



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**
– MESTRADO –

AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO UNIFORME EM CANAIS LISOS E RUGOSOS

Por

Cícero de Souza Nogueira Neto

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba
Outubro - 2020



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
– MESTRADO –**

AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO UNIFORME EM CANAIS LISOS E RUGOSOS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Cícero de Souza Nogueira Neto

Orientador: Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva

**João Pessoa - Paraíba
Outubro - 2020**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N778a Nogueira Neto, Cícero de Souza.

Avaliação de equações para cálculo do escoamento
uniforme em canais lisos e rugosos / Cícero de Souza
Nogueira Neto. - João Pessoa, 2020.
104 f.

Orientação: Tarciso Cabral da Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia civil e ambiental. 2. Escoamento
uniforme. 3. Canais lisos e rugosos. 4. Escoamento
subcrítico. 5. Escoamento supercrítico. 6. Desempenho
de equações. I. Silva, Tarciso Cabral da. II. Título.

UFPB/BC

CDU 624:504(043)

**AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO
UNIFORME EM CANAIS LISOS E RUGOSOS**

CÍCERO DE SOUZA NOGUEIRA NETO
Dissertação aprovada em 16 de outubro de 2020.

Período Letivo: 2020.2


Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva – UFPB
Orientador


Prof. Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira – UFPB
Examinador Interno


Prof. Dr. Lúcio Flávio Ferreira Moreira - UFRN
Examinador Externo

João Pessoa/PB
2020

À minha mãe Joaquina, *in memoriam*, por
todo seu amor e dedicação e aos meus
filhos, Pedro e Maria Alice, que
transbordam meus dias com muito amor e
carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao final desta jornada que foi o mestrado, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma tiveram alguma contribuição:

A Deus, acima de tudo, por me dar forças na batalha diária.

À minha esposa Mairlla Costa que me apoiou o tempo todo, além de segurar a “onda” com nossos filhos sempre que precisei me ausentar para me dedicar à dissertação.

Ao meu pai Josival Pereira, meu maior exemplo de que o conhecimento é uma poderosa arma para melhoria do mundo ao nosso redor, e aos meus irmãos, Josival Júnior, Moisés Pereira e Jonas Gabriel de Araújo, pelos momentos de descontração.

Aos professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, *Campus* Cajazeiras, principalmente os professores e amigos Bruno Medeiros, Katharine Medeiros, Mateus Costa, Teobaldo Júnior e Balduino Sonildo da Nóbrega, que se dispuseram a colaborar com comentários, críticas, conselhos e partilhas. Aproveito também para agradecer aos meus alunos, principal objetivo da busca por mais conhecimento científico e acadêmico, dos quais vale a pena ressaltar a prontidão de Jonas Andrade e Bianca Anacleto.

Aos meus amigos irmãos, Aristóteles Melo (Maninho), Aristófanés Marques (Tofão), Cléber Nepomuceno (Nepó) e suas respectivas famílias, por estarem sempre presentes na minha vida.

À universidade Federal da Paraíba – UFPB, através da Coordenação de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – PPGECAM.

Aos professores do PPGECAM, pelo conhecimento técnico e científico transmitido.

Ao Prof. Tarciso Cabral que com muita sabedoria me orientou neste trabalho. Agradeço pelos ensinamentos e valorosas contribuições, além da compreensão, paciência e apoio durante este período.

Aos membros da banca examinadora, Lúcio Flávio Moreira e Hamilcar Filgueira, pela disponibilidade e participação no aperfeiçoamento deste trabalho.

Enfim, a todos aqueles que participaram de alguma maneira, seja com uma palavra de apoio, incentivo ou em questões mais complexas, mas que, por um descuido momentâneo, acabei me esquecendo de mencioná-los. Muito obrigado!

RESUMO

Desde a equação pioneira, desenvolvida por Chézy no século XVIII, tem-se buscado por novas formulações para representação do escoamento uniforme em canais abertos. Assim, até o século XX, diversos pesquisadores introduziram novos parâmetros a essa equação, relativos à rugosidade das paredes e ao fator de forma do canal. A partir dos conceitos sobre turbulência do escoamento, nas primeiras décadas do século XX, novas equações surgiram com outros parâmetros, buscando a melhoria da performance no cálculo da vazão. Este trabalho teve como objetivo mostrar a avaliação realizada sobre o desempenho de equações explícitas, clássicas e contemporâneas, para o cálculo das vazões em canais de diferentes seções transversais para escoamento uniforme. Buscou-se também avaliar os desempenhos das equações considerando os critérios de escoamento relativamente raso e profundo, hidraulicamente liso e rugoso e nos regimes subcrítico e supercrítico. Um grande conjunto de dados experimentais foi utilizado para as avaliações. A metodologia empregada consistiu em comparar as vazões calculadas com as medidas utilizando as formulações clássicas, baseadas na expressão de Chézy, que foram desenvolvidas no século XIX, por Ganguillet e Kutter, Manning e Bazin, e no século XX por Pimenta. Também foram avaliadas as equações desenvolvidas na década atual por Cheng e por Cabral da Silva, baseadas na correção do fator de atrito de Darcy-Wiesbach e na teoria da turbulência de Prandtl. O desempenho de cada equação foi determinado por meio dos indicadores, frequência dos menores desvios, coeficientes angular e de determinação das linhas de tendência das vazões calculadas, e o *Mean Absolute Relative Error* (MARE). Os resultados apontaram que as equações mais recentes, de Cheng para canais retangulares lisos, e a de Cabral da Silva, para as demais seções transversais, foram as que produziram os melhores indicadores de desempenho, destacando-se os menores MAREs com médias iguais a 0,83% e 2,66%, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: escoamento uniforme, canais lisos e rugosos, escoamento subcrítico e supercrítico, desempenho de equações.

ABSTRACT

Since the pioneering equation, developed by Chézy in the 18th century, there has been a search for new formulations to represent the uniform open-channel flow. Thus, until the 20th century, several researchers introduced new parameters related to the roughness of the walls and the shape factor of the channel to this equation. From the concepts of turbulent flow, in the first decades of the 20th century, new equations emerged with other parameters, seeking to improve the flow calculation performance. The present work aimed to assess the performance of classical and contemporary explicit equations for the calculation of the flow rate for uniform flow in channels of varied cross-sections. It also aimed to assess the best performance when considering equations for flows classified as relatively shallow or deep, hydraulically smooth or rough, and in subcritical or supercritical regimes. An extensive set of experimental data was used for the evaluations. The methodology consisted of comparing measured and calculated flow rates using the classical equations developed by Ganguillet and Kutter, Manning, and Bazin on the nineteenth century, and on the twentieth century by Pimenta, all based on the Chézy formula. Additionally, the calculations were performed using the equations developed in the current decade by Cheng and by Cabral da Silva, both based on the Darcy-Weisbach friction factor and on the Prandtl turbulence theory. The performance of each equation was determined using indicators, the frequency of smallest deviations, gradients and coefficients of determination of the linear regressions of the calculated flows and the Mean Absolute Relative Error (MARE). The results indicate that the most recent equations, which are Cheng for smooth rectangular channels and Cabral da Silva for the remaining cross-sections, presented the best performance indicators, highlighting the lowest MARE values of 0.83% and 2.66%, respectively.

KEYWORDS: uniform flow, smooth and rough channels, subcritical and supercritical flow, equation performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Valores do MARE usando os coeficientes de rugosidades tabelados ¹	28
Figura 2 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais circulares de concreto (CC135): a) GK e GMS, b) B e c) P e CS.....	29
Figura 3 - Comparação entre vazões calculadas e medidas para os dados utilizados: a) antes da calibração dos coeficientes de rugosidade e b) após a calibração (otm).....	30
Figura 4 - Frequências da relação Q_c/Q_o em função da faixa percentuais de erros.....	31
Figura 5 - Frequências da relação Q_c/Q_o em função da faixa de erros (%): a) Lisos e b) Rugosos.....	32
Figura 6 - Q_c/Q_o em função de y/b para canais retangulares de aço (AR6): a) GMS e b) CS	33
Figura 7 - Frequência (%) de Q_c/Q_o em função de y/b : a) $y/b < (y_{m\acute{a}x}/b)/2$ e b) $y/b \geq (y_{m\acute{a}x}/b)/2$	34
Figura 8 - Frequências de Q_c/Q_o em função das faixas percentuais de erros, para dados do escoamento em regime subcrítico	35
Figura 9 - Frequências de Q_c/Q_o em função das faixas percentuais de erros, para dados do escoamento em regime supercrítico.....	36
Figura 10 - Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais retangulares de aço (AR6): a) B e b) CH.....	37
Figura 11 - Comparação entre os coeficientes angulares e de determinação das linhas de tendências $Q_o = Q_c$: a) Coeficiente angular a e b) Coeficiente de determinação R^2	37
Figura 12 - Gráfico dos resultados dos MAREs ótimos para cada formulação e conjunto de dados	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores para c de Bazin, conforme natureza das paredes	18
Tabela 2 - Valores de β em função de y/b conforme a geometria do canal	19
Tabela 3 - Dados experimentais brutos, consistidos, parâmetros de resistência adotados e principais características dos dados consistidos	26
Tabela 4 - Coeficientes de rugosidade ótimos.....	29
Tabela 5 - Valores médios dos MAREs	39
Tabela 6 - Desempenho das equações de acordo com os critérios de análise	40

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Velocidade média do escoamento (m/s)
C	Coefficiente de resistência ($m^{0,5}/s$)
R_H	Raio hidráulico do escoamento (m)
i	Declividade longitudinal do fundo do canal ou da linha d'água
D	Diâmetro do conduto (m)
Q	Vazão do canal (m^3/s)
A	Área da seção transversal do escoamento (m^2)
C_{GK}	Coefficiente de resistência de Ganguillet Kutter ($m^{0,5}/s$)
n_K	Coefficiente de rugosidade de Kutter ($s^{0,5}$)
C_{GMS}	Coefficiente de resistência de Gauckler-Manning-Strickler ($m^{0,5}/s$)
n_M	Coefficiente de rugosidade de Manning ($s/m^{1/3}$)
C_B	Coefficiente de resistência de Bazin ($m^{0,5}/s$)
c	Coefficiente de rugosidade de Bazin (s)
β	Coefficiente de forma de Pimenta
y	Altura da lâmina d'água (m)
b	Largura do canal (m)
C_P	Coefficiente de resistência de Pimenta ($m^{0,53}/s$)
g	Aceleração da gravidade (m/s^2)
D_H	Diâmetro hidráulico (m)
ε	Rugosidade absoluta das paredes do conduto ou canal (m)
w	Coefficiente de forma de Cheng
α	Razão de aspecto
f_{CH}	Fator de atrito de Cheng
Re	Número de Reynolds
ν	Viscosidade cinemática (m^2/s)
V_{CH}	Velocidade média do escoamento de Cheng (m/s)
ψ	Parâmetro de forma
ψ_1	Parâmetro de forma de Kazemipour calculado
ψ_2	Parâmetro de forma de Kazemipour obtido graficamente
f_c	Fator de atrito para canais abertos
f	Fator de atrito para tubos pressurizados
Δh	Perda de carga (m)

L	Comprimento do canal (m)
V_{CS}	Velocidade média do escoamento Cabral e Silva (m/s)
m	Quantidade de vazões calculadas e observadas (unidade)
Q_c	Vazão calculada (m ³ /s)
Q_o	Vazão observada (m ³ /s)
n	Coefficiente de rugosidade de Manning ou Kutter
k_s	Rugosidade absoluta das paredes do conduto ou canal (m)
Fr	Número de Froude
a	Coefficiente angular da equação da reta
θ	Coefficiente linear da equação da reta
R^2	Coefficiente de determinação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1	Coleta de dados	22
3.2	Análise da consistência dos dados	22
3.3	Calibração dos Coeficientes de Rugosidade.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1	Características gerais dos dados utilizados	25
4.2	Determinação dos coeficientes de rugosidade ótimos.....	27
4.3	Avaliação das formulações.....	30
4.3.1	Análise de desempenho das formulações para o cálculo das vazões.....	30
4.3.2	Desempenho das equações para escoamento liso e rugoso	31
4.3.3	Desempenho das equações quanto à profundidade relativa.....	32
4.3.4	Desempenho das formulações para os regimes subcrítico e supercrítico.	34
4.3.5	Desempenho relativo ao ajuste à reta $Q_c = Q_o$	36
4.3.6	Desempenho das formulações com base nos MAREs ótimos	38
4.3.7	Desempenho geral das formulações	39
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXO I.....	46
	APÊNDICE A	66
	APÊNDICE B.....	68
	APÊNDICE C	82
	APÊNDICE D	90

1 INTRODUÇÃO

Desde as últimas décadas do século XVIII pesquisadores tem discutido acerca do escoamento da água em canais abertos, com objetivo de se obter equações que representassem a relação entre a vazão e características físicas do escoamento.

Neste sentido, é necessário destacar o pioneirismo do engenheiro francês Antoine de Chézy, um dos primeiros pesquisadores a ter uma ideia do regime uniforme e propôs, em 1769, uma fórmula para o cálculo da velocidade média na seção transversal, em função da seção molhada, do perímetro molhado, da declividade do leito e um coeficiente de resistência ao escoamento C (HAGER, 2001).

Após o surgimento da fórmula de Chézy, vários cientistas também buscaram estudar o efeito das perdas de carga em canais, entre eles: Dubuat, Prony, Eytelwain, Tadine, Courtois, Saint Venant e muitos outros. No entanto, coube a Darcy mostrar a grande influência que a rugosidade das paredes exerce sobre a perda de carga em condutos, por meio da fórmula de Darcy-Weisbach. Uma expressão utilizada até os dias de hoje e conhecida como a equação universal de perda de carga (PIMENTA, 1966).

Assim, muitas equações matemáticas, dos tipos empíricas e semiempíricas, foram desenvolvidas, a maioria baseadas na conhecida equação de Chézy (LIMA, 2013; PEREIRA MAIA & CABRAL DA SILVA, 2016). Contudo, ao representar a geometria da seção transversal, essas equações não levavam em consideração a distribuição não uniforme da tensão de cisalhamento na superfície molhada do canal, o que vem afetar a determinação da resistência ao escoamento. No caso, o conceito de raio hidráulico baseia-se na hipótese simplista de que a distribuição da tensão cisalhante ao longo do perímetro molhado da seção transversal do canal é uniforme. Isto implica no argumento, não verdadeiro, de que dois canais de diferentes formas, tendo a mesma declividade longitudinal e a mesma natureza e configuração do material das paredes e de fundo, devem produzir igual velocidade média no escoamento uniforme se os raios hidráulicos dos dois canais tiverem o mesmo valor (SHIH & GRIGG, 1967; LIMA, 2013).

O escoamento uniforme permanente em canais livres difere do escoamento em condutos circulares pressurizados devido, principalmente, à ausência de simetria da seção transversal e o comportamento na fronteira do escoamento da superfície livre. Em seções mais complexas, como de rios, ocorrem também variações da rugosidade ao longo do perímetro molhado e a sinuosidade, além das mudanças bruscas quanto à geometria no

caso de escoamento na seção principal do rio e nas planícies de inundação, com altas taxas de transferências transversais de quantidade de movimento (FERNANDES et al., 2015).

Até o surgimento da teoria da turbulência devido a von Kármán e Prandtl, as fórmulas para a velocidade média em canais tinham praticamente o mesmo formato da equação de Chézy e diferiam apenas no coeficiente de resistência C . Dentre elas, destacaram-se as equações de Ganguillet e Kutter (1869), Manning (1890) também conhecida como Gauckler-Manning-Strickler (GMS) e Bazin (1897).

O problema maior dessas formulações reside na desconsideração dos efeitos das correntes de circulação. Presentes no escoamento uniforme devido à assimetria da seção transversal do canal, as correntes de circulação aumentam a resistência ao escoamento e, por conseguinte, o fator de atrito em canais abertos (MONTES, 1998; CHENG et al., 2011; BA TUYEN & CHENG, 2012; ALBUQUERQUE, 2017).

Outra fórmula, ainda baseada na clássica equação de Chézy, foi desenvolvida por Pimenta (1966), um pesquisador brasileiro que relacionou diferentes parâmetros em função da geometria da seção transversal para escoamento uniforme em canais. Tal pesquisa pode ser considerada como um avanço nos estudos dos efeitos da forma do canal no cálculo da vazão.

Percebendo a inadequação do uso do fator de atrito para tubos pressurizados em expressões para escoamento uniforme em canais, Kazemipour & Apelt (1980) desenvolveram um método semianalítico em que é considerado o maior gasto energético, traduzido em um fator de atrito maior para canais, em relação ao de tubos pressurizados. A relação entre os fatores de atrito, segundo estes autores, depende da geometria do canal, da profundidade relativa e da relação entre o perímetro molhado e o raio hidráulico. Nessa formulação, o denominado fator de forma corrige o fator de atrito para tubos lisos pressurizados, visando a aplicação a canais abertos. A partir do trabalho destes autores, outros pesquisadores adotaram o chamado “método de Kazemipour”, entre os quais Goldfarb e Cabral da Silva (2007) que deduziram uma equação para velocidade média em canais circulares lisos, comparando os resultados com os da equação de Manning, tendo obtido melhor desempenho.

Cheng et al. (2011) desenvolveram uma equação para determinação do fator de atrito e velocidade média em canais retangulares lisos, que foi validada através do trabalho de Ba Tuyen & Cheng (2012), baseado em dados experimentais, e obtiveram resultados considerados bastante satisfatórios.

Já Cabral da Silva et al. (2015) desenvolveram uma equação explícita para a velocidade média de canais lisos e rugosos, que incorpora os efeitos das correntes secundárias considerando o parâmetro de forma ψ nas equações de Darcy-Weisbach e de Colebrook-White. Essa equação foi aplicada para dados experimentais de escoamento em canais retangulares lisos e triangulares rugosos, tendo apresentado resultados melhores do que os obtidos com uso da equação de Manning.

Outros autores têm mantido análises, discussões (FERNANDES et al., 2015; FENTON, 2016) e pesquisas sobre o cálculo do escoamento uniforme em canais, a exemplo de Vatankhah (2015), Vatankhah et al. (2015), Zeng et al. (2015), Bonetti et al. (2017), Lim (2018), Luo et al. (2018), Pradhan & Khatua (2018) e Zhao (2019).

A essa altura, se formula a seguinte hipótese: houve evolução, traduzida em melhor desempenho no cálculo das vazões, das equações desenvolvidas por Cabral da Silva (2015) e por Cheng et al. (2011) em relação às expressões clássicas do século XIX e XX.

Por análise de desempenho, neste trabalho, deve ficar claro que se trata da busca das fórmulas que apresentam as maiores frequências percentuais de vazões calculadas com os menores desvios em relação às observadas.

Portanto, a pesquisa relatada neste trabalho teve o objetivo de realizar uma avaliação comparativa do desempenho de equações de características explícitas, clássicas e contemporâneas, para o cálculo das vazões em escoamento uniforme em canais de diferentes seções, hidraulicamente lisos e rugosos, em regime turbulento, subcrítico e supercrítico.

Os objetivos específicos se referem à: i) obtenção de dados de escoamento uniforme em canais de laboratórios de hidráulica do Brasil e de outros países; ii) realização da análise de consistência dos conjuntos de dados visando a exclusão daqueles que apresentavam incongruência com o sistema físico do escoamento; iii) pesquisa sobre os coeficientes de rugosidade otimizados para cada equação para cálculo da vazão e conjunto de dados; iv) avaliação comparativa do desempenho das equações para o cálculo da vazão considerando os conjuntos dos atributos: escoamentos relativamente rasos e profundos; hidraulicamente lisos e rugosos; e os regimes subcrítico e supercrítico.

A dissertação está estruturada da seguinte forma: Capítulo 1 referente à Introdução do trabalho; no Capítulo 2 está contemplada a Fundamentação Teórica, com destaque para a descrição das equações para o cálculo da vazão que são utilizadas neste trabalho; no Capítulo 3 são apresentados os Materiais e Métodos; o Capítulo 4 contém os Resultados e

Discussões; as Conclusões e Recomendações fazem parte do Capítulo 5 e, finalmente, as Referências, os Anexos e Apêndices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme a evolução do conhecimento da mecânica dos fluidos, com destaque para as equações de Darcy-Weisbach, desenvolvida no final da década de 1880, e a teoria da turbulência devido a Prandtl e von Kármán em meados da década de 1920 (KNIGHT, 2013), começou-se uma busca no sentido de utilizar os novos conceitos para o cálculo do escoamento em canais abertos. Então, diversas equações passaram a ter o uso prático na engenharia hidráulica, principalmente após o final do século XIX, sendo que algumas delas tem tido uso até os dias de hoje, como a fórmula de Manning, utilizada inclusive em modelos matemáticos da atualidade para cálculos de vazão, perfis de linha d'água, entre outros objetivos da hidráulica fluvial.

As expressões de Ganguillet e Kutter (1869), Manning (1890) ou GMS, Bazin (1897) e Pimenta (1966) desenvolvidas, com auxílio de dados experimentais de escoamento uniforme em canais, constituem formulações explícitas para determinação do coeficiente de resistência C existente na equação da velocidade média proposta por Chézy (Equação 1):

$$V = C\sqrt{R_H \cdot i} \quad (1)$$

Onde V = velocidade média na seção transversal, m/s; C = coeficiente de resistência de Chézy, $m^{0.5}/s$; R_H = raio hidráulico, dado pela razão entre a área molhada e o perímetro molhado da seção, em metros, também é equivalente a um quarto do diâmetro do tubo ($R_H = D/4$), e i = declividade do fundo do canal ou da linha d'água, m/m;

A vazão volumétrica para cada um dos modelos é dada pela Equação 2.

$$Q = VA \quad (2)$$

Onde Q = vazão do canal, m^3/s , e A = área molhada na seção transversal, m^2 .

