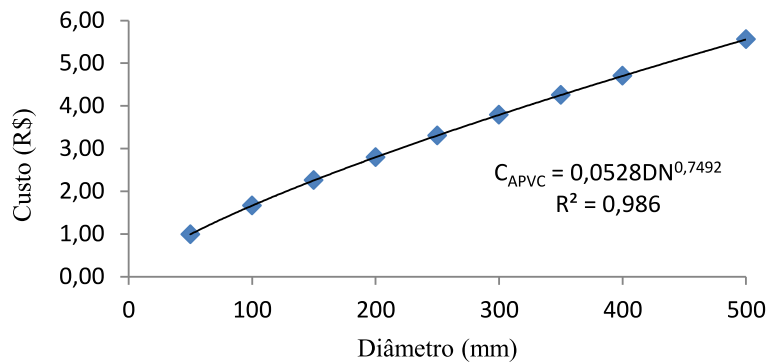


Figura 11 Variação do custo de assentamento dos tubos de PVC em função do diâmetro nominal

4.2 Fator de recuperação de capital

O fator de recuperação de capital (FRC) obtido, considerando a taxa de juros Selic igual a 11,25% a.a., e o tempo de amortização de 15 anos, foi de 0,14.

4.3 Influência do desnível geométrico total sobre a velocidade econômica

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados de velocidade de escoamento mais econômica para tubulação de aço galvanizado, considerando o desnível geométrico total de 50 e 150 m, respectivamente, para tempos de funcionamento 1000, 2000 e 3000 horas por ano, e diferentes tarifas de cobrança energética com custos atuais de energia de bombeamento e de aquisição da tubulação.

Tabela 2 Velocidade econômica ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, considerando diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m

Vazão ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	50 m								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13
100	2,26	2,26	1,57	2,26	2,26	1,57	2,26	2,26	1,57
150	2,35	1,72	1,32	2,35	1,32	1,32	2,35	1,72	1,32
200	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
250	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
300	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Tabela 3 Velocidade econômica ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, considerando diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 150 m

Vazão ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)	150 m								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13
100	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	2,26	1,57	1,57	2,26
150	1,72	1,72	1,32	1,72	1,72	1,32	1,72	1,72	1,32
200	2,30	1,76	1,76	2,30	1,76	1,76	2,30	1,76	1,76
250	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
300	2,65	1,17	1,17	2,65	2,65	1,17	1,70	2,65	1,17

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

De acordo com os resultados obtidos nas Tabelas 2 e 3, para adutoras de aço galvanizado, nota-se que houve uma diminuição da velocidade econômica de escoamento para a vazão de $100 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ para todos os tempos de funcionamento analisados: 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹. Quando analisada a velocidade de escoamento para a vazão de $150 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ percebe-se, também, uma

redução da velocidade para os tempos de funcionamento de 1000 horas.ano⁻¹ em todos os sistemas tarifários analisados: convencional, horosazonal verde e azul. Para a vazão de 300 m³.h⁻¹ a redução ocorreu nos tempos de funcionamento de 2000 e 3000 horas.ano⁻¹ em todos os sistemas tarifários. Pode-se verificar, também que, de forma geral, quando aumentado o desnível geométrico total de 50 para 150 m houve uma mudança no grupo de tarifa de cobrança energética, passando do grupo B para o grupo A.

Esses resultados indicam que, aumentando o desnível geométrico total, conseqüentemente, ocorre um aumento na demanda de potência necessária para acionamento da adutora, que elevam os gastos com energia elétrica, conseqüentemente os custos variáveis; sendo necessário um aumento no diâmetro da tubulação, que, por sua vez, apresentam menores velocidades de escoamento para uma mesma vazão.

Nas Tabelas 4 e 5, apresentam-se os resultados de velocidade econômica para tubulação de PVC, considerando o desnível geométrico total de 50 e 150 m, respectivamente, para tempos de funcionamento 1000, 2000 e 3000 horas por ano, diferentes tarifas de cobrança energética com custos atuais de energia de bombeamento e de aquisição da tubulação.

Tabela 4 Velocidade econômica ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, considerando diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m.