A Equação 3, fórmula de Ganguillet e Kutter (1869), trata-se de uma expressão que utiliza um coeficiente n , determinada por Kutter em escoamentos experimentais, variando conforme o tipo de material empregado nas paredes de canais ou tubulações, o raio hidráulico e inclui a declividade i em uma expressão para o cálculo do coeficiente de resistência C .

$$C = C_{GK} = \frac{23 + \frac{1}{n_K} + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i}\right) \cdot \frac{n_K}{\sqrt{R_H}}} \quad (3)$$

Onde C_{GK} = coeficiente de resistência de Ganguillet e Kutter, $m^{0.5}/s$; n_K = coeficiente de Kutter (valor tabelado conforme material das paredes do canal), $s^{0.5}$.

A clássica equação de Manning (1890), também pode ser encontrada na literatura através das iniciais dos seus principais desenvolvedores e contribuintes, Gauckler-Manning-Strickler (GMS). Segundo Hager (2015), esta formulação foi apresentada inicialmente por Gauckler (1868), ganhou visibilidade através de Manning (1890), mas que, posteriormente, teve estudo aprofundado por Strickler (1923). A vasta disseminação desta fórmula se deu devido a contribuição de diversos autores, dentre eles estão o trabalho de Flamant (1900), assim como a discussão nos livros de King (1922) e Chow (1959).

Estes autores desenvolveram uma expressão simplificada para o coeficiente C de Chézy (Equação 4), na forma exponencial, em função do R_H e de um parâmetro n muito semelhante ao de Kutter.

$$C = C_{GMS} = \frac{1}{n_M} (R_H)^{\frac{1}{6}} \quad (4)$$

Onde C_{GMS} = coeficiente de resistência de Gauckler-Manning-Strickler, $m^{0,5}/s$, e n_M = coeficiente de Manning (valor tabelado conforme material das paredes do canal), $s/m^{1/3}$.

A equação desenvolvida por Bazin (1897) possui características semelhantes à de Manning. Neste caso, o autor propõe a substituição do C de Chézy por uma expressão (Equação 5) que carrega, além do raio hidráulico, um coeficiente próprio c , que depende da aspereza das paredes do canal, variando seu valor em seis categorias, indicado na Tabela 1.

$$C = C_B = \frac{87}{1 + \frac{c}{\sqrt{R_H}}} \quad (5)$$

Onde C_B = coeficiente de resistência de Bazin, $m^{0,5}/s$, e c = coeficiente de Bazin, s.

Tabela 1 - Valores para c de Bazin, conforme natureza das paredes

Categoria	c	Natureza ou tipo da parede
1 ^a	0,06	muito lisa (cimento liso, madeira aparelhada, etc.)
2 ^a	0,16	lisa (tábuas, manilhas cerâmicas, alvenaria rejuntada)
3 ^a	0,46	alvenaria de pedra bruta
4 ^a	0,85	natureza mista (parte revestida, parte em terra)
5 ^a	1,30	terra em condições ordinárias
6 ^a	1,75	terra apresentando rugosidade excepcionais

Fonte: adaptado de King (1922).

Outra equação considerada nesse trabalho foi desenvolvida por Carlito Flávio Pimenta, um pesquisador brasileiro que dedicou boa parte dos seus estudos aos escoamentos à superfície livre, trazendo relevantes contribuições. Pimenta (1966) introduz em seu modelo (Equação 6), uma expressão cuja variável empírica β depende da profundidade relativa y/b e da forma da seção molhada do canal (Tabela 2), aplicada em

casos de regime turbulento hidraulicamente rugoso e que, de forma geral, apresenta limitações semelhantes aos da expressão encontrada por von Kármán e Prandtl para condutos forçados.

$$C = C_P = (R_H \cdot i)^{0,03} \sqrt{g} \left(6,466 \log \frac{D_H}{\varepsilon} + \beta \right) \quad (6)$$

Onde C_P = coeficiente de resistência de Pimenta, $m^{0,53}/s$; g = aceleração da gravidade, igual a $9,81 \text{ m/s}^2$; D_H = diâmetro hidráulico, equivalente a quatro vezes o raio hidráulico ($D_H = 4 \cdot R_H$), m; ε = rugosidade absoluta, que depende do material das paredes, m, e β = coeficiente de forma de Pimenta, adimensional.

Tabela 2 - Valores de β em função de y/b conforme a geometria do canal

y/b	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
$\beta_{\text{retangular}}$	1,37	2,57	3,15	3,46	3,65	3,77	3,80	3,80	3,80
β_{circular}	-	2,87	3,20	3,27	3,40	3,47	-	-	-
$\beta_{\text{trapezoidal}}$	-	3,40	3,77	3,94	4,10	4,25	4,37	4,50	4,60

Fonte: Adaptado de Pimenta (1966).

Pimenta (1966) adotou ainda $\beta = 5,17$ para seções triangulares e $\beta = 1,37$ para seção retangular de largura infinita.

Uma observação deve ser feita em relação à unidade do C_P , um pouco diferente da unidade que seria a adequada para uso na fórmula de Chézy. O autor considerou necessária a introdução da relação $(R_H \cdot i)^{0,03}$ que explica a pequena diferença da unidade que seria a estritamente correta.

Para possibilitar o cálculo abrangendo toda a faixa de valores deste estudo, foram feitas curvas ajustadas de β (Apêndice A), por meio dos dados da Tabela 2, para valores de y/b entre 0,00 e 0,80, além de considerar β constante, igual a 3,80, quando a y/b for superior a 0,80 em canais retangulares. Já, para canais circulares, a curva ajustada contempla valores de y/D entre 0,00 e 0,50, com $\beta = 3,47$ para profundidades relativas maiores que 0,5.

Em relação às novas equações que diferem do grupo relacionado ao formato da equação de Chézy, são destacadas as equações devido a Cheng et al. (2011) e Cabral da Silva et al. (2015), em que consideram a equação de Darcy-Weisbach com fator de atrito corrigido para escoamento em canais abertos.

Cheng et al. (2011) desenvolveram um procedimento para a avaliação do atrito em canais retangulares lisos modificando a lei de atrito de Prandtl. Na expressão destes autores, o fator de atrito no canal (Equação 7), é dado em função do número de Reynolds e

da variável w que depende da razão de aspecto ($\alpha = b/y$), definida pela razão entre a largura do canal b e a altura da lâmina d'água y , ambos em metros.

$$f_{CH} = 0,33 \left[\log \left(0,11 Re \frac{1+w}{w} e^{-\frac{1}{2w}} \right) \right]^{-2} \quad (7)$$

Onde f_{CH} = fator de atrito do canal de Cheng et al. (2011), adimensional; $w = \alpha/2$ para $\alpha \geq 2$ e $w = 2/\alpha$ para $\alpha < 2$, e Re = número de Reynolds, adimensional, conforme a Equação 8.

$$Re = \frac{4R_H V}{\nu} \quad (8)$$

Onde ν é a viscosidade cinemática da água, m²/s.

A velocidade média (Equação 9) é calculada, substituindo o fator de atrito do canal f_{CH} na fórmula de Darcy-Weisbach.

$$V_{CH} = \sqrt{\frac{8gR_H i}{0,33 \left[\log \left(0,11 Re \frac{1+w}{w} e^{-\frac{1}{2w}} \right) \right]^{-2}}} \quad (9)$$

Onde V_{CH} = velocidade média na seção de Cheng et al. (2011), m/s.

De acordo com Albuquerque (2017), a equação desenvolvida por Cabral da Silva et al. (2015) leva em conta os efeitos das correntes de circulação no aumento das perdas de carga do escoamento uniforme em canais e insere o parâmetro de forma da metodologia desenvolvida por Kazemipour & Apelt (1980), para o cálculo do escoamento turbulento uniforme em canais lisos, a partir das equações de perda de carga para tubos pressurizados.

O método de Kazemipour insere um coeficiente adimensional, chamado parâmetro de forma ψ , ao fator de atrito usado em equações para tubos pressurizados (Equação 10). Esse parâmetro é desmembrado em outros dois parâmetros, ψ_1 e ψ_2 . O primeiro depende do perímetro molhado e da largura do topo do canal, enquanto o segundo parâmetro necessita de uma análise gráfica para determinação do seu valor, dado em função da razão de aspecto b/y .

$$f_c = \psi f \quad (10)$$

Onde f_c = fator de atrito para canais em escoamento uniforme, devido à fórmula da perda de carga universal de Darcy-Weisbach (Equação 11), adimensional, e f = fator de atrito para tubulações pressurizadas devido à Colebrook-White (Equação 12).

$$\Delta h = f_c \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \Rightarrow f_c = 4R_H i \frac{2g}{V^2} \quad (11)$$

Onde Δh = perda de carga, m; L = comprimento do canal, m, e $\Delta h/L$ = inclinação i do canal;

$$f = \left[-2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \quad (12)$$

Embora concebido para escoamento em canais lisos, Cheng et al. (2011) indicam o uso do fator de forma de Kazemipour também para canais rugosos.

A simplificação do método Kazemipour, sugerida por Cabral da Silva et al. (2015), consiste em, baseado nas conclusões de trabalhos com dados experimentais, adotar valores constantes para o parâmetro de forma, a depender do tipo de seção do canal analisado.

O cálculo da velocidade média (Equação 13) é feito por Cabral da Silva et al. (2015) por meio do desenvolvimento das equações 10, 11 e 12.

$$V_{CS} = \frac{1}{\sqrt{\psi}} \left[-\sqrt{32gR_H i} \cdot \log \left(\frac{K_S}{14,8R_H} + \frac{1,255v}{R_H \sqrt{32gR_H i}} \right) \right] \quad (13)$$

Onde V_{CS} = velocidade média no canal de Cabral da Silva et al. (2015), m/s, e $K_S = \varepsilon$ = rugosidade absoluta, que depende do material das paredes, m.

Alguns autores indicaram valores do parâmetro de forma ψ segundo as características da seção transversal do canal, que influem fortemente na configuração das correntes de circulação. Goldfarb & Cabral da Silva (2007) e Albuquerque (2017) adotaram 1,10, em seus trabalhos com canais circulares. Lima (2013) utilizou $\psi = 1,16$ em sua pesquisa com canais de seção transversal triangular e Cabral da Silva et al. (2015) mantiveram os valores de 1,16 e 1,10 em suas análises envolvendo canais triangulares e retangulares, respectivamente.

Vale salientar que estas duas últimas metodologias citadas, diferem das demais, uma vez que não utilizam o coeficiente de resistência C , nem se utilizam do cálculo da velocidade média por meio da equação de Chézy.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritas as etapas de coleta de dados e sua análise de consistência, além da calibração dos coeficientes de rugosidade a partir das equações de Ganguillet e Kutter (1869), Manning (1890) ou GMS, Bazin (1897), Pimenta (1966), Cheng et al. (2011) e Cabral da Silva et al. (2015) para o cálculo da vazão em canais, explicitadas no capítulo anterior.

3.1 Coleta de dados

As informações utilizadas neste estudo foram extraídas, por meio de pesquisa bibliográfica, de dados experimentais de vários autores para canais circulares, de concreto (YARNELL & WOODWARD, 1920; WILCOX, 1924; STRAUB & MORRIS, 1951), de cerâmica (YARNELL & WOODWARD, 1920; WILCOX 1924), de PVC (NEALE & PRICE, 1964) e de cimento amianto (KAZEMIPOUR & APELT, 1980); retangulares, de aço (TRACY & LESTER, 1961) e de vidro (CHENG et al., 2011; BA TUYEN & CHENG, 2012) e triangulares revestidos com areia (PIMENTA, 1966). Buscou-se diversificar as condições que poderiam influenciar nos resultados, como a seção transversal, o material das paredes do canal, entre outros. Os dados utilizados destes autores se referem à escoamento uniforme turbulento em canais de laboratórios, abrangendo os regimes subcrítico e supercrítico.

3.2 Análise da consistência dos dados

Esta etapa teve o objetivo de desconsiderar os dados que possam ter sido afetados por erros originários do processo de medição de vazões ou de níveis d'água.

A análise de consistência empregada neste estudo foi feita com base nos valores do fator de atrito. Segundo Cabral da Silva et al. (2015), o fator de atrito para tubulações pressurizadas f deve ser menor do que o fator de atrito para canais f_c , à mesma velocidade e com diâmetro do tubo equivalente a quatro vezes o raio hidráulico do canal ($D = 4.R_H$). O motivo dessa afirmação derivada desuniformidade da tensão de cisalhamento ao longo do perímetro molhado do canal, que está relacionada ao aparecimento de correntes de circulação com dissipação adicional de energia. Portanto, adotando esta premissa, os dados que apresentaram a relação f_c/f inferior ou igual à unidade, foram descartados do conjunto a ser considerado na análise objeto da pesquisa.

Segundo a avaliação feita por Albuquerque (2017), deve-se desconsiderar também, dados em que a relação f_c/f seja superior à 1,4. Neste caso, o descarte de dados foi justificado uma vez que esta relação não chega a este patamar e o modelo matemático para f_c/f indicou valores aproximadamente constantes de acordo com a seção transversal do canal (GOLDFARB & CABRAL DA SILVA, 2007; CABRAL DA SILVA & ABREU, 2013).

Dados obtidos em épocas mais recentes devem, em princípio, ter melhor qualidade uma vez que são disponíveis mais modernos e melhores equipamentos de medição de vazão, profundidade e declividade.

O cálculo do fator de atrito f_c para canais em escoamento uniforme, foi feito com base na fórmula universal de perda de carga de Darcy-Weisbach (Equação 11). Já no cálculo do fator de atrito f , foi usada a equação implícita de Colebrook-White (Equação 12), proposta em 1937, que segundo Brkić & Čojbašić (2016) é, até o momento, considerada com um padrão amplamente aceito para o cálculo do fator de atrito em tubos pressurizados, devido a sua precisão.

3.3 Calibração dos Coeficientes de Rugosidade

Os valores resultantes do cálculo das vazões, para cada formulação aplicada, foram submetidos a uma comparação com as vazões observadas obtidas dos dados experimentais. A diferença dada entre uma vazão calculada com a sua correspondente vazão medida no experimento gerou um erro em valores absolutos. A razão entre esse erro absoluto, em módulo, e a mesma vazão medida ou observada proporcionou um erro relativo, em valores percentuais, e a média dos erros relativos resultou no erro absoluto relativo médio – MARE (Equação 14), sigla advinda do termo original em inglês, que significa *Mean Absolute Relative Error*.

$$MARE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|Q_{c_i} - Q_{o_i}|}{Q_{o_i}} \times 100 \quad (14)$$

Onde $MARE$ = Erro absoluto relativo médio, %; Q_c = vazão calculada, m³/s; Q_o = vazão observada, m³/s, e m = número de vazões calculadas e observadas.

Evidentemente, a equação que produzir o menor valor de MARE, a partir da variação dos coeficientes de rugosidade, expressa o seu correto valor, ou valor ótimo, a ser utilizado nas equações para o cálculo da vazão.

Vale ressaltar que essa metodologia parte da premissa que os valores observados possuem obviamente erros menores, pois os dados brutos medidos, que poderiam comprometer a veracidade dos resultados, já foram excluídos da base utilizada devido a análise de consistência realizada no conjunto dos dados.

Determinar valores otimizados para os MAREs exige a determinação dos coeficientes de rugosidade adequados. Então, foi realizado um procedimento com uso de processo iterativo para cada conjunto de dados de escoamento de canais com diferentes materiais empregados nas paredes do canal e formulações aplicadas, com o objetivo de encontrar os valores dos coeficientes n_K , n_M , c e K_S que produzirem, em média, as menores diferenças entre as vazões calculadas e observadas. Em resumo, os novos valores dos coeficientes forneceram os menores MAREs, ou os valores ótimos, para cada conjunto de dados que são então considerados em cada formulação e comparados para avaliar a sua eficiência para o cálculo da vazão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Características gerais dos dados utilizados

Na Tabela 3 constam a identificação da origem dos dados (ID), o material de revestimento das paredes e a geometria do canal, os números de dados brutos e os validados para a pesquisa devido à análise de consistência realizada, os valores mínimos, médios e máximos da relação f_c/f , os coeficientes de rugosidades n , c e K_s , as principais características dos dados experimentais validados, os valores mínimos e máximos de diâmetros D para os canais circulares, larguras da base b para canais retangulares ou de topo para triangulares, profundidades y , declividades i , vazões observadas Q_o , profundidades relativas (y/D ou y/b), os números de Froude Fr e de Reynolds Re . Os dados de vazão e profundidade relativa estão representados pelos valores mínimos, máximos e a mediana (MD). É possível visualizar o detalhamento dos dados consistidos no Anexo I.

Tabela 3 - Dados experimentais brutos, consistidos, parâmetros de resistência adotados e principais características dos dados consistidos

Material Seção (ID)	Ref. (*)	Análise de consistência						Coeficientes de Rugosidade			D ou b (m)	y (m)	i (–)	Q_o (m³/s)	y/D ou y/b	Fr (–)	Re (–)		
		Número de dados		f_c/f							(x10 ⁻²)	(x10 ⁻²)	(x10 ⁻³)	(x10 ⁻²)	(–)		(x10 ⁴)		
		Brutos	Validados	(%)	mín	médio	máx	n	K_s (x10 ⁻⁵)	c	min-máx	min-máx	min-máx	min-máx	MD	min-máx	MD	min-máx	min-máx
Concreto Circular (CC135)	1	299																	
	3	37	103	29,6	1,01	1,14	1,36	0,013	170	0,16	10,15-30,48	3,84-24,93	0,50-40,00	0,07-6,06	0,62	0,23-0,98	0,49	0,17-1,90	1,79-56,60
	5	12																	
Cerâmica Circular (CEC24)	2	276																	
	4	40	136	43,0	1,03	1,24	1,40	0,013	15	0,16	10,15-30,48	3,60-30,05	0,50-15,00	0,16-8,84	2,55	0,24-1,00	0,79	0,19-1,61	2,09-60,71
PVC Circular (PC7)	7	40	37	92,5	1,01	1,15	1,26	0,012	0,152	0,06	20,33-30,48	5,15-19,99	3,00-10,50	0,56-12,24	2,68	0,21-0,84	0,45	0,70-1,75	9,90-84,51
Amianto Circular (AC9)	9	80	80	100	1,05	1,15	1,24	0,012	1,8	0,06	38,00-38,00	3,62-16,11	0,52-6,04	0,38-4,95	1,75	0,10-0,42	0,29	0,31-1,33	6,12-41,83
Areia Ks ₁ Triangular (A1T8)	8	45	11	24,4	1,01	1,14	1,39	0,011	50	0,16	7,74-31,80	3,87-15,90	2,08-14,88	0,05-4,00	0,20	0,50-0,50	0,50	0,36-1,27	1,54-35,23
Areia Ks ₂ Triangular (A2T8)	8	71	38	53,5	1,004	1,15	1,34	0,0124	100	0,16	7,54-45,80	3,77-22,90	1,02-29,86	0,05-8,00	1,00	0,50-0,50	0,50	0,25-1,66	1,33-59,55
Areia Ks ₃ Triangular (A3T8)	8	68	20	29,4	1,01	1,12	1,31	0,0139	200	0,16	10,24-32,64	5,12-16,32	0,76-29,93	0,05-2,00	0,35	0,50-0,50	0,50	0,19-1,43	1,19-24,39
Areia Ks ₄ Triangular (A4T8)	8	68	38	55,9	1,01	1,16	1,36	0,0149	300	0,16	6,42-38,70	3,21-19,35	2,11-29,80	0,05-2,00	0,20	0,50-0,50	0,50	0,27-1,34	1,37-23,73
Areia Ks ₅ Triangular (A5T8)	8	68	26	38,2	1,01	1,12	1,35	0,0156	400	0,46	10,70-45,24	5,35-22,62	0,96-29,79	0,05-8,00	0,50	0,50-0,50	0,50	0,19-1,39	1,19-55,45
Areia Ks ₆ Triangular (A6T8)	8	65	23	35,4	1,02	1,16	1,32	0,0158	436	0,46	8,72-34,92	4,36-17,46	7,00-30,00	0,11-4,06	0,99	0,50-0,50	0,50	0,62-1,25	3,13-35,17
Aço Retangular (AR6)	6	49	45	91,8	1,03	1,09	1,15	0,012	0,152	0,06	106,68-106,68	2,64-15,33	0,07-33,05	1,05-20,76	5,64	0,02-0,14	0,06	0,15-3,96	3,57-72,69
Vidro Retangular (VR10)	10	130	129	99,2	1,04	1,10	1,22	0,012	0,152	0,06	7,50-60,00	2,00-27,70	0,24-1,89	0,02-12,21	1,22	0,07-0,93	0,23	0,24-0,75	0,77-53,79
Vidro Ret. Estreito (VRE11)	11	200	200	100	1,08	1,11	1,16	0,012	0,152	0,06	0,93-0,96	0,61-7,63	17,0-176,0	0,003-0,06	0,01	0,66-7,95	1,79	0,48-4,26	0,49-2,88
		1548	886	57,2															

(*) ^{1,2}Yarnell & Woodward (1920), ^{3,4}Wilcox (1924), ⁵Straub & Morris (1951), ⁶Tracy & Lester (1961), ⁷Neale & Price (1964), ⁸Pimenta (1966), ⁹Kazemipour & Apelt (1980), ¹⁰Cheng et al. (2011), ¹¹Ba Tuyen & Cheng (2012).

Os experimentos mais recentes (Tabela 3), devido a Kazemipour & Apelt (1980), Cheng et al. (2011) e Ba Tuyen & Cheng (2012), que contaram com equipamentos para medição de vazão e de níveis de maior precisão, produziram um maior percentual de dados validados na análise de consistência e, portanto, com melhor qualidade.

Para o cálculo das vazões conforme a expressão de Cabral da Silva et al. (2015) foram adotados os parâmetros de forma $\psi = 1,10$, para canais circulares e retangulares, e $\psi = 1,16$ para canais triangulares.

Os coeficientes n e K_S para os canais circulares foram extraídos do trabalho de Albuquerque (2017). Pimenta (1966), em seu trabalho com canais triangulares, forneceu os valores de K_S , já que as diferentes rugosidades das paredes do canal foram variáveis predefinidas por ele. Esses valores foram convertidos em n , através da fórmula (Equação 15) de Strickler (1923), utilizada por Albuquerque (2017).

$$n = \frac{K_S^{1/6}}{8,16\sqrt{g}} \quad (15)$$

Os canais retangulares de aço e vidro tiveram seus coeficientes equivalentes ao canal de PVC, por serem materiais considerados lisos. Já o coeficiente de Bazin (1897) foi adotado de acordo com a categoria cujo material das paredes do canal mais se assemelhava.

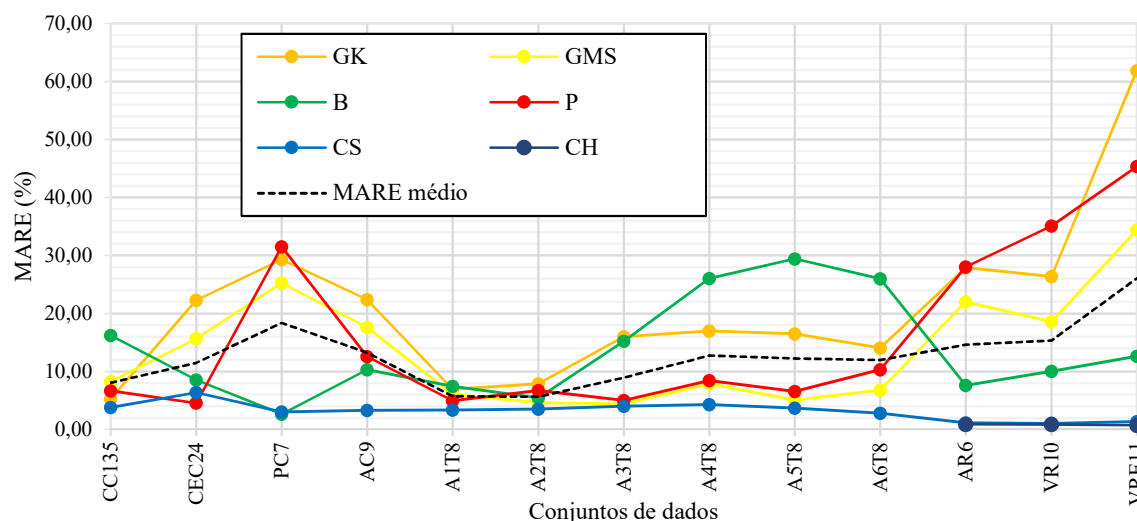
É possível notar que só existe um valor de n para cada material. Logo, foi considerado inicialmente que o n de Kutter seria igual ao de Manning, tendo em vista que a validação desses coeficientes será feita na etapa de calibração.

Pode ser notado, por meio dos valores máximos, mínimos e da mediana (MD), que na quase totalidade dos conjuntos de dados, a concentração das vazões e profundidades relativas medidas ocorre nas faixas correspondentes aos valores inferiores. Vale ressaltar também, que os canais triangulares experimentados por Pimenta (1966) possuem paredes com inclinação de 45°. Logo, todos os valores de y/b serão 0,5, independente da profundidade.

4.2 Determinação dos coeficientes de rugosidade ótimos

Após o cálculo das vazões, com cada uma das formulações, conjunto de dados e parâmetros tabelados, foram calculados os valores dos MARE que variaram de 1,07% a 61,89%, conforme pode ser visto na Figura 1. A exceção ocorre para a fórmula de Cheng et al. (2011) que é exclusiva para canais retangulares lisos.

Figura 1 - Valores do MARE usando os coeficientes de rugosidades tabelados¹

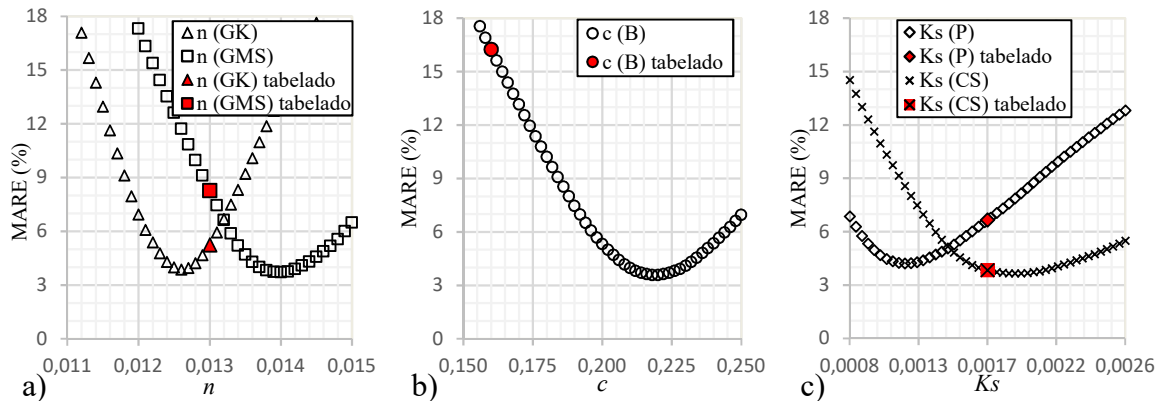


¹GK = Ganguillet e Kutter (1869), GMS = Gauckler-Manning-Strickler, B = Bazin (1897), P = Pimenta (1966), CS = Cabral da Silva et al. (2015) e CH = Cheng et al. (2011)

É possível notar na Figura 1 que algumas formulações apresentaram bons resultados com baixos valores de MAREs, a exemplo de CH, que proporcionou MARE médio igual a 0,83% nos conjuntos de dados em canais retangulares lisos. A formulação CS também pode ser considerada exitosa para os conjuntos testados, pois gerou MARE Máximo de 6,37%, menor que a média entre as outras formulações, além de possuir MARE médio de 3,21%. Entretanto, as demais metodologias não apresentaram resultados satisfatórios para alguns conjuntos de dados, podendo atingir valores de MAREs superiores a 30%, o que demonstra a inadequação da adoção de coeficientes de rugosidade tabelados para a maioria das metodologias estudadas. De qualquer maneira, deve ser notado que os canais triangulares com menores valores de rugosidades (A1T8 e A2T8) apresentaram valores de MARE bastante próximos para todas as fórmulas.

A calibração realizada dos coeficientes de rugosidade adotados em cada formulação busca a redução dos valores dos MAREs para o cálculo das vazões. Assim, é determinado, para cada formulação e conjunto de dados, os coeficientes de rugosidade que proporcionam os menores MAREs ou MAREs ótimos, isto é, os que geram os melhores resultados das formulações. A Figura 2 mostra graficamente, para o conjunto de dados de canais circulares em concreto, os coeficientes de rugosidade tabelados (em vermelho) e as curvas de obtenção dos MAREs ótimos.

Figura 2 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais circulares de concreto (CC135): a) GK e GMS, b) B e c) P e CS



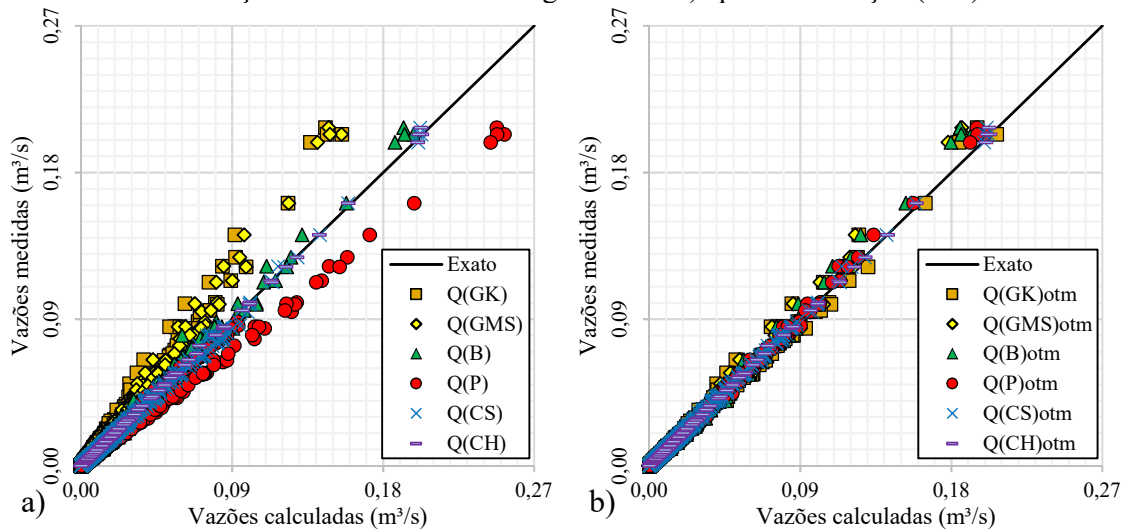
As curvas resultantes da calibração dos coeficientes de rugosidade dos demais conjuntos de dados estão destacadas no Apêndice B. Os valores ótimos dos coeficientes de rugosidade (Tabela 4) foram determinados seguindo o mesmo processo de calibração.

Tabela 4 - Coeficientes de rugosidade ótimos

ID	GK	GMS	B	P	CS
	$n_k(\text{ótimo})$	$n_M(\text{ótimo})$	$c(\text{ótimo})$	$K_s(\text{ótimo})$	$K_s(\text{ótimo})$
CC135	0,0126	0,0140	0,219	1,17E-03	1,89E-03
CEC24	0,0108	0,0110	0,127	2,08E-04	2,99E-04
PC7	0,0092	0,0090	0,064	3,80E-05	1,11E-05
AC9	0,0100	0,0099	0,093	6,20E-05	5,10E-05
A1T8	0,0103	0,0115	0,137	6,50E-04	4,50E-04
A2T8	0,0118	0,0128	0,180	1,49E-03	9,70E-04
A3T8	0,0123	0,0141	0,212	2,41E-03	1,72E-03
A4T8	0,0130	0,0161	0,244	4,47E-03	3,22E-03
A5T8	0,0137	0,0162	0,269	5,36E-03	3,40E-03
A6T8	0,0143	0,0168	0,297	7,25E-03	4,45E-03
AR6	0,0095	0,0095	0,073	2,50E-05	3,60E-06
VR10	0,0095	0,0097	0,087	4,10E-05	5,10E-06
VRE11	0,0065	0,0077	0,043	3,80E-05	6,10E-06

Nas Figuras 3a e 3b podem ser visualizados os gráficos das vazões calculadas e medidas, antes da calibração, utilizando os coeficientes de rugosidade tabelados, e os otimizados para todos os dados e equações avaliadas, respectivamente.

Figura 3 - Comparação entre vazões calculadas e medidas para os dados utilizados: a) antes da calibração dos coeficientes de rugosidade e b) após a calibração (otm)



É notória a melhoria nas previsões das vazões, na Figura 3b, em relação as da Figura 3a, principalmente na faixa das maiores vazões.

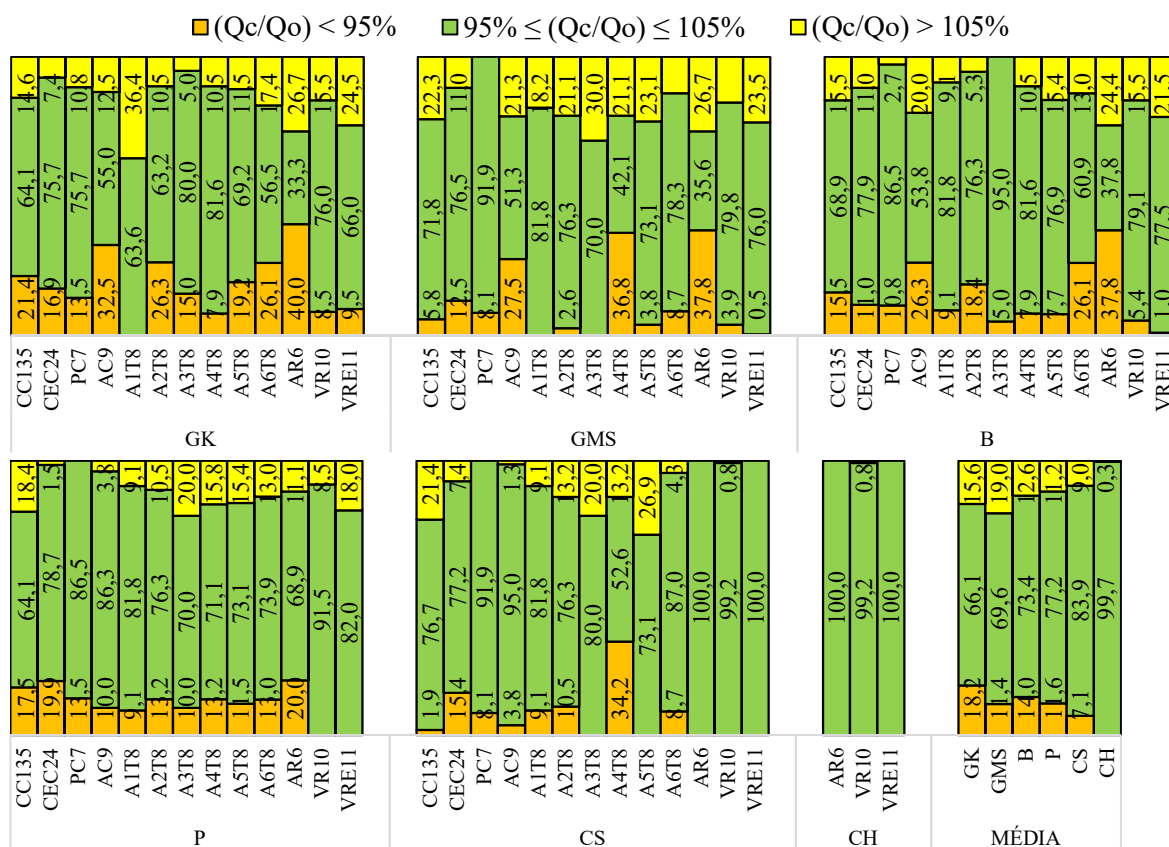
4.3 Avaliação das formulações

4.3.1 Análise de desempenho das formulações para o cálculo das vazões

Nesse critério de análise objetivou-se verificar quais formulações representam melhor as vazões, com base nos menores percentuais de desvio dos valores das vazões calculadas em relação às observadas.

A Figura 4 mostra os valores percentuais de resultados das frequências da relação vazão calculada/vazão observada (Q_c/Q_o) na faixa inferior ($Q_c/Q_o < 0,95$), central ($0,95 \leq Q_c/Q_o \leq 1,05$) e superior ($Q_c/Q_o > 1,05$). É evidente que as melhores formulações apresentam as maiores frequências de resultados contidos na faixa central (FC).

Figura 4 - Frequências da relação Q_c/Q_o em função da faixa percentuais de erros



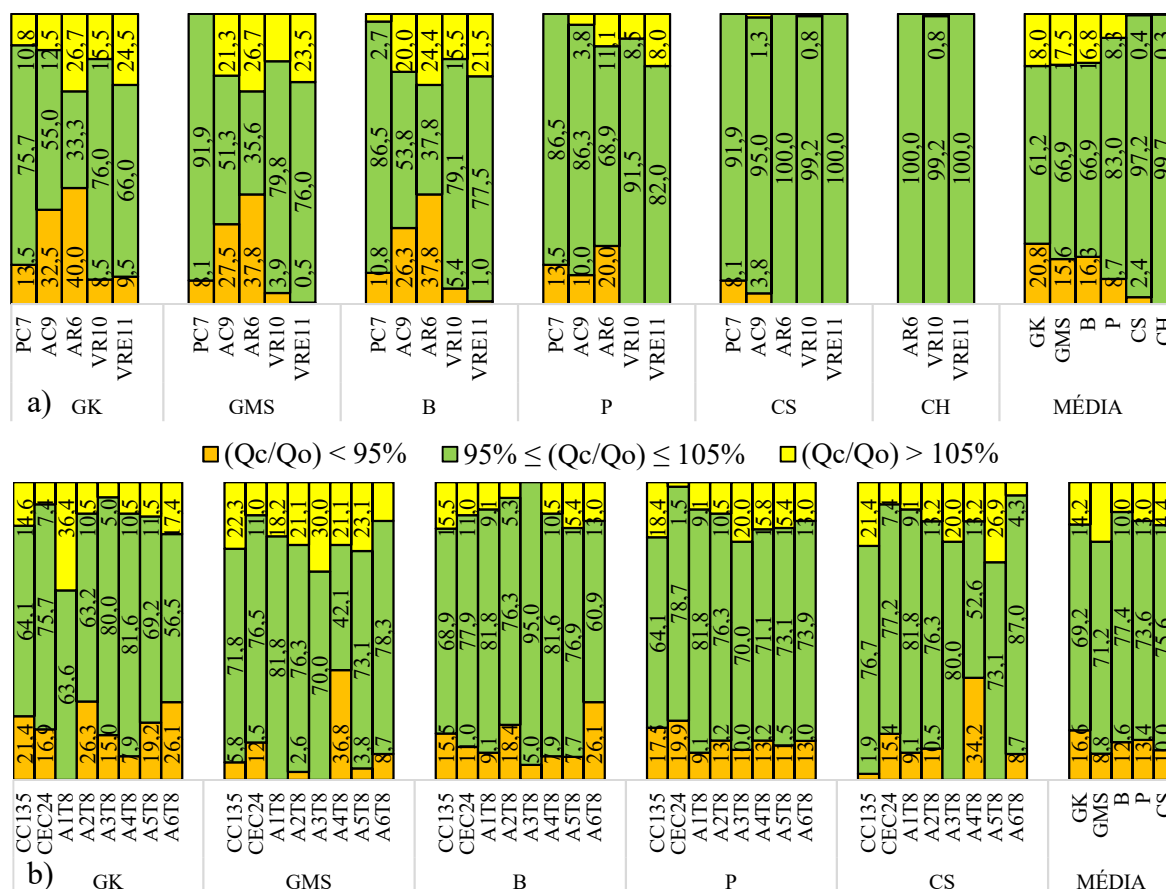
À luz dos resultados da Figura 4, pode-se afirmar que, em termos de média, a equação CS é a que apresenta maior percentual de dados, lisos e rugosos, na FC, seguida das formulações P, B, GMS e GK, respectivamente.

Para canais retangulares lisos, as equações CH e CS apresentam quase 100% dos resultados na FC, sendo, com os mesmos valores, as equações de melhor desempenho para o cálculo da vazão desses conjuntos.

4.3.2 Desempenho das equações para escoamento liso e rugoso

As vazões foram calculadas para os escoamentos lisos, compostos pelos conjuntos de dados que resultaram em valores de $n_M \leq 0,010$ ou $K_S \leq 5 \times 10^{-5} \text{m}$, ou seja, os canais em vidro, PVC, aço e amianto; e rugosos acima destes valores, para canais revestidos em areia, cerâmica e concreto. A análise de desempenho, quanto a essas condições, se refere à verificação das formulações que proporcionam as maiores frequências da relação Q_c/Q_o contidas na FC ($0,95 \leq Q_c/Q_o \leq 1,05$). Nas Figuras 5a e 5b estão mostrados os valores frequenciais da relação Q_c/Q_o com destaque para a FC.

Figura 5 - Frequências da relação Q_c/Q_o em função da faixa de erros (%): a) Lisos e b) Rugosos
 ■ $(Q_c/Q_o) < 95\%$ ■ $95\% \leq (Q_c/Q_o) \leq 105\%$ ■ $(Q_c/Q_o) > 105\%$



A Figura 5 mostrou que para os escoamentos lisos, os resultados das formulações foram mais favoráveis em CH, CS, P e B como as melhores formulações de acordo com os seus valores médios, destacando que CH se refere apenas à canais retangulares. Nos conjuntos de dados de escoamento uniforme considerados rugosos, os maiores percentuais na FC foram os de B, CS e P, respectivamente.