50 m									
Vazão (m^3h^{-1})	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
100	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
150	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
200	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
250	2,05	2,05	1,34	2,05	2,05	1,34	2,05	2,05	1,34
300	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Tabela 5 Velocidade econômica ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas, considerando diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 150 m

150 m									
Vazão (m^3h^{-1})	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
100	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37
150	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
200	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
250	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
300	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Os resultados obtidos nas Tabelas 4 e 5, indicam que a velocidade de escoamento nas tubulações de PVC não variaram em função do aumento do desnível geométrico total, sendo este responsável somente pela alteração do grupo de tarifa de energética, passando do grupo B para o grupo A, a partir da vazão de $150 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Os valores de velocidade econômica próximos encontrados, são decorrentes das diferenças no diâmetro interno dos tubos utilizados para atender às diversas simulações realizadas, no caso da Tabela 4 foi utilizado o

tubo PN80 e na Tabela 5 o PN180. O fato das velocidades econômicas não terem variado, pode ser explicado, em razão da tubulação de PVC apresentar, relativamente, baixo coeficiente de rugosidade, o que sugere que a demanda de potência ocorrida na simulação, ao se aumentar o desnível geométrico total, não foi suficiente para ocasionar uma alteração no diâmetro econômico.

4.4 Influência do custo da energia sobre a velocidade econômica

Nas Tabelas 6 e 7, estão os resultados de velocidade econômica para tubulação de aço galvanizado, considerando acréscimo de 30% e 100%, respectivamente, nos custos atuais de energia de bombeamento, permanecendo os custos atuais de aquisição da tubulação, para tempos de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas por ano e diferentes tarifas energéticas.

Tabela 6 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹ considerando diferentes tarifas energéticas, 30% de aumento nos custos atuais de energia de bombeamento e desnível geométrico total de 50 m

Vazão ($m^3.h^{-1}$)	30%								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
100	2,26	1,57	1,15	2,26	1,57	1,15	2,26	1,57	1,15
150	1,72	1,32	1,32	1,72	1,32	1,32	1,72	1,32	1,32
200	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
250	2,21	2,21	1,41	2,21	2,21	1,41	2,21	2,21	1,41
300	1,70	1,70	1,17	1,70	1,70	1,17	1,70	1,70	1,17

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Tabela 7 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas considerando diferentes tarifas energéticas, 100% de aumento nos custos atuais de energia de bombeamento e desnível geométrico total de 50 m

Vazão ($m^3.h^{-1}$)	100%								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
100	1,57	1,15	1,15	1,57	1,15	1,15	1,57	1,15	1,15
150	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
200	1,76	1,76	1,13	1,76	1,76	1,13	1,76	1,76	1,13
250	2,21	1,41	0,98	2,21	1,41	0,98	2,21	1,41	0,98
300	1,70	1,17	1,17	1,70	1,17	1,17	1,70	1,17	1,17

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

De acordo com os resultados obtidos nas Tabelas 6 e 7, nota-se uma diminuição da velocidade econômica de escoamento para a vazão de $100 m^3.h^{-1}$ para os tempos de funcionamento de 1000 e 2000 horas.ano⁻¹, nos diversos sistemas tarifários analisados; assim como diminuição da velocidade para a vazão de $150 m^3.h^{-1}$, no tempo de funcionamento de 1000 horas.ano⁻¹; diminuição para a vazão de $200 m^3.h^{-1}$, no tempo de 3000 horas.ano⁻¹; para a vazão de $250 m^3.h^{-1}$, nos tempos 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, e para a vazão de $300 m^3.h^{-1}$, no tempo de funcionamento de 2000 horas.ano⁻¹.

A diminuição da velocidade econômica obtida, quando comparado um aumento de 30% e 100% sobre os custos atuais de tarifa energética, pode ser explicada, em razão da necessidade do uso de diâmetros maiores, para uma mesma vazão, para reduzir os custos variáveis, ou seja, a perda de carga na tubulação, conseqüentemente reduzir os gastos com energia de bombeamento.

Comparando o resultado obtido neste trabalho com o de Perroni (2008), que analisou a influência do aumento da tarifa energética sobre a velocidade econômica, verifica-se resultado semelhante, sendo que o autor ainda cita que,

maiores valores de gasto com energia elétrica acarretam em elevação dos custos totais, através dos custos variáveis, sendo necessário reduzir a potência necessária ao funcionamento do sistema a qual só pode ser proveniente de uma redução do desnível geométrico total.