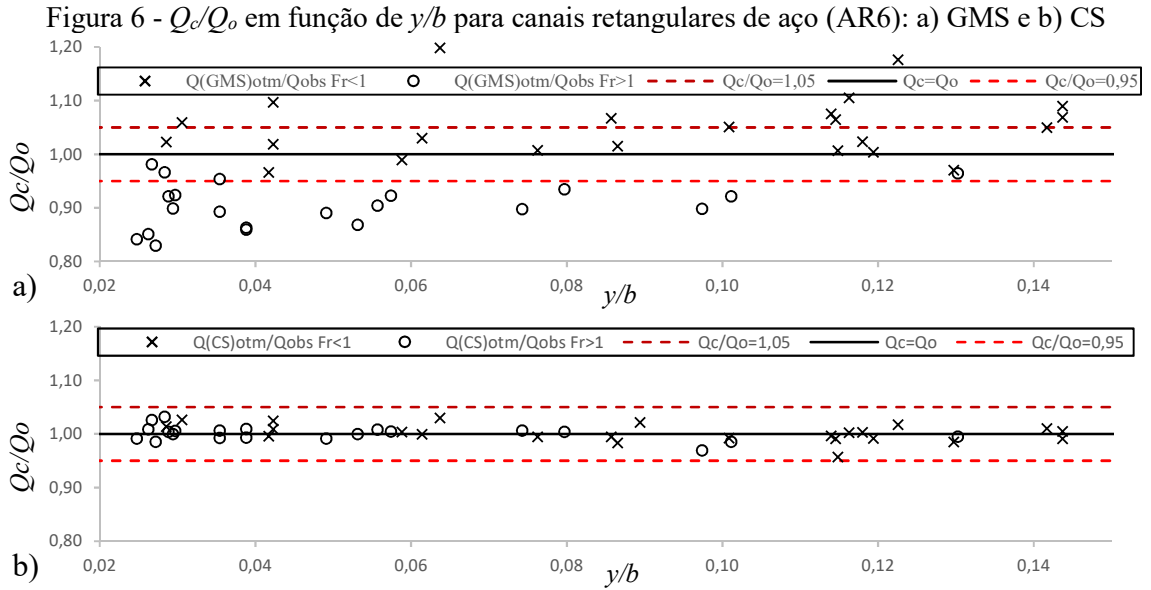
Já, a avaliação geral com base na média dos valores da Figura 5 indicaram que as formulações propostas se adequaram um pouco melhor aos conjuntos de dados de escoamentos em canais hidraulicamente lisos, com 79,17% dos resultados na FC, comparados com 73,42% nesta mesma faixa para escoamentos em canais rugosos.

4.3.3 Desempenho das equações quanto à profundidade relativa

A análise relatada a seguir consiste em verificar a eficiência do cálculo das vazões calibradas em relação à profundidade relativa. Ou seja, buscou-se verificar se a profundidade relativa do escoamento exerce alguma influência na acurácia da

determinação da vazão. No caso, a Figura 6, ilustrativa da análise, retrata os resultados de Q_c/Q_o pelas formulações GMS e CS, aplicada ao conjunto de dados de canais retangulares lisos (AR6), distinguindo os dados dos regimes subcrítico e supercrítico. Para auxiliar a interpretação da análise, foram plotadas, na Figura 6, retas de valores de ordenadas constantes que apontam erros de $\pm 5\%$.

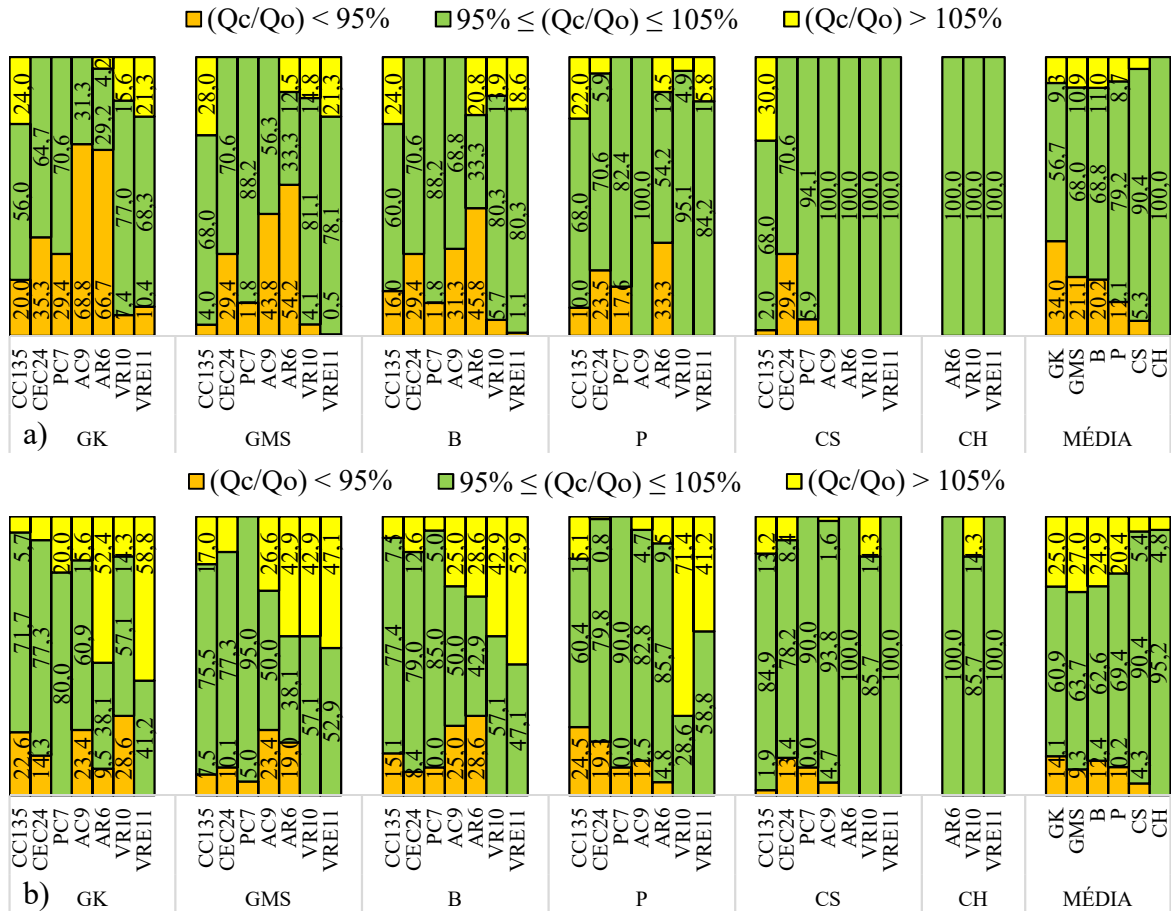
No Apêndice C estão reunidos os gráficos que relacionam a razão entre as vazões calculadas e as observadas Q_c/Q_o , com a profundidade relativa (y/D ou y/b).



É evidente que quanto menor a dispersão nos valores em torno da reta $Q_c/Q_o = 1$, melhor é a qualidade da formulação. Estes gráficos são ilustrativos de como se pode apontar a melhor ou a menor acurácia dos valores calculados relativamente à profundidade relativa.

Logo, a Figura 6 permite avaliar o desempenho das formulações para o cálculo das vazões, por meio da verificação da maior frequência de valores Q_c/Q_o na FC para escoamentos com profundidades relativamente rasas, quando $y/b < (y_{m\acute{a}x}/b)/2$, e profundas quando $y/b \geq (y_{m\acute{a}x}/b)/2$, segundo a Figura 7.

Figura 7 - Frequência (%) de Q_c/Q_o em função de y/b : a) $y/b < (y_{máx}/b)/2$ e b) $y/b \geq (y_{máx}/b)/2$



Com base nos valores percentuais das faixas retratadas na Figura 7, foi possível constatar que, abrangendo todas as formulações propostas, a média da relação Q_c/Q_o contidas na FC foi um pouco maior para escoamento em canais relativamente rasos, com 77,18%, em comparação com canais relativamente profundos, com 73,72% dos resultados na mesma faixa. Pode ser percebido também que os valores médios resultantes das aplicações das equações que melhor atendem este critério de avaliação são CS, P e B, para canais rasos, enquanto CS, P e GMS tiveram melhores desempenhos em canais profundos.

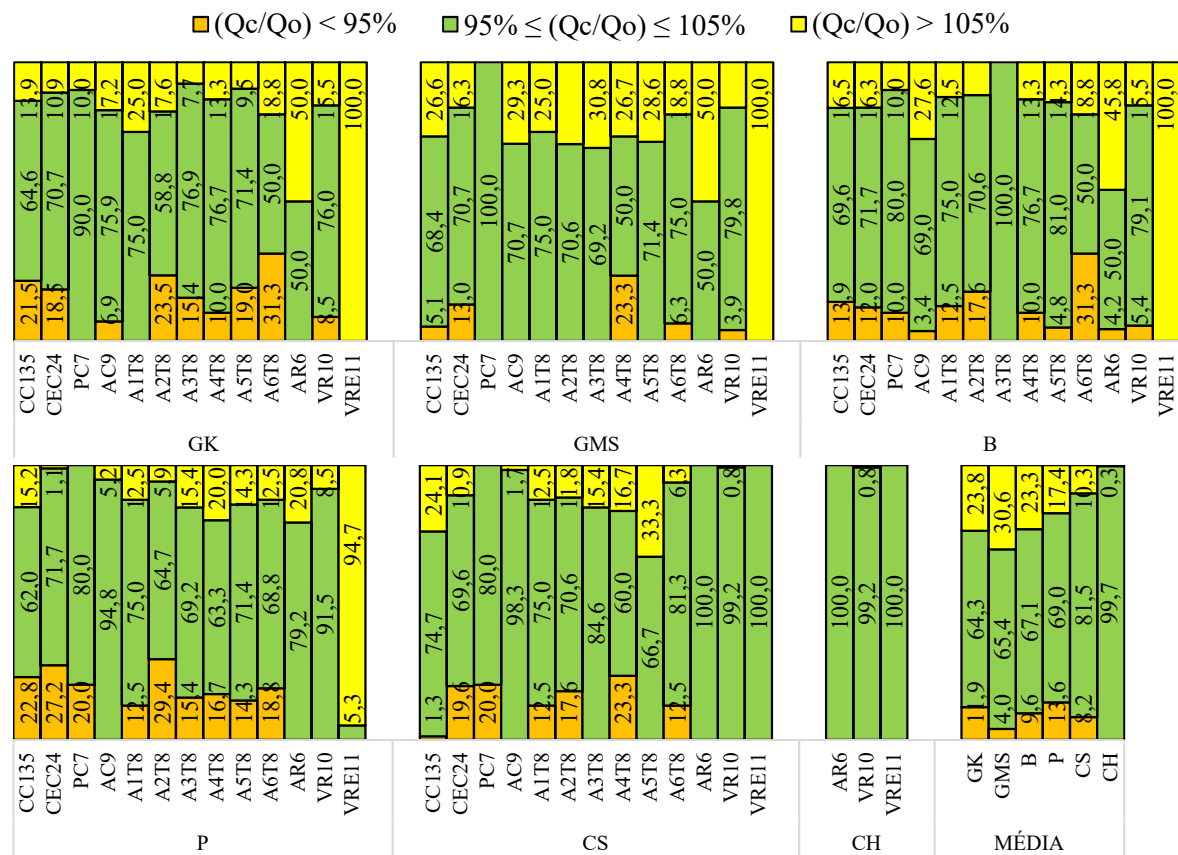
Nesta análise, CH e CS também obtiveram resultados iguais, com melhores desempenhos, quando o critério é aplicado apenas à canais retangulares lisos, tanto em escoamentos relativamente rasos quanto profundos.

4.3.4 Desempenho das formulações para os regimes subcrítico e supercrítico

O objeto de avaliação deste item se refere à eficiência do cálculo das vazões de cada formulação quanto a influência do tipo de regime de escoamento. Para isto, foi feita a

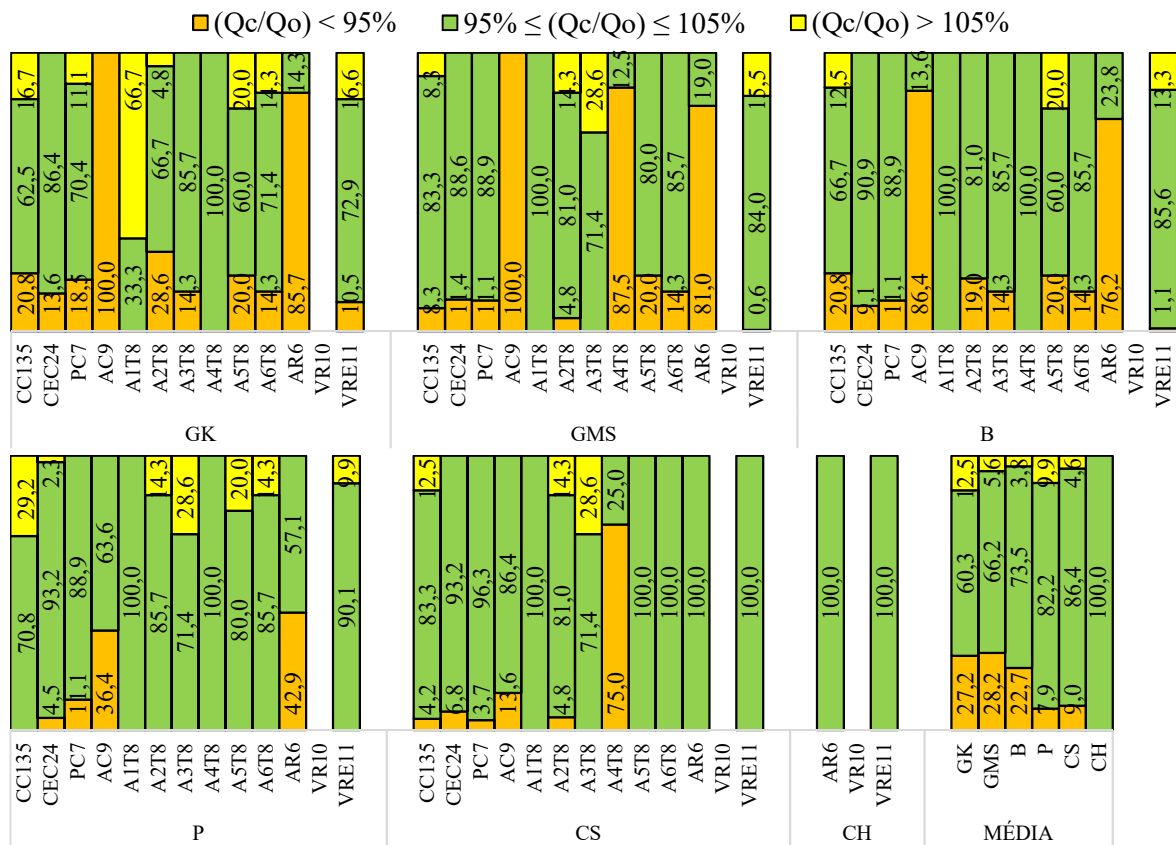
verificação da frequência, em termos percentuais, da relação Q_c/Q_o na FC, para escoamentos subcríticos (Figura 8) e supercríticos (Figura 9).

Figura 8 - Frequências de Q_c/Q_o em função das faixas percentuais de erros, para dados do escoamento em regime subcrítico



As informações extraídas da Figura 8 mostram que as equações que possuem um maior percentual de resultados de Q_c/Q_o na FC são CS, P e B, nesta ordem, indicando-as como as que produziram os melhores resultados para escoamento em regime subcrítico.

Figura 9 - Frequências de Q_c/Q_o em função das faixas percentuais de erros, para dados do escoamento em regime supercrítico.



A Figura 9 traz as formulações CS, P e B como as que apresentaram, em termos médios, as maiores frequências na FC e, consequentemente, os melhores desempenhos no cálculo das vazões em regime supercrítico.

Comparando-se os valores médios em cada faixa, para todas as formulações empregadas, é possível averiguar que o percentual de Q_c/Q_o contido na FC, cujo regime de escoamento é considerado supercrítico, é de 78,10%. Este valor é um pouco superior ao comparado com o obtido em regime subcrítico, que resultou em 74,52%.

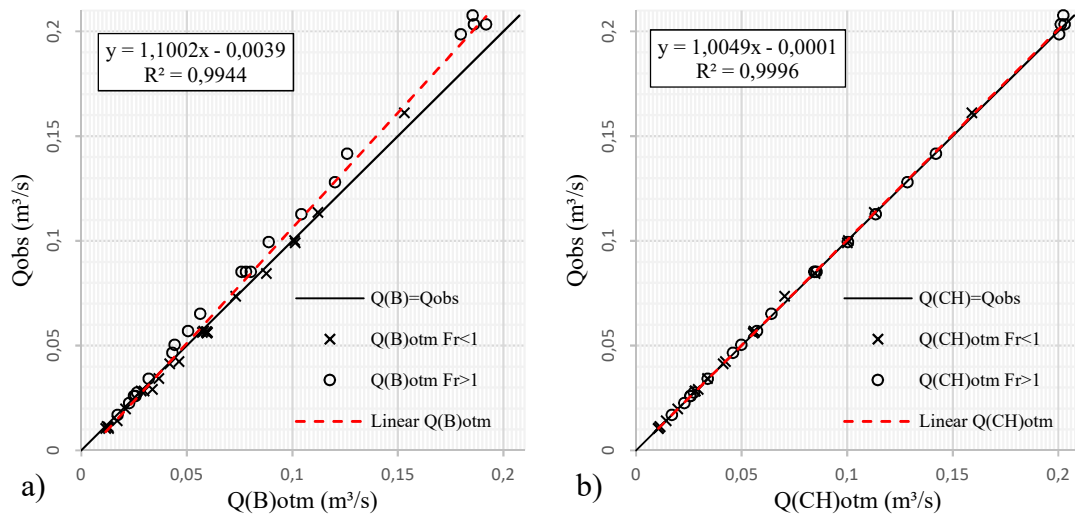
A aplicação deste critério em canais retangulares lisos apontou que CH e CS apresentaram os mesmos resultados, com desempenhos mínimos iguais a 99,2%, bastante superiores aos das demais equações.

4.3.5 Desempenho relativo ao ajuste à reta $Q_o = Q_c$

O efeito da calibração dos coeficientes de rugosidade otimizados, visto na comparação das figuras 3a e 3b, permitiu mostrar, de forma geral, a aproximação das vazões calculadas aos dados de vazões medidas. Logo, buscou-se avaliar o desempenho

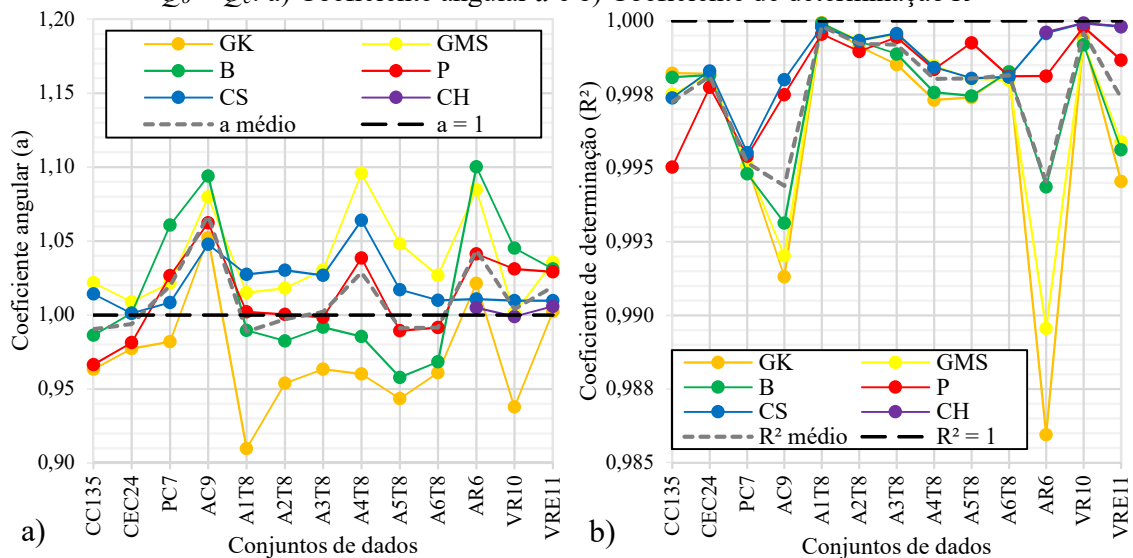
das equações através do cálculo dos coeficientes angulares a , lineares θ e de determinação R^2 para cada conjunto de dados, após a o processo de calibração. A Figura 10 ilustra a análise de desempenho por meio do ajuste das linhas de tendências das vazões com calculadas com a reta $Q_o = Q_c$ para as equações B e CH. O Apêndice D é composto pelos gráficos que correspondem às retas de ajuste das vazões calculadas por todas as formulações e conjuntos de dados, após a calibração de seus respectivos coeficientes de rugosidade.

Figura 10 - Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais retangulares de aço (AR6): a) B e b) CH



Os coeficientes angulares a , lineares θ e de determinação R^2 das linhas de tendências traçadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, para todos os conjuntos e equações deste estudo são apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Comparação entre os coeficientes angulares e de determinação das linhas de tendências $Q_o = Q_c$: a) Coeficiente angular a e b) Coeficiente de determinação R^2



A análise das melhores formulações com base nos valores de a , R^2 e suas médias da Figura 11 é traduzida pela proximidade de valores iguais à unidade. Pode ser observado que GK apresentou quase todos os valores de a abaixo de 1, o que mostra a tendência em superestimar as vazões, enquanto GMS e CS tendem a subestimar os cálculos das vazões. Todos os valores de coeficiente angular ficaram entre 0,91 e 1,10. Levando-se em consideração a média dos coeficientes a , P apresentou-se como a formulação de melhor desempenho, seguida de B e CS, respectivamente.

Os coeficientes lineares θ resultaram em valores entre $-3,9 \times 10^{-3}$ e $7,3 \times 10^{-4}$, considerados pequenos, indicando pertinência de todas as formulações. Os valores de R^2 calculados representaram excelentes ajustes, considerados Muito Forte segundo o critério adotado por Callegari-Jacques (2003), cujo R^2 médio geral foi de 0,998.

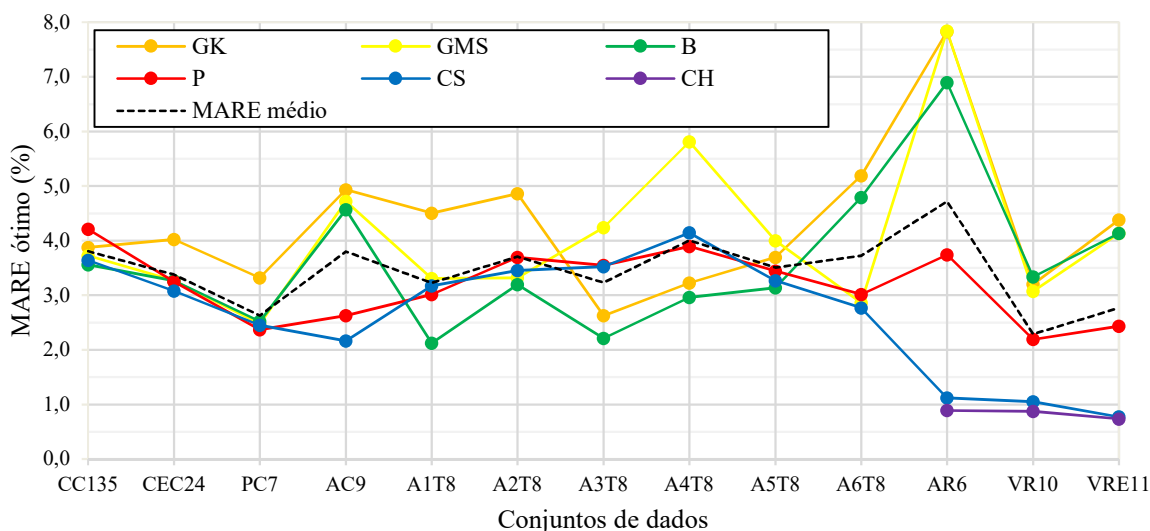
Ficou evidenciado na Figura 11 que as formulações com melhores resultados mais frequentes para o coeficiente angular a são P, B e CS. Para o coeficiente de determinação R^2 os melhores resultados foram os das formulações CS, P e B.

No que se refere aos canais retangulares lisos, CH apresentou os melhores resultados, tanto para o coeficiente angular quanto para o de determinação.

4.3.6 Desempenho das formulações com base nos MAREs ótimos

A avaliação das equações com base nos menores MAREs é feita por meio da comparação dos seus valores calculados, conforme mostrado no gráfico da Figura 12, para todos os conjuntos de dados.

Figura 12 - Gráfico dos resultados dos MAREs ótimos para cada formulação e conjunto de dados



A análise da Figura 12 evidenciou a redução do MARE após a calibração realizada, em comparação com os valores da Figura 1, que se refere aos valores não calibrados. Houve uma redução do MARE, do valor máximo de 61,89% para 7,84%; e do valor mínimo de 1,07% para 0,77%, considerando que a formulação CH não foi alvo de calibração dos parâmetros.

Pode ser observado na Figura 12 que as formulações que apresentaram menores MAREs para cada conjunto de dados foram CS, B e P, sendo que CS e B tiveram frequência de seis vezes os menores valores e P uma.

A análise com base na média dos resultados do MARE para cada equação (Tabela 5) permite concluir que, considerando canais lisos e rugosos, a formulação mais eficiente é a CS, seguida de P, B, GMS e GK, respectivamente.

Tabela 5 - Valores médios dos MAREs							
MARE		Equação					
		GK	GMS	B	P	CS	CH
Média	Inicial (%)	21,06	13,60	13,66	15,83	3,21	0,83
	Ótimo (%)	4,28	4,06	3,59	3,19	2,66	0,83

A formulação que apresentou a maior diferença entre os MAREs calculados, com os coeficientes de rugosidade obtidos em tabelas e os calibrados, foi GK e a menor foi CS, considerando que CH não foi alvo de calibração.

Em se tratando de canais retangulares lisos, a equação CH apresentou os melhores resultados, seguida de CS com resultados similares, ambas com MAREs inferiores a 1%, enquanto as demais formulações produziram resultados de menor acurácia.

4.3.7 Desempenho geral das formulações

Os critérios para comparação de desempenho das equações para cálculo das vazões para todos os dados, para escoamentos lisos e rugosos, para escoamentos relativamente rasos e profundos, e para regimes subcrítico e supercrítico, envolveram a determinação da maior frequência de valores de Q_c/Q_o na FC, os melhores coeficientes angulares e de determinação, e o menor MARE.

Na Tabela 6 são considerados, como critério de análise para melhor desempenho de cada equação em avaliação, indicadores aos quais são atribuídos valores de 1 a 5, sendo 1 o de melhor avaliação e 5 o mais desfavorável.

Tabela 6 - Desempenho das equações de acordo com os critérios de análise

Critério de análise	Dados	GK	GMS	B	P	CS
Frequência de Q_c/Q_o na FC	todos	5	4	3	2	1
Frequência de Q_c/Q_o na FC	lisos	5	4	3	2	1
Frequência de Q_c/Q_o na FC	rugosos	5	4	1	3	2
Frequência de Q_c/Q_o na FC	rasos	5	4	3	2	1
Frequência de Q_c/Q_o na FC	profundos	5	3	4	2	1
Frequência de Q_c/Q_o na FC	subcríticos	5	4	3	2	1
Frequência de Q_c/Q_o na FC	supercríticos	5	4	3	2	1
Melhor coeficiente angular α	todos	4	5	2	1	3
Maior R^2	todos	5	4	3	2	1
Menor MARE médio (ótimo)	todos	5	4	3	2	1

Pode ser observado na Tabela 6 que as formulações mais bem sucedidas foram CS, tendo tido 8 ocorrências de melhor desempenho; P com 1 ocorrência de melhor desempenho e 8 em segundo; e B com 1 ocorrência na primeira e segunda ordens, e 7 ocorrências na terceira ordem de melhor desempenho.

Para canais retangulares lisos, a equação CH, que não consta na Tabela 6, apresentou sempre os melhores desempenhos para os critérios de análise considerados.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi realizada a avaliação de seis equações para o cálculo da vazão em escoamento turbulento uniforme, em regime subcrítico e supercrítico, sendo quatro baseadas na equação de Chézy e as duas mais recentes, da década atual.

Foi utilizado um amplo conjunto de dados referentes a seções transversais circulares e triangulares lisos e rugosos, e retangulares lisos.

Os experimentos mais recentes, que contaram com equipamentos para medição de vazão e de níveis com maior precisão, produziram dados de melhor qualidade.

Houve, a partir da adoção dos coeficientes de rugosidade calibrados nas formulações, uma significativa melhoria no seu desempenho no cálculo das vazões uma vez que todos os valores dos MAREs diminuíram.

Os critérios de análise para avaliação das equações corresponderam à maior frequência de valores das vazões calculadas em relação as observadas, com desvio menor ou igual a 5%, para todos os conjuntos de dados, para escoamento em canais relativamente rasos e profundos, hidraulicamente lisos e rugosos e subcríticos e supercríticos. Foram avaliadas também as equações que produziram os melhores resultados para as vazões com base no critério dos melhores coeficientes angulares, maiores coeficientes de determinação e do menor MARE ótimo.

A equação CH, dedicada ao cálculo da vazão em canais retangulares lisos, apresentou os melhores resultados em todos os critérios de análise, seguida de CS.

Para os canais das demais seções transversais, lisos e rugosos, foi possível concluir que:

Levando-se em consideração todos os conjuntos de dados, as equações CS, P e B apresentaram, nessa ordem, os melhores desempenhos.

No que se refere ao escoamento em canais lisos, os resultados das formulações mais bem sucedidas foram CS, P e B. Já para canais rugosos, a formulação B alcançou melhor desempenho, seguida de CS e P. De maneira geral, o desempenho de todas as formulações aplicadas a canais com escoamento hidraulicamente liso foi razoavelmente melhor, com 79,17% dos resultados na FC, em comparação com 73,42% para escoamentos em canais rugosos nesta mesma faixa.

No cálculo do escoamento considerado relativamente raso, as equações CS, P e B produziram, nessa ordem, os melhores resultados. Para canais relativamente profundos, a ordem de melhor eficiência dos resultados foram CS, P e GMS. A comparação do

desempenho geral das formulações em função do tipo de escoamento, raso ou profundo, mostrou desempenhos praticamente equivalentes, com uma pequena vantagem para o cálculo das vazões em canais rasos, com 77,18% de frequência na FC, e 73,72% em canais profundos.

A avaliação quanto ao tipo de regime de escoamento mostrou que as formulações CS, P e B são, nessa ordem, as de melhor desempenho, tanto para canais com escoamento em regime subcrítico quanto supercrítico. As médias dos resultados de todas as formulações empregadas indicaram uma diferença muito pequena entre os desempenhos segundo o regime de escoamento. O resultado considerando o regime subcrítico foi de 78,10% de frequência na FC, enquanto o do supercrítico alcançou 74,52%.

Os coeficientes de determinação das retas de ajuste entre a vazão observada e calculada ($Q_o = Q_c$) mostraram valores classificados como Muito Forte segundo o critério adotado por Callegari-Jacques (2003), todos maiores do que 0,985, sendo 0,9999 o maior valor registrado.

A formulação GK apresentou tendência em superestimar as vazões, com quase todos os valores de coeficiente angular da reta ajustada entre as vazões calculadas e observadas abaixo de 1, enquanto GMS e CS tenderam a subestimar os cálculos das vazões. Todos os valores de coeficiente angular ficaram entre 0,91 e 1,10. Levando-se em consideração a média dos coeficientes, P apresentou-se como a formulação de melhor desempenho, seguida de B e CS, respectivamente.

A equação mais bem avaliada, considerando o critério de menor MARE para todos os dados, foi CS que apresentou valor médio igual a 2,66%, seguido de P, B, GMS e GK, com valores médios de 3,19%, 3,59%, 4,06% e 4,28%, respectivamente.

A equação de melhor avaliação, considerando a análise conjunta dos critérios predefinidos, com exceção da CH, foi CS, seguida de P e B.

De fato, houve evolução, traduzida em melhor desempenho no cálculo das vazões, das equações mais recentes, CH e CS, em relação às equações clássicas avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, I. F. **Investigação sobre o uso da formulação transformada de Colebrook-White em canais circulares e naturais em escoamento uniforme**. 2017. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.
- BA TUYEN, N.; CHENG, N. S. Flow resistance in smooth rectangular open-channels with low aspect ratios. **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, v. 138, n. 9, p. 817-821, 2012.
- BAZIN, H. Formules nouvelles pour le calcul du debit des canaux découverts. **Annales des Ponts et Chaussées**, v. 67, n. 4, p. 20-70, 1897.
- BONETTI, S.; MANOLI, G.; MANES, C.; PORPORATO, A.; KATUL, G. G. Manning's formula and Strickler's scaling explained by a co-spectral budget model. **Journal of Fluid Mechanics**, Cambridge, v. 812, n. 1, p. 1189-1212, 2017.
- BRKIĆ, D.; ČOJBAŠIĆ, Ž. Intelligent flow friction estimation. **Computational Intelligence and Neuroscience**, v. 2016, n. 1, p.1-10, 2016.
- CABRAL DA SILVA, T. **Efeitos de Forma na Resistência ao Escoamento Uniforme em Canais**. 1992. 85 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- CABRAL DA SILVA, T.; MELO, I. C.; COSTA, S. G. F. Cálculo do escoamento uniforme a partir do coeficiente de atrito modificado: novas aplicações a dados experimentais de canais triangulares lisos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 215-222, 2013.
- CABRAL DA SILVA, T.; LIMA, E. G. F. S; FIGUEIREDO, S. A. A new equation for calculating the uniform flow in hydraulically smooth and rough channels. In: 36th IAHR World Congress. **Anais[...]** The Hague, the Netherlands, p. 93-98, 2015.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. 1ª Edição, Porto Alegre: Editora Artmed, 255p., 2003.
- CHENG, N.; NGUYEN, H. ZHAO e K; TANG, X. Evaluation of Flow Resistance in Smooth Rectangular Open Channels with Modified Prandtl Friction Law. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston-VA, v. 137, n. 4, p. 441-450, 2011.
- CHOW, V. T. **Open-Channel Hydraulics**. 1ª Edição, New York: McGraw-Hill Inc. 700p., 1959.
- FERNANDES, J. N.; LEAL, J. B.; CARDOSO, A. H. Assessment of stage-discharge predictors for compound open-channels. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 45, p. 62-67, 2015.
- FENTON, J. D. Hydraulics: science, knowledge, and culture. **Journal of Hydraulic Research**, United Kingdom, v. 54, n. 5, p. 485-501, 2016.

FLAMANT, A. **Hydraulique**. 2ª Edição, Paris: Béranger, 1900.

GANGUILLET, E.; KUTTER, W. R. An investigation to establish a new general formula for uniform flow of water in canals and rivers. **Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur und Architekten Vereines**, v. 21, n. 1, p. 6-25, n. 2-3, p. 46-59, 1869.

GAUCKLER, P. Du mouvement de l'eau dans les conduits. **Annales des Ponts et Chaussées**, v. 38, n. 1, p. 229–281, 1868.

GOLDFARB, M. C.; CABRAL DA SILVA, T. Formulação Unificada para Cálculo da Resistência ao Escoamento em Canais e em Tubos Pressurizados Lisos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 133-140, 2007.

HAGER, W. H. Gauckler and the GMS formula. **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, Reston-VA, v. 127, n. 8, p. 635-638, 2001.

HAGER, W. H. Albert Strickler: His Life and Work. **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, Reston-VA, v. 141, n. 7, p. 02515002/1-02515002/5, 2015.

KAZEMIPOUR, A. K.; APELT, C. J. **Shape Effects on Resistance to Smooth Semi-Circular Channels**. 1980. 07 p. Department of Civil Engineering, University of Queensland, Research Report nº CE18. 1980.

KING, H. W.; WISLER, C. O. **Hydraulics**. New York: John Wiley & Sons, Incorporated, 1922.

KNIGHT, D. W. River hydraulics – a view from midstream. **Journal of Hydraulic Research**, United Kingdom, v. 51, n. 1, p. 2-18, 2013.

LIM, H. S. Open Channel Flow Friction Factor: Logarithmic Law. **Journal of Coastal Research**, Coconut Creek, v. 34, n. 1, p. 229-237, 2018.

LIMA, E. G. F. S. **Novas formulações para dimensionamento de canais considerando os efeitos de forma na resistência ao escoamento uniforme: seções triangulares hidraulicamente rugosas**. 2013. 73p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

LUO, H.; SINGH, V.; SCHMIDT, A. Comparative Study of 1D entropy-based and conventional deterministic velocity distribution equations for open channel flows. **Journal of Hydrology**, v. 563, p. 679-693, 2018.

MANNING, R. On the flow of water in open channels and pipes. **Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland**, Dublin, v. 20, p. 161-207, 1890.

MONTES, S. **Hydraulics of open channel flow**. Edição Ilustrada, Reston VA: ASCE Press, 1998.

NEALE, L. C.; PRICE, R. E. Flow characteristics of PVC sewer pipe. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, New York, v. 90, n. 3, p. 109-132, 1964.

PEREIRA MAIA, F. B.; CABRAL DA SILVA, T. C. Novas Formulações Para Cálculo Do Escoamento Uniforme Em Canais Rugosos Considerando Os Efeitos De Forma. *In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Anais[...]* João Pessoa - PB, p. 721-732, 2016.

PIMENTA, C. F. **Contribuição para o Cálculo da Perda de Carga nos Canais em Regime Uniforme.** 1966, 147p. Tese (Concurso de Professor Catedrático da POLI/USP) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 147p., 1966.

PRADHAN, A.; KHATUA, K.K. Assessment of Roughness Coefficient for Meandering Compound Channels. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 22, n.5, p. 2010-2022, 2018.

SHIH, C. C.; GRIGG, N. S. A. Reconsideration of the Hydraulic Radius as a Geometric Quantity in Open Channel Hydraulics, *In: 12th Congres - IARH. Anais[...]* Fort Collins, Colorado, p 288-296, 1967.

STRAUB, L. G.; MORRIS, H. M. **Hydraulic tests on concrete culvert pipes.** Minneapolis: University of Minnesota Centennial, 26p., 1950.

STRICKLER, A. **Contributions to the question of velocity formula and the roughness numbers for rivers, channels and pipes.** Mitteilung 16, C. Mutzner, ed., Amt für Wasserwirtschaft, Bern, Switzerland, 1923.

TRACY, H. J.; LESTER, C. M. **Resistance Coefficients and Velocity Distribution in Smooth Rectangular Channel.** U. S. Geological Survey Water-Supply Paper, Washington, paper 1952-A, 18p., 1961.

VATANKHAH, A. R. Direct solutions for normal depth in parabolic and rectangular open channels using asymptotic matching technique. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 46, Part A, p. 66-71, 2015.

VATANKHAH, A. R.; GHAFARI, S.; MAHDAVI MAZDEH, A. New and Improved Hydraulic Radius for Channels of the Second Kind. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 6, n. 3, p. 767-773, 2015.

WILCOX, E. R. **A comparative test of the flow of water in 8-inch concrete and vitrified clay sewer pipe.** Engineering Experiment Station Series, University of Washington, Seattle, WA, 1924.

YARNELL, D. L.; WOODWARD, S. M. **The flow of water in drain tile.** Washington: Department of Agriculture, n. 854, 74p., 1920.

ZENG, C.; LI, CW.; TANG, HW.; WANG, LL.; MAO, JQ. Experimental study of depth-limited open-channel flows over a gravel bed. **International Journal of Sediment Research**, Pequim, v. 30, n. 2, p. 160-166, 2015.

ZHAO, X.; BOLOGNIN, M.; LIANG, D.; ROHE, A.; VARDON, P. J. Development of in/outflow boundary conditions for MPM simulation of uniform and non-uniform open channel flows. **Computers & Fluids**, Marseille, v. 179, p. 27-33, 2019.

ANEXO I

Dados experimentais utilizados para o cálculo das vazões

Tabela II – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares de concreto

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
1	CC135	0,1015	0,01250	0,08748	0,00742	0,0302	0,8257	0,006003
2	CC135	0,2539	0,00750	0,17374	0,03692	0,0744	1,1668	0,042815
3	CC135	0,1271	0,01500	0,05364	0,00509	0,0283	0,8656	0,004389
4	CC135	0,2033	0,00300	0,10394	0,01670	0,0512	0,5742	0,009486
5	CC135	0,2539	0,00300	0,13289	0,02682	0,0652	0,6721	0,017925
6	CC135	0,2033	0,01000	0,06858	0,00963	0,0381	0,8595	0,008212
7	CC135	0,2539	0,00500	0,14996	0,03113	0,0698	0,9083	0,028119
8	CC135	0,2033	0,00100	0,07711	0,01129	0,0418	0,2856	0,003200
9	CC135	0,1015	0,00300	0,08992	0,00758	0,0299	0,3962	0,002945
10	CC135	0,2033	0,00100	0,09479	0,01484	0,0485	0,3158	0,004644
11	CC135	0,1015	0,01500	0,08352	0,00712	0,0305	0,9037	0,006343
12	CC135	0,2539	0,00050	0,16794	0,03554	0,0735	0,2932	0,010364
13	CC135	0,2033	0,00500	0,13503	0,02289	0,0585	0,8053	0,018236
14	CC135	0,1015	0,00200	0,08260	0,00705	0,0305	0,3264	0,002265
15	CC135	0,1015	0,00200	0,09845	0,00802	0,0271	0,3011	0,002350
16	CC135	0,1524	0,00200	0,08931	0,01111	0,0418	0,4042	0,004474
17	CC135	0,2033	0,01500	0,12619	0,02117	0,0570	1,3716	0,028713
18	CC135	0,2539	0,00200	0,13381	0,02706	0,0655	0,5456	0,014696
19	CC135	0,3048	0,00050	0,23043	0,05918	0,0914	0,3371	0,019793
20	CC135	0,1524	0,01000	0,11125	0,01427	0,0454	0,9595	0,013620
21	CC135	0,2539	0,00200	0,13076	0,02628	0,0646	0,5395	0,014102
22	CC135	0,2033	0,00200	0,10211	0,01632	0,0506	0,4581	0,007419
23	CC135	0,2033	0,01250	0,09876	0,01564	0,0497	1,1372	0,017613
24	CC135	0,1015	0,00300	0,09845	0,00802	0,0271	0,3670	0,002860
25	CC135	0,2539	0,01000	0,14905	0,03090	0,0695	1,2671	0,038936
26	CC135	0,2539	0,01000	0,16855	0,03569	0,0735	1,3131	0,046581
27	CC135	0,2539	0,00050	0,24933	0,05042	0,0674	0,2737	0,013649
28	CC135	0,3048	0,00050	0,11095	0,02401	0,0607	0,2551	0,006088
29	CC135	0,2539	0,00750	0,16490	0,03480	0,0728	1,1296	0,039077
30	CC135	0,1015	0,00300	0,08260	0,00705	0,0305	0,3956	0,002747
31	CC135	0,1271	0,00500	0,05883	0,00574	0,0302	0,5084	0,002888
32	CC135	0,2033	0,00750	0,10211	0,01632	0,0506	0,8827	0,014272
33	CC135	0,1524	0,00750	0,08291	0,01014	0,0399	0,7516	0,007589
34	CC135	0,2033	0,04000	0,15240	0,02610	0,0616	2,3214	0,060598
35	CC135	0,2033	0,00050	0,14600	0,02495	0,0600	0,2512	0,006201
36	CC135	0,1524	0,00300	0,06767	0,00782	0,0351	0,4325	0,003370
37	CC135	0,2539	0,00050	0,09845	0,01814	0,0530	0,2304	0,004163
38	CC135	0,2033	0,01500	0,05182	0,00652	0,0299	0,8708	0,005663
39	CC135	0,1271	0,00750	0,04450	0,00396	0,0247	0,5386	0,002124
40	CC135	0,1524	0,01000	0,08473	0,01042	0,0405	0,8699	0,009033
41	CC135	0,2033	0,02000	0,05182	0,00652	0,0299	1,0016	0,006513
42	CC135	0,2539	0,01000	0,12344	0,02443	0,0622	1,1567	0,028119
43	CC135	0,2033	0,01500	0,05029	0,00625	0,0296	0,8574	0,005324
44	CC135	0,1015	0,01250	0,06218	0,00520	0,0283	0,7596	0,003908
45	CC135	0,1015	0,00100	0,08352	0,00712	0,0305	0,2225	0,001557
46	CC135	0,2539	0,00050	0,07346	0,01215	0,0421	0,1948	0,002350
47	CC135	0,1271	0,01000	0,04115	0,00356	0,0232	0,5898	0,002095
48	CC135	0,2539	0,01250	0,09571	0,01746	0,0518	1,1396	0,019822
49	CC135	0,2539	0,00750	0,14844	0,03074	0,0695	1,0705	0,032734
50	CC135	0,1015	0,00300	0,07407	0,00633	0,0302	0,3850	0,002407
51	CC135	0,2033	0,01250	0,07437	0,01075	0,0405	0,9610	0,010251
52	CC135	0,2539	0,00200	0,10455	0,01966	0,0555	0,4703	0,009203
53	CC135	0,2539	0,00500	0,12802	0,02559	0,0637	0,8169	0,020813