Nas Tabelas 8 e 9, estão os resultados de velocidade econômica para tubulação de PVC, considerando acréscimo de 30% e 100%, respectivamente, nos custos atuais de energia de bombeamento, permanecendo os custos atuais de aquisição da tubulação, para tempos de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas por ano e diferentes tarifas energéticas.

Tabela 8 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹ considerando diferentes tarifas energéticas, 30% de aumento nos custos atuais de energia de bombeamento e desnível geométrico total de 50 m

Vazão ($m^3.h^{-1}$)	30%								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,41	1,41	0,68	1,41	1,41	0,68	1,41	1,41	0,68
100	1,36	1,36	0,82	1,36	1,36	0,82	1,36	1,36	0,82
150	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
200	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
250	2,05	1,34	1,34	2,05	1,34	1,34	2,05	1,34	1,34
300	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Tabela 9 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas considerando diferentes tarifas energéticas, 100% de aumento nos custos atuais de energia de bombeamento e desnível geométrico total de 50 m

Vazão ($m^3.h^{-1}$)	100%								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,41	0,68	0,68	1,41	0,68	0,68	1,41	0,68	0,68
100	1,36	0,82	0,82	1,36	0,82	0,82	1,36	0,82	0,82
150	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
200	1,64	1,64	1,07	1,64	1,64	1,07	1,64	1,64	1,07
250	2,05	1,34	1,34	2,05	1,34	1,34	2,05	1,34	1,34
300	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,13	1,61	1,61	1,13

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

De acordo com os resultados obtidos para a tubulação de PVC nas Tabelas 8 e 9, houve redução da velocidade de escoamento nas vazões de 50 e 100 $m^3.h^{-1}$, para o tempo de funcionamento de 2000 horas.ano⁻¹; na vazão de 200 $m^3.h^{-1}$, para o tempo de funcionamento de 3000 horas.ano⁻¹, e para a vazão de 300 $m^3.h^{-1}$, no tempo de funcionamento de 3000 horas.ano⁻¹, nos sistemas de tarifação horosazonais verde e azul. Assim como nos resultados obtidos para a tubulação de aço galvanizado, a diminuição da velocidade econômica para a tubulação de PVC pode ser explicada, pelo fato de que para uma mesma vazão, são necessários diâmetros maiores para reduzir os gastos com energia de bombeamento, oriundos da perda de carga, visto os aumentos simulados de 30% e 100% sobre os custos atuais.

4.5 Influência do custo da tubulação na velocidade econômica

Nas Tabelas 10 e 11, apresentam-se os resultados de velocidade econômica para a tubulação de aço galvanizado, considerando um acréscimo de 30 e 100%, respectivamente, nos custos atuais de aquisição da tubulação, permanecendo os custos atuais de energia de bombeamento, tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas por ano e diferentes tarifas energéticas.

Tabela 10 Velocidade econômica ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 $\text{horas}\cdot\text{ano}^{-1}$ considerando diferentes tarifas energéticas, 30% de aumento nos custos atuais de aquisição da tubulação e desnível geométrico total de 50 m

Vazão (m^3h^{-1})	30%								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13
100	2,26	2,26	1,57	2,26	2,26	1,57	2,26	2,26	1,57
150	2,35	1,72	1,32	2,35	1,72	1,32	2,35	1,72	1,32
200	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
250	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
300	1,70	1,70	1,70	2,65	1,70	1,70	2,65	1,70	1,70

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Tabela 11 Velocidade econômica (m.s^{-1}) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹ considerando diferentes tarifas energéticas, 100% de aumento nos custos atuais de aquisição da tubulação e desnível geométrico total de 50 m

Vazão (m^3h^{-1})	100%								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,76	1,76	1,13	1,76	1,76	1,13	1,76	1,76	1,13
100	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26
150	2,35	2,35	1,72	2,35	2,35	1,72	2,35	2,35	1,72
200	2,3	1,76	1,76	2,3	1,76	1,76	2,3	1,76	1,76
250	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
300	1,70	1,70	1,70	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