(continua)

Tabela II – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares de concreto

(continuação)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
54	CC135	0,1015	0,00500	0,08412	0,00717	0,0305	0,4959	0,003511
55	CC135	0,2539	0,01250	0,06492	0,01022	0,0378	0,9092	0,009231
56	CC135	0,2539	0,00050	0,14448	0,02975	0,0683	0,2661	0,007872
57	CC135	0,2033	0,01500	0,09845	0,01558	0,0497	1,1966	0,018463
58	CC135	0,1015	0,00050	0,08595	0,00731	0,0302	0,1521	0,001104
59	CC135	0,1524	0,01000	0,06462	0,00736	0,0351	0,7690	0,005635
60	CC135	0,1524	0,00500	0,08230	0,01005	0,0399	0,5895	0,005890
61	CC135	0,2033	0,00500	0,05791	0,00762	0,0332	0,5203	0,003964
62	CC135	0,2033	0,01000	0,04663	0,00562	0,0277	0,6511	0,003625
63	CC135	0,2033	0,00750	0,07925	0,01171	0,0427	0,7547	0,008778
64	CC135	0,2539	0,00500	0,10302	0,01928	0,0549	0,7279	0,013960
65	CC135	0,2033	0,00500	0,09693	0,01527	0,0491	0,6754	0,010222
66	CC135	0,2033	0,01500	0,07468	0,01081	0,0408	1,0360	0,011129
67	CC135	0,2539	0,00100	0,09815	0,01807	0,0530	0,3146	0,005663
68	CC135	0,1524	0,00100	0,09083	0,01134	0,0421	0,2685	0,003030
69	CC135	0,1015	0,00050	0,07529	0,00644	0,0302	0,1497	0,000963
70	CC135	0,2033	0,03000	0,10363	0,01663	0,0515	1,7029	0,028317
71	CC135	0,2539	0,00300	0,10333	0,01935	0,0549	0,5572	0,010732
72	CC135	0,2033	0,03000	0,12802	0,02153	0,0579	1,8340	0,039360
73	CC135	0,2033	0,01250	0,04968	0,00615	0,0293	0,7440	0,004531
74	CC135	0,2539	0,00100	0,07254	0,01194	0,0418	0,2646	0,003143
75	CC135	0,1015	0,01250	0,07376	0,00630	0,0302	0,7553	0,004701
76	CC135	0,2033	0,00050	0,09723	0,01533	0,0491	0,2060	0,003143
77	CC135	0,1015	0,00100	0,07285	0,00622	0,0299	0,2079	0,001274
78	CC135	0,1524	0,01000	0,04389	0,00435	0,0253	0,5910	0,002549
79	CC135	0,1015	0,00200	0,07407	0,00633	0,0302	0,2950	0,001841
80	CC135	0,1015	0,00100	0,06401	0,00538	0,0287	0,1999	0,001076
81	CC135	0,2033	0,00500	0,08230	0,01232	0,0439	0,6044	0,007391
82	CC135	0,2033	0,03000	0,07315	0,01051	0,0402	1,4027	0,014725
83	CC135	0,2033	0,04000	0,12802	0,02153	0,0579	2,0626	0,044457
84	CC135	0,1015	0,01500	0,07772	0,00665	0,0305	0,8181	0,005352
85	CC135	0,1271	0,00300	0,06370	0,00636	0,0317	0,3712	0,002350
86	CC135	0,2539	0,00750	0,12436	0,02466	0,0625	0,9281	0,022767
87	CC135	0,1524	0,00750	0,06462	0,00736	0,0341	0,6187	0,004531
88	CC135	0,2033	0,03000	0,04877	0,00599	0,0290	1,1104	0,006654
89	CC135	0,2539	0,00750	0,09845	0,01814	0,0530	0,8318	0,015036
90	CC135	0,2033	0,00300	0,07986	0,01183	0,0430	0,4548	0,005352
91	CC135	0,1015	0,00200	0,06553	0,00552	0,0290	0,2825	0,001529
92	CC135	0,2033	0,04000	0,10058	0,01601	0,0506	1,8605	0,029733
93	CC135	0,2539	0,01000	0,09967	0,01844	0,0536	0,9619	0,017670
94	CC135	0,1271	0,00200	0,05212	0,00490	0,0277	0,2713	0,001331
95	CC135	0,2539	0,00750	0,06828	0,01097	0,0396	0,6739	0,007362
96	CC135	0,3048	0,00050	0,08382	0,01631	0,0485	0,1954	0,003171
97	CC135	0,2033	0,00050	0,07864	0,01159	0,0424	0,1774	0,002039
98	CC135	0,1015	0,00500	0,07407	0,00633	0,0302	0,4523	0,002832
99	CC135	0,1524	0,00500	0,06401	0,00727	0,0338	0,4889	0,003540
100	CC135	0,2539	0,00500	0,07041	0,01145	0,0405	0,5517	0,006286
101	CC135	0,1271	0,00100	0,06279	0,00625	0,0314	0,2045	0,001274
102	CC135	0,1271	0,00200	0,03840	0,00323	0,0219	0,2256	0,000736
103	CC135	0,2033	0,04000	0,07620	0,01111	0,0415	1,5749	0,017556

Fonte: adaptado de Yarnell & Woodward (1920), Wilcox (1924) e Straub & Morris (1951).

Tabela I2 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares cerâmicos

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
104	CEC24	0,1015	0,00050	0,10119	0,00809	0,0285	0,1850	0,001557
105	CEC24	0,1015	0,00050	0,09418	0,00783	0,0307	0,1978	0,001586
106	CEC24	0,1015	0,00100	0,09967	0,00806	0,0292	0,2533	0,002095
107	CEC24	0,1015	0,00100	0,06949	0,00590	0,0302	0,2676	0,001614
108	CEC24	0,1271	0,00100	0,12375	0,01260	0,0357	0,3155	0,004021
109	CEC24	0,1271	0,00100	0,12253	0,01254	0,0362	0,3057	0,003879
110	CEC24	0,1271	0,00100	0,10668	0,01137	0,0389	0,3045	0,003483
111	CEC24	0,1271	0,00200	0,12527	0,01265	0,0349	0,4225	0,005409
112	CEC24	0,1271	0,00200	0,12497	0,01264	0,0351	0,4200	0,005352
113	CEC24	0,1271	0,00200	0,10607	0,01131	0,0389	0,4545	0,005182
114	CEC24	0,1271	0,00200	0,09601	0,01028	0,0386	0,4618	0,004786
115	CEC24	0,1271	0,00200	0,08504	0,00902	0,0372	0,4282	0,003879
116	CEC24	0,1271	0,00300	0,12162	0,01250	0,0363	0,5410	0,006824
117	CEC24	0,1271	0,00300	0,11948	0,01238	0,0372	0,5380	0,006711
118	CEC24	0,1271	0,00300	0,10729	0,01143	0,0388	0,5438	0,006258
119	CEC24	0,1271	0,00500	0,12101	0,01247	0,0367	0,6818	0,008580
120	CEC24	0,1271	0,00500	0,11491	0,01207	0,0381	0,7215	0,008778
121	CEC24	0,1271	0,00500	0,10577	0,01128	0,0389	0,7379	0,008382
122	CEC24	0,1271	0,00500	0,09083	0,00970	0,0380	0,7154	0,006966
123	CEC24	0,1271	0,01500	0,12009	0,01241	0,0370	1,2283	0,015376
124	CEC24	0,1271	0,01500	0,10455	0,01117	0,0389	1,2771	0,014357
125	CEC24	0,1271	0,01500	0,09723	0,01041	0,0387	1,2811	0,013422
126	CEC24	0,1271	0,01500	0,07711	0,00805	0,0356	1,2536	0,010137
127	CEC24	0,1271	0,01500	0,06370	0,00636	0,0319	1,1985	0,007646
128	CEC24	0,1271	0,01500	0,04816	0,00441	0,0262	1,0717	0,004729
129	CEC24	0,1271	0,01500	0,03597	0,00295	0,0207	0,9269	0,002747
130	CEC24	0,1524	0,00050	0,12253	0,01572	0,0479	0,2438	0,003964
131	CEC24	0,1524	0,00200	0,15179	0,01823	0,0447	0,5212	0,010081
132	CEC24	0,1524	0,00200	0,08443	0,01037	0,0411	0,4782	0,005097
133	CEC24	0,1524	0,00500	0,15179	0,01823	0,0447	0,8214	0,015688
134	CEC24	0,1524	0,00500	0,11521	0,01480	0,0473	0,8205	0,012573
135	CEC24	0,1524	0,00500	0,08412	0,01033	0,0411	0,7391	0,007844
136	CEC24	0,1524	0,00750	0,14417	0,01786	0,0468	1,0266	0,019255
137	CEC24	0,2033	0,00050	0,20208	0,03244	0,0582	0,2722	0,009231
138	CEC24	0,2539	0,00050	0,25024	0,05048	0,0693	0,3560	0,018094
139	CEC24	0,2539	0,00050	0,24750	0,05029	0,0708	0,3289	0,016622
140	CEC24	0,2539	0,00050	0,23866	0,04939	0,0740	0,3292	0,016339
141	CEC24	0,2539	0,00050	0,22830	0,04796	0,0761	0,3316	0,015971
142	CEC24	0,2539	0,00050	0,21245	0,04525	0,0774	0,3478	0,015801
143	CEC24	0,2539	0,00050	0,20300	0,04340	0,0775	0,3578	0,015574
144	CEC24	0,2539	0,00050	0,19080	0,04082	0,0768	0,3709	0,015206
145	CEC24	0,2539	0,00050	0,16642	0,03517	0,0735	0,3700	0,013054
146	CEC24	0,2539	0,00050	0,12832	0,02566	0,0640	0,3386	0,008722
147	CEC24	0,2539	0,00100	0,23835	0,04935	0,0741	0,5063	0,025117
148	CEC24	0,2539	0,00100	0,22037	0,04667	0,0770	0,5340	0,025032
149	CEC24	0,2539	0,00100	0,20757	0,04431	0,0775	0,5553	0,024692
150	CEC24	0,2539	0,00100	0,19050	0,04075	0,0768	0,5538	0,022653
151	CEC24	0,2539	0,00100	0,17435	0,03706	0,0750	0,5425	0,020162
152	CEC24	0,2539	0,00200	0,25085	0,05052	0,0689	0,7065	0,035906
153	CEC24	0,2539	0,00200	0,24293	0,04987	0,0727	0,7163	0,035906
154	CEC24	0,2539	0,00200	0,23713	0,04920	0,0744	0,7172	0,035453
155	CEC24	0,2539	0,00200	0,21153	0,04507	0,0775	0,7696	0,034830
156	CEC24	0,2539	0,00200	0,20330	0,04346	0,0775	0,7684	0,033527

(continua)

Tabela I2 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares cerâmicos
(continuação 1/2)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
157	CEC24	0,2539	0,00200	0,18989	0,04061	0,0767	0,7910	0,032225
158	CEC24	0,2539	0,00200	0,17160	0,03641	0,0745	0,7821	0,028572
159	CEC24	0,2539	0,00200	0,09693	0,01776	0,0525	0,6108	0,010874
160	CEC24	0,2539	0,00200	0,06187	0,00955	0,0365	0,4776	0,004559
161	CEC24	0,2539	0,00300	0,25207	0,05058	0,0680	0,8513	0,043325
162	CEC24	0,2539	0,00300	0,24811	0,05034	0,0705	0,8586	0,043466
163	CEC24	0,2539	0,00300	0,24689	0,05024	0,0711	0,8605	0,043466
164	CEC24	0,2539	0,00300	0,24506	0,05008	0,0719	0,8574	0,043183
165	CEC24	0,2539	0,00300	0,23683	0,04916	0,0745	0,8678	0,042872
166	CEC24	0,2539	0,00300	0,23043	0,04828	0,0757	0,8769	0,042532
167	CEC24	0,2539	0,00300	0,21001	0,04478	0,0775	0,9421	0,042362
168	CEC24	0,2539	0,00300	0,20848	0,04449	0,0775	0,9382	0,041909
169	CEC24	0,2539	0,00300	0,19233	0,04115	0,0770	0,9574	0,039530
170	CEC24	0,2539	0,00300	0,17160	0,03641	0,0745	0,9379	0,034263
171	CEC24	0,2539	0,00300	0,16520	0,03488	0,0733	0,9098	0,031828
172	CEC24	0,2539	0,00300	0,14752	0,03052	0,0694	0,8537	0,026136
173	CEC24	0,2539	0,00300	0,13137	0,02644	0,0649	0,7958	0,021096
174	CEC24	0,2539	0,00300	0,09997	0,01852	0,0538	0,6931	0,012856
175	CEC24	0,2539	0,00300	0,06828	0,01097	0,0397	0,5596	0,006145
176	CEC24	0,2539	0,00500	0,24414	0,04999	0,0723	1,1211	0,056351
177	CEC24	0,2539	0,00500	0,24414	0,04999	0,0723	1,1098	0,055784
178	CEC24	0,2539	0,00500	0,22890	0,04806	0,0760	1,1482	0,055444
179	CEC24	0,2539	0,00500	0,21366	0,04547	0,0774	1,1969	0,054652
180	CEC24	0,2539	0,00500	0,19964	0,04271	0,0775	1,1979	0,052103
181	CEC24	0,2539	0,00500	0,19721	0,04220	0,0773	1,2021	0,050914
182	CEC24	0,2539	0,00500	0,18837	0,04028	0,0766	1,1616	0,046949
183	CEC24	0,2539	0,00500	0,17221	0,03656	0,0746	1,1351	0,041626
184	CEC24	0,2539	0,00500	0,16276	0,03429	0,0728	1,1220	0,038596
185	CEC24	0,2539	0,00500	0,14326	0,02944	0,0683	1,0531	0,031092
186	CEC24	0,2539	0,00500	0,12984	0,02605	0,0645	1,0040	0,026221
187	CEC24	0,2539	0,00500	0,09357	0,01694	0,0512	0,8848	0,015036
188	CEC24	0,2539	0,00500	0,06492	0,01022	0,0380	0,7102	0,007277
189	CEC24	0,2539	0,00750	0,24414	0,04999	0,0723	1,3439	0,067536
190	CEC24	0,2539	0,00750	0,24262	0,04984	0,0728	1,3634	0,068300
191	CEC24	0,2539	0,00750	0,23835	0,04935	0,0741	1,3564	0,067281
192	CEC24	0,2539	0,00750	0,22799	0,04792	0,0761	1,3978	0,067281
193	CEC24	0,2539	0,00750	0,22128	0,04683	0,0769	1,4091	0,066261
194	CEC24	0,2539	0,00750	0,20848	0,04449	0,0775	1,4323	0,063968
195	CEC24	0,2539	0,00750	0,19690	0,04213	0,0773	1,4286	0,060400
196	CEC24	0,2539	0,00750	0,17191	0,03649	0,0746	1,4045	0,051395
197	CEC24	0,2539	0,00750	0,16459	0,03473	0,0732	1,3762	0,047940
198	CEC24	0,2539	0,00750	0,14844	0,03074	0,0697	1,3183	0,040635
199	CEC24	0,2539	0,00750	0,12466	0,02473	0,0628	1,2357	0,030639
200	CEC24	0,2539	0,00750	0,09479	0,01724	0,0517	1,0552	0,018236
201	CEC24	0,2539	0,01000	0,24658	0,05021	0,0713	1,5542	0,078494
202	CEC24	0,2539	0,01000	0,24232	0,04980	0,0729	1,5636	0,078296
203	CEC24	0,2539	0,01000	0,22677	0,04773	0,0764	1,5987	0,076654
204	CEC24	0,2539	0,01000	0,22586	0,04758	0,0764	1,6298	0,077900
205	CEC24	0,2539	0,01000	0,21580	0,04587	0,0773	1,6413	0,075606
206	CEC24	0,2539	0,01000	0,21488	0,04570	0,0774	1,6346	0,075011
207	CEC24	0,2539	0,01000	0,20604	0,04401	0,0776	1,6654	0,073567
208	CEC24	0,2539	0,01000	0,19568	0,04187	0,0772	1,6880	0,070934

(continua)

Tabela I2 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares cerâmicos
(continuação 2/2)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
209	CEC24	0,2539	0,01000	0,17587	0,03742	0,0752	1,6292	0,062184
210	CEC24	0,2539	0,01000	0,16612	0,03510	0,0735	1,6145	0,056860
211	CEC24	0,2539	0,01000	0,14630	0,03021	0,0698	1,5837	0,049073
212	CEC24	0,2539	0,01000	0,12619	0,02512	0,0633	1,4527	0,036585
213	CEC24	0,2539	0,01000	0,09114	0,01634	0,0501	1,2564	0,020586
214	CEC24	0,2539	0,01000	0,06462	0,01015	0,0378	1,0662	0,010845
215	CEC24	0,2539	0,01250	0,24963	0,05044	0,0697	1,7425	0,088405
216	CEC24	0,2539	0,01250	0,22921	0,04810	0,0760	1,7803	0,086027
217	CEC24	0,2539	0,01250	0,21245	0,04525	0,0774	1,8547	0,084243
218	CEC24	0,2539	0,01250	0,20025	0,04283	0,0774	1,8727	0,080505
219	CEC24	0,2539	0,01250	0,19385	0,04148	0,0771	1,8858	0,078494
220	CEC24	0,2539	0,01250	0,17160	0,03641	0,0745	1,8629	0,068045
221	CEC24	0,2539	0,01250	0,16093	0,03384	0,0724	1,8425	0,062524
222	CEC24	0,2539	0,01250	0,14051	0,02875	0,0676	1,7630	0,050829
223	CEC24	0,2539	0,01250	0,12741	0,02543	0,0637	1,6791	0,042815
224	CEC24	0,2539	0,01250	0,09388	0,01701	0,0513	1,4618	0,024919
225	CEC24	0,2539	0,01250	0,06340	0,00988	0,0372	1,2308	0,012176
226	CEC24	0,2539	0,01500	0,18837	0,04028	0,0766	2,0022	0,080930
227	CEC24	0,2539	0,01500	0,16977	0,03598	0,0742	1,9913	0,071868
228	CEC24	0,2539	0,01500	0,16032	0,03369	0,0723	1,9839	0,067026
229	CEC24	0,2539	0,01500	0,13929	0,02844	0,0672	1,8343	0,052330
230	CEC24	0,2539	0,01500	0,11948	0,02342	0,0611	1,7029	0,039983
231	CEC24	0,2539	0,01500	0,09144	0,01642	0,0503	1,5231	0,025060
232	CEC24	0,3048	0,00050	0,30053	0,07276	0,0751	0,3584	0,025400
233	CEC24	0,3048	0,00050	0,27310	0,06894	0,0891	0,3767	0,025513
234	CEC24	0,3048	0,00050	0,26091	0,06650	0,0907	0,3700	0,024183
235	CEC24	0,3048	0,00050	0,24475	0,06280	0,0914	0,3837	0,023730
236	CEC24	0,3048	0,00050	0,21153	0,05404	0,0891	0,3591	0,019142
237	CEC24	0,3048	0,00050	0,19812	0,05021	0,0871	0,3709	0,018406
238	CEC24	0,3048	0,00050	0,17008	0,04186	0,0809	0,3426	0,014187
239	CEC24	0,3048	0,00050	0,15301	0,03667	0,0760	0,3325	0,012063

Fonte: adaptado de Yarnell & Woodward (1920) e Wilcox (1924).

Tabela I3 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares de PVC

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
240	PC7	0,2033	0,00300	0,06736	0,00939	0,0375	0,6669	0,006286
241	PC7	0,2033	0,00300	0,10028	0,01595	0,0509	0,7903	0,012714
242	PC7	0,2033	0,00300	0,12101	0,02014	0,0567	0,8690	0,017585
243	PC7	0,2033	0,00300	0,12131	0,02020	0,0567	0,8681	0,017670
244	PC7	0,2033	0,00300	0,16398	0,02806	0,0622	0,9449	0,026816
245	PC7	0,2033	0,00300	0,16794	0,02868	0,0625	0,9181	0,026646
246	PC7	0,2033	0,00300	0,17038	0,02905	0,0625	0,9065	0,026646
247	PC7	0,2033	0,00630	0,08291	0,01244	0,0442	1,1412	0,014300
248	PC7	0,2033	0,00630	0,05151	0,00647	0,0302	0,8647	0,005635
249	PC7	0,2033	0,00630	0,07650	0,01117	0,0415	1,0546	0,011921
250	PC7	0,2033	0,00630	0,10180	0,01626	0,0506	1,2076	0,019793
251	PC7	0,2033	0,00630	0,12710	0,02135	0,0576	1,3134	0,028289
252	PC7	0,2033	0,00630	0,15789	0,02705	0,0619	1,3817	0,037775
253	PC7	0,2033	0,00630	0,15301	0,02621	0,0613	1,3722	0,036331

(continua)

Tabela I3 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares de PVC
(continuação)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
254	PC7	0,2033	0,01050	0,14204	0,02422	0,0610	1,7057	0,041767
255	PC7	0,2033	0,01050	0,05243	0,00663	0,0305	1,1022	0,007362
256	PC7	0,2033	0,01050	0,07041	0,00998	0,0390	1,3103	0,013167
257	PC7	0,2033	0,01050	0,12009	0,01996	0,0561	1,6316	0,032848
258	PC7	0,2033	0,01050	0,06462	0,00887	0,0366	1,2515	0,011185
259	PC7	0,3048	0,00300	0,08687	0,01714	0,0506	0,8315	0,014498
260	PC7	0,3048	0,00300	0,11034	0,02383	0,0607	0,9601	0,023163
261	PC7	0,3048	0,00300	0,13381	0,03083	0,0701	1,0595	0,033301
262	PC7	0,3048	0,00600	0,06462	0,01129	0,0375	0,9751	0,011270
263	PC7	0,3048	0,00600	0,07681	0,01443	0,0451	1,0677	0,015603
264	PC7	0,3048	0,00600	0,10241	0,02152	0,0579	1,2731	0,027751
265	PC7	0,3048	0,00600	0,13655	0,03166	0,0710	1,4131	0,045505
266	PC7	0,3048	0,00600	0,15362	0,03685	0,0777	1,5176	0,056973
267	PC7	0,3048	0,00600	0,16581	0,04057	0,0811	1,5438	0,063656
268	PC7	0,3048	0,00600	0,16855	0,04140	0,0820	1,5377	0,064732
269	PC7	0,3048	0,01000	0,08626	0,01698	0,0494	1,5142	0,026165
270	PC7	0,3048	0,01000	0,10302	0,02170	0,0576	1,6200	0,035509
271	PC7	0,3048	0,01000	0,10790	0,02311	0,0600	1,8044	0,042305
272	PC7	0,3048	0,01000	0,11125	0,02410	0,0607	1,7566	0,042900
273	PC7	0,3048	0,01000	0,11979	0,02662	0,0646	1,8968	0,051225
274	PC7	0,3048	0,01000	0,15880	0,03843	0,0789	1,9785	0,077786
275	PC7	0,3048	0,01000	0,17922	0,04462	0,0850	2,0800	0,094465
276	PC7	0,3048	0,01000	0,19995	0,05074	0,0902	2,3652	0,122357

Fonte: adaptado de Neale & Price (1964).

Tabela I4 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares de cimento amianto

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
277	AC9	0,3800	0,00052	0,08920	0,02028	0,0528	0,2928	0,005940
278	AC9	0,3800	0,00052	0,08950	0,02037	0,0529	0,2989	0,006090
279	AC9	0,3800	0,00052	0,09810	0,02319	0,0573	0,3156	0,007320
280	AC9	0,3800	0,00052	0,10260	0,02470	0,0595	0,3218	0,007950
281	AC9	0,3800	0,00052	0,10480	0,02545	0,0606	0,3308	0,008420
282	AC9	0,3800	0,00052	0,11360	0,02848	0,0648	0,3371	0,009600
283	AC9	0,3800	0,00052	0,11870	0,03026	0,0671	0,3509	0,010620
284	AC9	0,3800	0,00052	0,12530	0,03260	0,0701	0,3604	0,011750
285	AC9	0,3800	0,00052	0,12840	0,03371	0,0715	0,3702	0,012480
286	AC9	0,3800	0,00052	0,12800	0,03357	0,0713	0,3721	0,012490
287	AC9	0,3800	0,00052	0,13860	0,03741	0,0759	0,3756	0,014050
288	AC9	0,3800	0,00052	0,14000	0,03792	0,0765	0,3881	0,014720
289	AC9	0,3800	0,00052	0,14930	0,04136	0,0803	0,3869	0,016000
290	AC9	0,3800	0,00052	0,15310	0,04277	0,0818	0,3970	0,016980
291	AC9	0,3800	0,00052	0,16060	0,04558	0,0847	0,4081	0,018600
292	AC9	0,3800	0,00104	0,07330	0,01534	0,0444	0,3952	0,006060
293	AC9	0,3800	0,00104	0,08550	0,01910	0,0508	0,4199	0,008020
294	AC9	0,3800	0,00104	0,09400	0,02184	0,0552	0,4578	0,010000
295	AC9	0,3800	0,00104	0,10310	0,02487	0,0597	0,4805	0,011950
296	AC9	0,3800	0,00104	0,11140	0,02771	0,0637	0,5027	0,013930
297	AC9	0,3800	0,00104	0,12140	0,03122	0,0684	0,5160	0,016110

(continua)

Tabela I4 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares de cimento amianto

(continuação 1/2)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
298	AC9	0,3800	0,00104	0,12830	0,03368	0,0715	0,5404	0,018200
299	AC9	0,3800	0,00104	0,13420	0,03581	0,0740	0,5585	0,020000
300	AC9	0,3800	0,00104	0,14080	0,03822	0,0768	0,5749	0,021970
301	AC9	0,3800	0,00104	0,14730	0,04061	0,0795	0,5867	0,023830
302	AC9	0,3800	0,00104	0,15520	0,04356	0,0827	0,5992	0,026100
303	AC9	0,3800	0,00104	0,16000	0,04536	0,0845	0,6078	0,027570
304	AC9	0,3800	0,00149	0,06200	0,01205	0,0381	0,4299	0,005180
305	AC9	0,3800	0,00149	0,07580	0,01608	0,0457	0,4925	0,007920
306	AC9	0,3800	0,00149	0,08840	0,02002	0,0523	0,5454	0,010920
307	AC9	0,3800	0,00149	0,10000	0,02384	0,0582	0,5874	0,014000
308	AC9	0,3800	0,00149	0,10900	0,02689	0,0626	0,6025	0,016200
309	AC9	0,3800	0,00149	0,11900	0,03037	0,0673	0,6348	0,019280
310	AC9	0,3800	0,00149	0,12810	0,03361	0,0714	0,6546	0,022000
311	AC9	0,3800	0,00149	0,13470	0,03599	0,0743	0,6807	0,024500
312	AC9	0,3800	0,00149	0,14450	0,03958	0,0784	0,7075	0,028000
313	AC9	0,3800	0,00149	0,15480	0,04340	0,0825	0,7414	0,032180
314	AC9	0,3800	0,00149	0,16110	0,04576	0,0849	0,7495	0,034300
315	AC9	0,3800	0,00205	0,06030	0,01157	0,0372	0,5133	0,005940
316	AC9	0,3800	0,00205	0,07770	0,01667	0,0467	0,5940	0,009900
317	AC9	0,3800	0,00205	0,09200	0,02119	0,0542	0,6607	0,014000
318	AC9	0,3800	0,00205	0,10510	0,02555	0,0607	0,6997	0,017880
319	AC9	0,3800	0,00205	0,11750	0,02984	0,0666	0,7443	0,022210
320	AC9	0,3800	0,00205	0,12800	0,03357	0,0713	0,7767	0,026070
321	AC9	0,3800	0,00205	0,13640	0,03661	0,0750	0,8195	0,030000
322	AC9	0,3800	0,00205	0,14800	0,04088	0,0798	0,8530	0,034870
323	AC9	0,3800	0,00205	0,15920	0,04505	0,0842	0,8879	0,040000
324	AC9	0,3800	0,00305	0,05600	0,01040	0,0347	0,5973	0,006210
325	AC9	0,3800	0,00305	0,07140	0,01476	0,0433	0,6903	0,010190
326	AC9	0,3800	0,00305	0,08550	0,01910	0,0508	0,7792	0,014880
327	AC9	0,3800	0,00305	0,09720	0,02290	0,0568	0,8495	0,019450
328	AC9	0,3800	0,00305	0,10680	0,02613	0,0615	0,8989	0,023490
329	AC9	0,3800	0,00305	0,11800	0,03001	0,0668	0,9496	0,028500
330	AC9	0,3800	0,00305	0,12760	0,03343	0,0712	1,0006	0,033450
331	AC9	0,3800	0,00305	0,13670	0,03672	0,0751	1,0345	0,037990
332	AC9	0,3800	0,00305	0,14550	0,03995	0,0788	1,0762	0,042990
333	AC9	0,3800	0,00403	0,05000	0,00882	0,0313	0,6622	0,005840
334	AC9	0,3800	0,00403	0,07080	0,01458	0,0430	0,8173	0,011920
335	AC9	0,3800	0,00403	0,08500	0,01894	0,0506	0,9240	0,017500
336	AC9	0,3800	0,00403	0,09830	0,02326	0,0574	1,0098	0,023490
337	AC9	0,3800	0,00403	0,10900	0,02689	0,0626	1,0781	0,028990
338	AC9	0,3800	0,00403	0,11820	0,03009	0,0669	1,1300	0,034000
339	AC9	0,3800	0,00403	0,12850	0,03375	0,0716	1,1853	0,040000
340	AC9	0,3800	0,00403	0,13930	0,03767	0,0762	1,2451	0,046900
341	AC9	0,3800	0,00507	0,03900	0,00613	0,0247	0,6474	0,003970
342	AC9	0,3800	0,00507	0,04600	0,00781	0,0289	0,7160	0,005590
343	AC9	0,3800	0,00507	0,06550	0,01304	0,0401	0,8894	0,011600
344	AC9	0,3800	0,00507	0,07970	0,01728	0,0478	1,0069	0,017400
345	AC9	0,3800	0,00507	0,09090	0,02083	0,0536	1,1032	0,022980
346	AC9	0,3800	0,00507	0,10320	0,02491	0,0598	1,1842	0,029500
347	AC9	0,3800	0,00507	0,11130	0,02768	0,0637	1,2447	0,034450
348	AC9	0,3800	0,00507	0,12400	0,03214	0,0695	1,3225	0,042500

(continua)

Tabela I4 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais circulares de cimento amianto

(continuação 2/2)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
349	AC9	0,3800	0,00507	0,13110	0,03469	0,0727	1,3809	0,047900
350	AC9	0,3800	0,00604	0,03620	0,00550	0,0231	0,6875	0,003780
351	AC9	0,3800	0,00604	0,06070	0,01169	0,0374	0,9548	0,011160
352	AC9	0,3800	0,00604	0,07500	0,01584	0,0453	1,0819	0,017140
353	AC9	0,3800	0,00604	0,08930	0,02031	0,0528	1,1939	0,024250
354	AC9	0,3800	0,00604	0,10480	0,02518	0,0602	1,3129	0,033060
355	AC9	0,3800	0,00604	0,11680	0,02959	0,0663	1,4178	0,041960
356	AC9	0,3800	0,00604	0,12720	0,03328	0,0710	1,4878	0,049520

Fonte: adaptado de Kazemipour & Apelt (1964).

Tabela I5 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais triangulares com revestimento de areia ($K_{SI}=0,0005$)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
357	A1T8	0,0910	0,00208	0,04550	0,00207	0,0161	0,2415	0,000500
358	A1T8	0,0774	0,00504	0,03870	0,00150	0,0137	0,3338	0,000500
359	A1T8	0,0996	0,00504	0,04980	0,00248	0,0176	0,4032	0,001000
360	A1T8	0,1252	0,00504	0,06260	0,00392	0,0221	0,5104	0,002000
361	A1T8	0,1790	0,00504	0,08950	0,00801	0,0316	0,6242	0,005000
362	A1T8	0,3000	0,00504	0,15000	0,02250	0,0530	0,8889	0,020000
363	A1T8	0,0902	0,00997	0,04510	0,00203	0,0159	0,4916	0,001000
364	A1T8	0,1120	0,00997	0,05600	0,00314	0,0198	0,6378	0,002000
365	A1T8	0,1042	0,01488	0,05210	0,00271	0,0184	0,7368	0,002000
366	A1T8	0,2472	0,01488	0,12360	0,01528	0,0437	1,3092	0,020000
367	A1T8	0,3180	0,01488	0,15900	0,02528	0,0562	1,5822	0,040000

Fonte: adaptado de Pimenta (1966).

Tabela I6 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais triangulares com revestimento de areia ($K_{S2}=0,001$)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
368	A2T8	0,1054	0,00102	0,05270	0,00278	0,0186	0,1800	0,000500
369	A2T8	0,0942	0,00211	0,04710	0,00222	0,0167	0,2254	0,000500
370	A2T8	0,1204	0,00211	0,06020	0,00362	0,0213	0,2759	0,001000
371	A2T8	0,1538	0,00211	0,07690	0,00591	0,0272	0,3382	0,002000
372	A2T8	0,2844	0,00211	0,14220	0,02022	0,0503	0,4945	0,010000
373	A2T8	0,3664	0,00211	0,18320	0,03356	0,0648	0,5959	0,020000
374	A2T8	0,1372	0,00504	0,06860	0,00471	0,0243	0,4250	0,002000
375	A2T8	0,1908	0,00504	0,09540	0,00910	0,0337	0,5494	0,005000
376	A2T8	0,2476	0,00504	0,12380	0,01533	0,0438	0,6525	0,010000
377	A2T8	0,3210	0,00504	0,16050	0,02576	0,0567	0,7764	0,020000
378	A2T8	0,4084	0,00504	0,20420	0,04170	0,0722	0,9593	0,040000
379	A2T8	0,1640	0,01029	0,08200	0,00672	0,0290	0,7436	0,005000
380	A2T8	0,2128	0,01029	0,10640	0,01132	0,0376	0,8833	0,010000
381	A2T8	0,2744	0,01029	0,13720	0,01882	0,0485	1,0625	0,020000
382	A2T8	0,3507	0,01029	0,17533	0,03074	0,0620	1,3012	0,040000
383	A2T8	0,4580	0,01029	0,22900	0,05244	0,0810	1,5255	0,080000
384	A2T8	0,1100	0,01540	0,05500	0,00303	0,0194	0,6612	0,002000

(continua)

Tabela I6 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais triangulares com revestimento de areia ($K_{S2}=0,001$)

(continuação)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
385	A2T8	0,1522	0,01540	0,07610	0,00579	0,0269	0,8634	0,005000
386	A2T8	0,1996	0,01540	0,09980	0,00996	0,0353	1,0040	0,010000
387	A2T8	0,2574	0,01540	0,12870	0,01656	0,0455	1,2075	0,020000
388	A2T8	0,3236	0,01540	0,16180	0,02618	0,0572	1,5279	0,040000
389	A2T8	0,4260	0,01540	0,21300	0,04537	0,0753	1,7633	0,080000
390	A2T8	0,1052	0,01903	0,05260	0,00277	0,0186	0,7229	0,002000
391	A2T8	0,1446	0,01903	0,07230	0,00523	0,0256	0,9565	0,005000
392	A2T8	0,1884	0,01903	0,09420	0,00887	0,0333	1,1269	0,010000
393	A2T8	0,2480	0,01903	0,12400	0,01538	0,0438	1,3007	0,020000
394	A2T8	0,4140	0,01903	0,20700	0,04285	0,0732	1,8670	0,080000
395	A2T8	0,1012	0,02490	0,05060	0,00256	0,0179	0,7811	0,002000
396	A2T8	0,1374	0,02490	0,06870	0,00472	0,0243	1,0594	0,005000
397	A2T8	0,1766	0,02490	0,08830	0,00780	0,0312	1,2826	0,010000
398	A2T8	0,2334	0,02490	0,11670	0,01362	0,0413	1,4685	0,020000
399	A2T8	0,3900	0,02490	0,19500	0,03803	0,0689	2,1039	0,080000
400	A2T8	0,0754	0,02986	0,03770	0,00142	0,0133	0,7036	0,001000
401	A2T8	0,0978	0,02986	0,04890	0,00239	0,0173	0,8364	0,002000
402	A2T8	0,1710	0,02986	0,08550	0,00731	0,0302	1,3679	0,010000
403	A2T8	0,2266	0,02986	0,11330	0,01284	0,0401	1,5580	0,020000
404	A2T8	0,2886	0,02986	0,14430	0,02082	0,0510	1,9210	0,040000
405	A2T8	0,3762	0,02986	0,18810	0,03538	0,0665	2,2611	0,080000

Fonte: adaptado de Pimenta (1966).

Tabela I7 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais triangulares com revestimento de areia ($K_{S3}=0,002$)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
406	A3T8	0,1180	0,00076	0,05900	0,00348	0,0209	0,1436	0,000500
407	A3T8	0,1100	0,00119	0,05500	0,00303	0,0194	0,1653	0,000500
408	A3T8	0,1384	0,00119	0,06920	0,00479	0,0245	0,2088	0,001000
409	A3T8	0,1280	0,00211	0,06400	0,00410	0,0226	0,2441	0,001000
410	A3T8	0,1104	0,00495	0,05520	0,00305	0,0195	0,3282	0,001000
411	A3T8	0,1390	0,00495	0,06950	0,00483	0,0246	0,4141	0,002000
412	A3T8	0,1924	0,00495	0,09620	0,00925	0,0340	0,5403	0,005000
413	A3T8	0,2500	0,00495	0,12500	0,01563	0,0442	0,6400	0,010000
414	A3T8	0,3264	0,00495	0,16320	0,02663	0,0577	0,7509	0,020000
415	A3T8	0,1706	0,01004	0,08530	0,00728	0,0302	0,6872	0,005000
416	A3T8	0,2176	0,01004	0,10880	0,01184	0,0385	0,8448	0,010000
417	A3T8	0,1140	0,01505	0,05700	0,00325	0,0202	0,6156	0,002000
418	A3T8	0,2640	0,01505	0,13200	0,01742	0,0467	1,1478	0,020000
419	A3T8	0,1104	0,01892	0,05520	0,00305	0,0195	0,6564	0,002000
420	A3T8	0,1504	0,01892	0,07520	0,00566	0,0266	0,8842	0,005000
421	A3T8	0,1048	0,02484	0,05240	0,00275	0,0185	0,7284	0,002000
422	A3T8	0,1424	0,02484	0,07120	0,00507	0,0252	0,9863	0,005000
423	A3T8	0,2398	0,02484	0,11990	0,01438	0,0424	1,3912	0,020000
424	A3T8	0,1024	0,02993	0,05120	0,00262	0,0181	0,7629	0,002000
425	A3T8	0,2296	0,02993	0,11480	0,01318	0,0406	1,5176	0,020000

Fonte: adaptado de Pimenta (1966).

Tabela I8 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais triangulares com revestimento de areia ($K_{s4}=0,003$)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m ²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m ³ /s)
426	A4T8	0,1020	0,00211	0,05100	0,00260	0,0180	0,1922	0,000500
427	A4T8	0,1280	0,00211	0,06400	0,00410	0,0226	0,2441	0,001000
428	A4T8	0,3870	0,00211	0,19350	0,03744	0,0684	0,5342	0,020000
429	A4T8	0,0892	0,00495	0,04460	0,00199	0,0158	0,2514	0,000500
430	A4T8	0,1130	0,00495	0,05650	0,00319	0,0200	0,3133	0,001000
431	A4T8	0,1450	0,00495	0,07250	0,00526	0,0256	0,3805	0,002000
432	A4T8	0,2012	0,00495	0,10060	0,01012	0,0356	0,4941	0,005000
433	A4T8	0,2576	0,00495	0,12880	0,01659	0,0455	0,6028	0,010000
434	A4T8	0,3384	0,00495	0,16920	0,02863	0,0598	0,6986	0,020000
435	A4T8	0,0764	0,01001	0,03820	0,00146	0,0135	0,3426	0,000500
436	A4T8	0,1004	0,01001	0,05020	0,00252	0,0177	0,3968	0,001000
437	A4T8	0,1280	0,01001	0,06400	0,00410	0,0226	0,4883	0,002000
438	A4T8	0,1796	0,01001	0,08980	0,00806	0,0317	0,6200	0,005000
439	A4T8	0,2316	0,01001	0,11580	0,01341	0,0409	0,7457	0,010000
440	A4T8	0,2962	0,01001	0,14810	0,02193	0,0524	0,9118	0,020000
441	A4T8	0,0708	0,01499	0,03540	0,00125	0,0125	0,3990	0,000500
442	A4T8	0,0928	0,01499	0,04640	0,00215	0,0164	0,4645	0,001000
443	A4T8	0,1196	0,01499	0,05980	0,00358	0,0211	0,5593	0,002000
444	A4T8	0,1606	0,01499	0,08030	0,00645	0,0284	0,7754	0,005000
445	A4T8	0,2074	0,01499	0,10370	0,01075	0,0367	0,9299	0,010000
446	A4T8	0,2700	0,01499	0,13500	0,01823	0,0477	1,0974	0,020000
447	A4T8	0,0684	0,01898	0,03420	0,00117	0,0121	0,4275	0,000500
448	A4T8	0,0880	0,01898	0,04400	0,00194	0,0156	0,5165	0,001000
449	A4T8	0,1122	0,01898	0,05610	0,00315	0,0198	0,6355	0,002000
450	A4T8	0,1544	0,01898	0,07720	0,00596	0,0273	0,8389	0,005000
451	A4T8	0,2570	0,01898	0,12850	0,01651	0,0454	1,2112	0,020000
452	A4T8	0,0662	0,02486	0,03310	0,00110	0,0117	0,4564	0,000500
453	A4T8	0,0848	0,02486	0,04240	0,00180	0,0150	0,5562	0,001000
454	A4T8	0,1080	0,02486	0,05400	0,00292	0,0191	0,6859	0,002000
455	A4T8	0,1474	0,02486	0,07370	0,00543	0,0261	0,9205	0,005000
456	A4T8	0,1894	0,02486	0,09470	0,00897	0,0335	1,1151	0,010000
457	A4T8	0,2450	0,02486	0,12250	0,01501	0,0433	1,3328	0,020000
458	A4T8	0,0642	0,02980	0,03210	0,00103	0,0113	0,4852	0,000500
459	A4T8	0,0824	0,02980	0,04120	0,00170	0,0146	0,5891	0,001000
460	A4T8	0,1040	0,02980	0,05200	0,00270	0,0184	0,7396	0,002000
461	A4T8	0,1432	0,02980	0,07160	0,00513	0,0253	0,9753	0,005000
462	A4T8	0,1838	0,02980	0,09190	0,00845	0,0325	1,1840	0,010000
463	A4T8	0,2360	0,02980	0,11800	0,01392	0,0417	1,4364	0,020000

Fonte: adaptado de Pimenta (1966).