O aumento no custo da tubulação, como os observados nas Tabelas 10 e 11, provocou um aumento significativo nos custos fixos, conseqüentemente um aumento no custo total, assim, o diâmetro econômico tende a diminuir, aumentando a velocidade de escoamento. Pode-se observar que houve uma diminuição da velocidade econômica de escoamento para a vazão de $50 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, para o tempo de funcionamento de 2000 horas.ano⁻¹ e todos os sistemas de tarifação energéticos; para a vazão de $100 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, para o tempo de funcionamento de 3000 horas.ano⁻¹; para a vazão de $150 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, para o tempo de funcionamento de 2000 e 3000 horas.ano⁻¹; para a vazão de $200 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, para o tempo de funcionamento de 1000 horas.ano⁻¹ e para a vazão de $300 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, para o tempo de funcionamento de 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, nos sistemas tarifários horosazonais verde e azul. Pode-se observar, também, uma alteração no grupo de tarifação de cobrança energética, para a vazão de $300 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ passando de grupo B para grupo A, nos sistemas de tarifação horosazonais verde e azul.

Nas Tabelas 12 e 13, apresentam-se os resultados de velocidade econômica para a tubulação de PVC, considerando um acréscimo de 30 e 100%,

respectivamente, nos custos atuais de aquisição da tubulação, permanecendo os custos atuais de energia de bombeamento, tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas e diferentes tarifas energéticas.

Tabela 12 Velocidade econômica ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas considerando diferentes tarifas energéticas, 30% de aumento nos custos atuais de aquisição da tubulação e desnível geométrico total de 50 m

Vazão (m^3h^{-1})	30%								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
100	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
150	2,04	1,23	1,23	2,04	1,23	1,23	2,04	1,23	1,23
200	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
250	2,05	2,05	1,34	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
300	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Tabela 13 Velocidade econômica ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas considerando diferentes tarifas energéticas, 100% de aumento nos custos atuais de aquisição da tubulação e desnível geométrico total de 50 m

Vazão (m^3h^{-1})	100%								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
100	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
150	2,04	1,23	1,23	2,04	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
200	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
250	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
300	1,61	1,61	1,61	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

De acordo com as Tabelas 12 e 13, para tubulação de PVC, observa-se que houve um aumento na velocidade de escoamento para as vazões de $250 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, no tempo de funcionamento de $3000 \text{ horas.ano}^{-1}$ para o sistema de tarifação convencional e para a vazão de $300 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, para os tempos de funcionamento de 1000, 2000 e $3000 \text{ horas.ano}^{-1}$ nos sistemas de tarifação horosazonais verde e azul. Assim como na tubulação de aço galvanizado, o aumento da velocidade econômica de escoamento ocorreu devido o aumento no custo da tubulação, em 30% e 100%, provocar um aumento nos custos fixos, refletindo em uma diminuição no diâmetro econômico.

4.6 Influência do período de funcionamento na velocidade econômica

Na Tabela 14, estão representados os valores de velocidade econômica para tubulação de aço galvanizado, considerando tempos de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas por ano, sendo que a adutora opera em 90% do tempo no período fora de ponta úmido e 10% no período de ponta úmido, para diferentes tarifas de cobrança energética.

Tabela 14 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, em 90% do tempo fora de ponta úmida (FPU) e 10% na ponta úmida (PU), para diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m

Vazão (m^3h^{-1})	90% FPU – 10% PU								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,76	1,76	1,13	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13
100	2,26	2,26	1,57	2,26	1,57	1,57	2,26	1,57	1,57
150	2,35	2,35	1,32	2,35	1,32	1,32	2,35	1,32	1,32
200	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
250	2,21	2,21	1,41	2,21	2,21	1,41	2,21	2,21	1,41
300	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Na Tabela 15 estão representados os valores de velocidade econômica para tubulação de aço galvanizado, considerando tempos de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas por ano, sendo que a adutora opera em 50% do tempo no período fora de ponta úmido e 50% no período de ponta úmido, para diferentes tarifas de cobrança energética.

Tabela 15 Velocidade econômica ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) para a tubulação de aço galvanizado com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, em 50% do tempo fora de ponta úmida (FPU) e 50% na ponta úmida (PU), para diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m

Vazão (m^3h^{-1})	50% FPU – 50% PU								
	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13	1,76	1,13	1,13
100	2,26	1,57	1,57	2,26	1,57	1,57	2,26	1,57	1,57
150	2,35	1,32	1,32	2,35	1,32	1,32	2,35	1,32	1,32
200	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
250	2,21	2,21	1,41	2,21	2,21	1,41	2,21	2,21	1,41
300	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Nas diversas simulações realizadas, verificando a influência do período de funcionamento sobre a velocidade econômica, de acordo com as Tabelas 14 e 15, para tubulação de aço galvanizado, pode-se observar que, nas vazões de 50, 100 e 150 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, para o tempo de funcionamento de 2000 horas.ano⁻¹ e sistema de tarifação energética convencional, houve uma diminuição da velocidade econômica de escoamento quando a adutora está em funcionamento em períodos em que o custo de energia de bombeamento é mais oneroso, ou seja, quando opera em 50% do tempo de funcionamento no período fora de ponta úmido (FPU) e 50% no período de ponta úmido (PU).

Na Tabela 16, estão representados os valores de velocidade econômica para tubulação de PVC, considerando tempos de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas por ano, sendo que a adutora opera em 90% do tempo no período fora de ponta úmido e 10% no período de ponta úmido, para diferentes tarifas de cobrança energética.

Tabela 16 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, em 90% do tempo fora de ponta úmida (FPU) e 10% na ponta úmida (PU), para diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m

90% FPU – 10% PU									
Vazão (m^3h^{-1})	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
100	1,36	1,36	0,82	1,36	1,36	0,82	1,36	1,36	0,82
150	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
200	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
250	2,05	2,05	1,34	2,05	2,05	1,34	2,05	2,05	1,34
300	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

Na Tabela 17, estão representados os valores de velocidade econômica para tubulação de PVC, considerando tempos de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas por ano, sendo que a adutora opera em 50% do tempo no período fora de ponta úmido e 50% no período de ponta úmido, para diferentes tarifas de cobrança energética.

Tabela 17 Velocidade econômica ($m.s^{-1}$) para a tubulação de PVC com tempo de funcionamento de 1000, 2000 e 3000 horas.ano⁻¹, em 50% do tempo fora de ponta úmida (FPU) e 50% na ponta úmida (PU), para diferentes tarifas energéticas e desnível geométrico total de 50 m

50% FPU – 50% PU									
Vazão (m^3h^{-1})	Convencional			Verde			Azul		
	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h	1000 h	2000 h	3000 h
50	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
100	1,36	1,36	0,82	1,36	1,36	0,82	1,36	1,36	0,82
150	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
200	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
250	2,05	2,05	1,34	2,05	2,05	1,34	2,05	2,05	1,34
300	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61

* Valores de velocidade média sombreados correspondem à tarifa de cobrança do grupo A, valores não sombreados grupo B.

De acordo com os resultados obtidos nas Tabelas 16 e 17 para a tubulação de PVC não se verificou variação da velocidade econômica quando analisado a influência do período de funcionamento sobre a mesma, seja quando a adutora opera em 90% do tempo de funcionamento no período fora de ponta úmida (FPU), quando os custos de energia são menores, ou quando opera em 50% do tempo de funcionamento no período de ponta úmida (PU), quando os custos com energia são maiores.

Esse fato pode ser explicado pela menor perda de carga nos tubos de PVC em relação a tubos de aço galvanizado, sendo que, o aumento máximo simulado na proporção do tempo de funcionamento em períodos mais onerosos, no caso 50% FPU e 50% PU, não foi significativo para alterar a velocidade econômica na tubulação de PVC.

4.7 Dimensionamento econômico

Os valores de velocidade econômica encontrados nas diversas situações analisadas variaram entre 0,88 e 2,65 m.s⁻¹ para tubulações de aço galvanizado e entre 0,68 e 2,54 m.s⁻¹ para tubulações de PVC, valores estes próximos dos apresentados em literatura, que consideram velocidades de até 2,6 m.s⁻¹, como apresentado por Azevedo Netto et al. (2002) e Bernardo, Soares e Mantovani (2006).

Para todas as situações analisadas, observa-se que o valor da velocidade econômica é decrescente com um aumento no tempo de funcionamento da adutora, seja para tubulações de aço galvanizado ou para tubulações de PVC. Esse comportamento pode ser explicado, em razão do aumento expressivo no custo com energia de bombeamento (custo variável) que está diretamente relacionado à perda de carga nas tubulações, sendo que, para diminuição da

perda de carga e dos custos provenientes da mesma, é necessário um aumento no diâmetro da tubulação, proporcionando velocidades econômicas menores.

Verificando-se a influência do comprimento da adutora na velocidade econômica, confirmaram-se os resultados obtidos por Perroni (2008), que analisou a influência do comprimento da adutora na velocidade econômica para um mesmo tipo de material da tubulação e tempo de funcionamento, e concluiu que não há influência do comprimento da adutora no valor final da velocidade econômica, pois a variação do comprimento da adutora reflete diretamente nos custos fixos e também nos custos variáveis, não alterando o diâmetro econômico independente dos valores de comprimento.

Comparando-se valores de velocidade econômica entre tubulações de aço galvanizado e tubulações de PVC, observa-se que os valores para tubulações de aço galvanizado são ligeiramente superiores aos obtidos para tubulação de PVC. Esse fato pode ser explicado, tendo em vista o custo unitário de aquisição do tubo de aço galvanizado, de mesmo diâmetro, ser superior ao custo do tubo de PVC, sendo que, para uma mesma vazão, é mais econômico utilizar um tubo de aço galvanizado de menor diâmetro ou um tubo de maior diâmetro para tubulação de PVC.

5 CONCLUSÕES

- a) Para tubulação de aço galvanizado a velocidade econômica varia entre $0,88$ e $2,65 \text{ m.s}^{-1}$ e para tubulação de PVC entre $0,68$ e $2,54 \text{ m.s}^{-1}$;
- b) o valor da velocidade econômica foi decrescente com o aumento no tempo de funcionamento da adutora;
- c) o comprimento da adutora não influencia na velocidade econômica;
- d) aumento no desnível geométrico total provocou diminuição na velocidade econômica e mudança no grupo de cobrança de tarifa energética;
- e) com o aumento da tarifa energética ocorreu uma diminuição da velocidade econômica;
- f) com o aumento do custo da tubulação ocorreu um aumento da velocidade econômica;
- g) a velocidade econômica em tubulações de aço galvanizado foi mais sensível a alterações no período de funcionamento do que tubulações de PVC.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. 8.ed. São Paulo: E. Blücher, 2002. 669p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras tarifárias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758>>. Acesso em: 8 nov. 2014.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Índices da construção civil**. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/index.asp>. Acesso em: 14 nov. 2014.
- CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, F. C. **Instalações de bombeamento para irrigação: hidráulica e consumo de irrigação**. Lavras: UFLA. 2008. 353p.
- CARVALHO, J. A.; REIS, J. B. R. S. Avaliação dos custos de energia de bombeamento e determinação do diâmetro econômico de uma tubulação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p. 411-449, abr./jun. 2000.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Valores de tarifas e serviços**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 20 nov. 2014.
- DERCAS, N.; VALIANTZAS, J. D. Two explicit optimum design methods for a simple irrigation delivery system: comparative application. **Irrigation and Drainage**, New York, v. 61, p. 10-19, Apr. 2012.
- PADOVEZE, C. L. **Contabilidade de custos: teoria, prática, Integração com Sistemas de Informações (ERP)**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 512 p.

PERRONI, B. L. T. **Velocidade econômica de escoamento e composição de custos de sistemas de irrigação por aspersão**. 2008. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. **Tempo de irrigar**: manual do irrigante. São Paulo: Fundação Victor Civita, 1987. 160 p.

SANTOS, G. J. dos; MARION, J. C. **Administração de custos na agropecuária**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1996. 139 p.

ZOCOLER, J. L. **Modelo para dimensionamento econômico de sistemas de recalque em projetos hidroagrícolas**. 1998. 107 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1998.

ZOCOLER, J. L. et al. Modelo para determinação do diâmetro e velocidade de escoamento econômica em sistemas elevatórios de água. In: CONGRESSO TEMÁTICO DE DINÂMICA E CONTROLE DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA APLICADA, 3., 2004, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira: UNESP, 2004. 1 CD-ROM.