Tabela I9 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais triangulares com revestimento de areia ($K_{s5}=0,004$)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m ²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m ³ /s)
464	A5T8	0,1178	0,00096	0,05890	0,00347	0,0208	0,1441	0,000500
465	A5T8	0,1080	0,00198	0,05400	0,00292	0,0191	0,1715	0,000500
466	A5T8	0,1334	0,00198	0,06670	0,00445	0,0236	0,2248	0,001000
467	A5T8	0,1700	0,00198	0,08500	0,00723	0,0301	0,2768	0,002000
468	A5T8	0,1154	0,00496	0,05770	0,00333	0,0204	0,3004	0,001000
469	A5T8	0,1468	0,00496	0,07340	0,00539	0,0260	0,3712	0,002000

(continua)

Tabela I9 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais triangulares com revestimento de areia ($K_{S5}=0,004$)

(continuação)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m ²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m ³ /s)
470	A5T8	0,2036	0,00496	0,10180	0,01036	0,0360	0,4825	0,005000
471	A5T8	0,2662	0,00496	0,13310	0,01772	0,0471	0,5645	0,010000
472	A5T8	0,3406	0,00496	0,17030	0,02900	0,0602	0,6896	0,020000
473	A5T8	0,4524	0,00496	0,22620	0,05117	0,0800	0,7818	0,040000
474	A5T8	0,1806	0,01010	0,09030	0,00815	0,0319	0,6132	0,005000
475	A5T8	0,2310	0,01010	0,11550	0,01334	0,0408	0,7496	0,010000
476	A5T8	0,2966	0,01010	0,14830	0,02199	0,0524	0,9094	0,020000
477	A5T8	0,1212	0,01500	0,06060	0,00367	0,0214	0,5446	0,002000
478	A5T8	0,1660	0,01500	0,08300	0,00689	0,0293	0,7258	0,005000
479	A5T8	0,1156	0,01919	0,05780	0,00334	0,0204	0,5987	0,002000
480	A5T8	0,1574	0,01919	0,07870	0,00619	0,0278	0,8073	0,005000
481	A5T8	0,2026	0,01919	0,10130	0,01026	0,0358	0,9745	0,010000
482	A5T8	0,2654	0,01919	0,13270	0,01761	0,0469	1,1358	0,020000
483	A5T8	0,1100	0,02517	0,05500	0,00303	0,0194	0,6612	0,002000
484	A5T8	0,1490	0,02517	0,07450	0,00555	0,0263	0,9009	0,005000
485	A5T8	0,2554	0,02517	0,12770	0,01631	0,0451	1,2264	0,020000
486	A5T8	0,1070	0,02979	0,05350	0,00286	0,0189	0,6988	0,002000
487	A5T8	0,1874	0,02979	0,09370	0,00878	0,0331	1,1390	0,010000
488	A5T8	0,2440	0,02979	0,12200	0,01488	0,0431	1,3437	0,020000
489	A5T8	0,4040	0,02979	0,20200	0,04080	0,0714	1,9606	0,080000

Fonte: adaptado de Pimenta (1966).

Tabela I10 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais triangulares com revestimento de areia ($K_{S6}=0,00436$)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m ²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m ³ /s)
490	A6T8	0,3492	0,00700	0,17460	0,03049	0,0617	0,8050	0,024540
491	A6T8	0,2560	0,01000	0,12800	0,01638	0,0453	0,7971	0,013060
492	A6T8	0,3026	0,01000	0,15130	0,02289	0,0535	0,8676	0,019860
493	A6T8	0,0976	0,01500	0,04880	0,00238	0,0173	0,4577	0,001090
494	A6T8	0,1424	0,01500	0,07120	0,00507	0,0252	0,6115	0,003100
495	A6T8	0,1934	0,01500	0,09670	0,00935	0,0342	0,7539	0,007050
496	A6T8	0,2648	0,01500	0,13240	0,01753	0,0468	0,8979	0,015740
497	A6T8	0,3344	0,01500	0,16720	0,02796	0,0591	1,0921	0,030530
498	A6T8	0,0928	0,02000	0,04640	0,00215	0,0164	0,5063	0,001090
499	A6T8	0,1620	0,02000	0,08100	0,00656	0,0286	0,7758	0,005090
500	A6T8	0,2084	0,02000	0,10420	0,01086	0,0368	0,9155	0,009940
501	A6T8	0,2766	0,02000	0,13830	0,01913	0,0489	1,0833	0,020720
502	A6T8	0,3126	0,02000	0,15630	0,02443	0,0553	1,2366	0,030210
503	A6T8	0,0888	0,02500	0,04440	0,00197	0,0157	0,5986	0,001180
504	A6T8	0,1280	0,02500	0,06400	0,00410	0,0226	0,7593	0,003110
505	A6T8	0,1984	0,02500	0,09920	0,00984	0,0351	1,0081	0,009920
506	A6T8	0,2614	0,02500	0,13070	0,01708	0,0462	1,1866	0,020270
507	A6T8	0,3300	0,02500	0,16500	0,02723	0,0583	1,4902	0,040570
508	A6T8	0,0872	0,03000	0,04360	0,00190	0,0154	0,6470	0,001230
509	A6T8	0,1258	0,03000	0,06290	0,00396	0,0222	0,8215	0,003250
510	A6T8	0,1948	0,03000	0,09740	0,00949	0,0344	1,0446	0,009910
511	A6T8	0,2494	0,03000	0,12470	0,01555	0,0441	1,3196	0,020520
512	A6T8	0,3204	0,03000	0,16020	0,02566	0,0566	1,5680	0,040240

Fonte: adaptado de Pimenta (1966).

Tabela II1 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares de aço

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
513	AR6	1,0668	0,00038	0,09144	0,09755	0,0781	0,3523	0,034263
514	AR6	1,0668	0,00047	0,15331	0,16356	0,1191	0,5176	0,084384
515	AR6	1,0668	0,00132	0,08138	0,08682	0,0706	0,6511	0,056351
516	AR6	1,0668	0,00092	0,09235	0,09852	0,0787	0,5794	0,056917
517	AR6	1,0668	0,00061	0,10759	0,11478	0,0895	0,5071	0,056634
518	AR6	1,0668	0,00043	0,12162	0,12974	0,0990	0,4356	0,056351
519	AR6	1,0668	0,00007	0,09540	0,10178	0,0809	0,1430	0,014102
520	AR6	1,0668	0,00024	0,12405	0,13234	0,1006	0,3208	0,042475
521	AR6	1,0668	0,00042	0,12222	0,13039	0,0994	0,4357	0,056634
522	AR6	1,0668	0,00063	0,12253	0,13071	0,0996	0,5432	0,073624
523	AR6	1,0668	0,00111	0,12588	0,13429	0,1018	0,7489	0,100242
524	AR6	1,0668	0,00132	0,12741	0,13592	0,1028	0,8380	0,113551
525	AR6	1,0668	0,00011	0,13076	0,13949	0,1050	0,2097	0,029166
526	AR6	1,0668	0,00192	0,13838	0,14762	0,1099	1,0757	0,161123
527	AR6	1,0668	0,00065	0,15118	0,16128	0,1178	0,6162	0,099109
528	AR6	1,0668	0,00021	0,15331	0,16356	0,1191	0,3437	0,056067
529	AR6	1,0668	0,00156	0,06279	0,06698	0,0562	0,6189	0,041343
530	AR6	1,0668	0,00211	0,04450	0,04747	0,0411	0,5982	0,028317
531	AR6	1,0668	0,00069	0,06553	0,06991	0,0584	0,4052	0,028317
532	AR6	1,0668	0,00095	0,03261	0,03479	0,0307	0,3020	0,010477
533	AR6	1,0668	0,00012	0,06797	0,07251	0,0603	0,1457	0,010534
534	AR6	1,0668	0,00130	0,03048	0,03252	0,0288	0,3494	0,011327
535	AR6	1,0668	0,00110	0,04511	0,04812	0,0416	0,4133	0,019822
536	AR6	1,0668	0,00041	0,04511	0,04812	0,0416	0,2349	0,011270
537	AR6	1,0668	0,00661	0,10394	0,11088	0,0870	1,8768	0,207563
538	AR6	1,0668	0,03305	0,02902	0,03096	0,0275	2,1121	0,065129
539	AR6	1,0668	0,02765	0,02643	0,02819	0,0252	1,7956	0,050404
540	AR6	1,0668	0,00468	0,03027	0,03229	0,0286	0,7006	0,022540
541	AR6	1,0668	0,00330	0,02850	0,03040	0,0271	0,5595	0,016905
542	AR6	1,0668	0,01956	0,05669	0,06048	0,0512	2,3491	0,141584
543	AR6	1,0668	0,01156	0,05944	0,06341	0,0535	1,7835	0,112701
544	AR6	1,0668	0,00298	0,13899	0,14827	0,1103	1,3750	0,203315
545	AR6	1,0668	0,00595	0,10790	0,11511	0,0897	1,7707	0,203315
546	AR6	1,0668	0,01415	0,07925	0,08454	0,0690	2,3560	0,198501
547	AR6	1,0668	0,00510	0,08504	0,09072	0,0733	1,4150	0,127992
548	AR6	1,0668	0,02611	0,04145	0,04422	0,0385	2,2547	0,099392
549	AR6	1,0668	0,00958	0,05243	0,05593	0,0477	1,5290	0,085234
550	AR6	1,0668	0,01905	0,04145	0,04422	0,0385	1,9329	0,085234
551	AR6	1,0668	0,00625	0,06126	0,06536	0,0550	1,3079	0,085234
552	AR6	1,0668	0,02980	0,02801	0,02988	0,0266	1,9114	0,056917
553	AR6	1,0668	0,00294	0,03780	0,04032	0,0353	0,6458	0,025967
554	AR6	1,0668	0,00827	0,03139	0,03349	0,0296	1,0237	0,034178
555	AR6	1,0668	0,00827	0,03780	0,04032	0,0353	1,1581	0,046525
556	AR6	1,0668	0,00551	0,03170	0,03382	0,0299	0,8182	0,027581
557	AR6	1,0668	0,00535	0,03078	0,03284	0,0291	0,7931	0,025967

Fonte: adaptado de Tracy & Lester (1961).

Tabela I12 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares de vidro

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
558	VR10	0,3000	0,00059	0,02000	0,00600	0,0176	0,1583	0,000950
559	VR10	0,3000	0,00059	0,02300	0,00690	0,0199	0,1739	0,001200
560	VR10	0,3000	0,00059	0,02500	0,00750	0,0214	0,1840	0,001380
561	VR10	0,3000	0,00059	0,02700	0,00810	0,0229	0,1914	0,001550
562	VR10	0,3000	0,00059	0,03000	0,00900	0,0250	0,1967	0,001770
563	VR10	0,3000	0,00059	0,03300	0,00990	0,0270	0,2091	0,002070
564	VR10	0,3000	0,00059	0,03500	0,01050	0,0284	0,2238	0,002350
565	VR10	0,3000	0,00059	0,03700	0,01110	0,0297	0,2297	0,002550
566	VR10	0,3000	0,00059	0,04000	0,01200	0,0316	0,2425	0,002910
567	VR10	0,3000	0,00059	0,04500	0,01350	0,0346	0,2533	0,003420
568	VR10	0,3000	0,00059	0,05000	0,01500	0,0375	0,2727	0,004090
569	VR10	0,3000	0,00059	0,06000	0,01800	0,0429	0,3022	0,005440
570	VR10	0,3000	0,00059	0,07000	0,02100	0,0477	0,3205	0,006730
571	VR10	0,3000	0,00059	0,08000	0,02400	0,0522	0,3429	0,008230
572	VR10	0,3000	0,00059	0,09000	0,02700	0,0563	0,3548	0,009580
573	VR10	0,3000	0,00059	0,10000	0,03000	0,0600	0,3697	0,011090
574	VR10	0,3000	0,00059	0,11000	0,03300	0,0635	0,3955	0,013050
575	VR10	0,3000	0,00059	0,12000	0,03600	0,0667	0,4022	0,014480
576	VR10	0,3000	0,00059	0,13000	0,03900	0,0696	0,4174	0,016280
577	VR10	0,3000	0,00059	0,14000	0,04200	0,0724	0,4214	0,017700
578	VR10	0,3000	0,00059	0,15000	0,04500	0,0750	0,4400	0,019800
579	VR10	0,3000	0,00114	0,03000	0,00900	0,0250	0,2933	0,002640
580	VR10	0,3000	0,00114	0,03300	0,00990	0,0270	0,3131	0,003100
581	VR10	0,3000	0,00114	0,03500	0,01050	0,0284	0,3219	0,003380
582	VR10	0,3000	0,00114	0,03700	0,01110	0,0297	0,3396	0,003770
583	VR10	0,3000	0,00114	0,04000	0,01200	0,0316	0,3533	0,004240
584	VR10	0,3000	0,00114	0,04500	0,01350	0,0346	0,3733	0,005040
585	VR10	0,3000	0,00114	0,05000	0,01500	0,0375	0,3953	0,005930
586	VR10	0,3000	0,00114	0,05500	0,01650	0,0402	0,4158	0,006860
587	VR10	0,3000	0,00114	0,06000	0,01800	0,0429	0,4372	0,007870
588	VR10	0,3000	0,00114	0,06500	0,01950	0,0453	0,4451	0,008680
589	VR10	0,3000	0,00114	0,07000	0,02100	0,0477	0,4590	0,009640
590	VR10	0,3000	0,00114	0,07500	0,02250	0,0500	0,4831	0,010870
591	VR10	0,3000	0,00114	0,08000	0,02400	0,0522	0,4900	0,011760
592	VR10	0,3000	0,00114	0,08500	0,02550	0,0543	0,5106	0,013020
593	VR10	0,3000	0,00114	0,09000	0,02700	0,0563	0,5270	0,014230
594	VR10	0,3000	0,00114	0,09500	0,02850	0,0582	0,5365	0,015290
595	VR10	0,3000	0,00114	0,10000	0,03000	0,0600	0,5420	0,016260
596	VR10	0,3000	0,00114	0,10500	0,03150	0,0618	0,5578	0,017570
597	VR10	0,3000	0,00114	0,11000	0,03300	0,0635	0,5636	0,018600
598	VR10	0,3000	0,00114	0,11500	0,03450	0,0651	0,5719	0,019730
599	VR10	0,3000	0,00114	0,12000	0,03600	0,0667	0,5917	0,021300
600	VR10	0,3000	0,00114	0,12600	0,03780	0,0685	0,5913	0,022350
601	VR10	0,3000	0,00148	0,11000	0,03300	0,0635	0,6700	0,022110
602	VR10	0,3000	0,00148	0,10500	0,03150	0,0618	0,6517	0,020530
603	VR10	0,3000	0,00148	0,10000	0,03000	0,0600	0,6277	0,018830
604	VR10	0,3000	0,00148	0,09500	0,02850	0,0582	0,6154	0,017540
605	VR10	0,3000	0,00148	0,09000	0,02700	0,0563	0,6070	0,016390
606	VR10	0,3000	0,00148	0,08500	0,02550	0,0543	0,5933	0,015130
607	VR10	0,3000	0,00148	0,08000	0,02400	0,0522	0,5788	0,013890
608	VR10	0,3000	0,00148	0,07800	0,02340	0,0513	0,5658	0,013240
609	VR10	0,3000	0,00148	0,07500	0,02250	0,0500	0,5609	0,012620
610	VR10	0,3000	0,00148	0,07200	0,02160	0,0486	0,5542	0,011970

(continua)

Tabela I12 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares de vidro
(continuação 1/2)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
611	VR10	0,3000	0,00148	0,07000	0,02100	0,0477	0,5386	0,011310
612	VR10	0,3000	0,00148	0,06700	0,02010	0,0463	0,5343	0,010740
613	VR10	0,3000	0,00148	0,06500	0,01950	0,0453	0,5205	0,010150
614	VR10	0,3000	0,00148	0,06200	0,01860	0,0439	0,5156	0,009590
615	VR10	0,3000	0,00148	0,06000	0,01800	0,0429	0,5056	0,009100
616	VR10	0,3000	0,00189	0,08000	0,02400	0,0522	0,6546	0,015710
617	VR10	0,3000	0,00189	0,08500	0,02550	0,0543	0,6824	0,017400
618	VR10	0,3000	0,00189	0,08600	0,02580	0,0547	0,6764	0,017450
619	VR10	0,3000	0,00189	0,09000	0,02700	0,0563	0,6956	0,018780
620	VR10	0,3000	0,00189	0,09500	0,02850	0,0582	0,7102	0,020240
621	VR10	0,3000	0,00189	0,10000	0,03000	0,0600	0,7390	0,022170
622	VR10	0,3000	0,00105	0,03000	0,00900	0,0250	0,2811	0,002530
623	VR10	0,3000	0,00105	0,03200	0,00960	0,0264	0,2979	0,002860
624	VR10	0,3000	0,00105	0,03500	0,01050	0,0284	0,3143	0,003300
625	VR10	0,3000	0,00105	0,03700	0,01110	0,0297	0,3198	0,003550
626	VR10	0,3000	0,00105	0,04000	0,01200	0,0316	0,3283	0,003940
627	VR10	0,3000	0,00105	0,04500	0,01350	0,0346	0,3607	0,004870
628	VR10	0,3000	0,00105	0,05000	0,01500	0,0375	0,3813	0,005720
629	VR10	0,3000	0,00105	0,05500	0,01650	0,0402	0,3964	0,006540
630	VR10	0,3000	0,00105	0,06000	0,01800	0,0429	0,4111	0,007400
631	VR10	0,3000	0,00105	0,06500	0,01950	0,0453	0,4221	0,008230
632	VR10	0,3000	0,00105	0,07000	0,02100	0,0477	0,4495	0,009440
633	VR10	0,3000	0,00105	0,07500	0,02250	0,0500	0,4582	0,010310
634	VR10	0,3000	0,00105	0,08000	0,02400	0,0522	0,4708	0,011300
635	VR10	0,3000	0,00105	0,08500	0,02550	0,0543	0,4843	0,012350
636	VR10	0,3000	0,00105	0,09000	0,02700	0,0563	0,4967	0,013410
637	VR10	0,3000	0,00105	0,09500	0,02850	0,0582	0,5081	0,014480
638	VR10	0,3000	0,00105	0,10000	0,03000	0,0600	0,5180	0,015540
639	VR10	0,3000	0,00105	0,10500	0,03150	0,0618	0,5279	0,016630
640	VR10	0,3000	0,00105	0,11000	0,03300	0,0635	0,5382	0,017760
641	VR10	0,3000	0,00105	0,11500	0,03450	0,0651	0,5513	0,019020
642	VR10	0,3000	0,00105	0,12000	0,03600	0,0667	0,5606	0,020180
643	VR10	0,3000	0,00105	0,12500	0,03750	0,0682	0,5669	0,021260
644	VR10	0,3000	0,00105	0,13000	0,03900	0,0696	0,5731	0,022350
645	VR10	0,6000	0,00067	0,05500	0,03300	0,0465	0,3367	0,011110
646	VR10	0,6000	0,00067	0,05700	0,03420	0,0479	0,3491	0,011940
647	VR10	0,6000	0,00067	0,06000	0,03600	0,0500	0,3628	0,013060
648	VR10	0,6000	0,00067	0,06600	0,03960	0,0541	0,3788	0,015000
649	VR10	0,6000	0,00067	0,07200	0,04320	0,0581	0,3921	0,016940
650	VR10	0,6000	0,00067	0,07800	0,04680	0,0619	0,4154	0,019440
651	VR10	0,6000	0,00067	0,08500	0,05100	0,0662	0,4357	0,022220
652	VR10	0,6000	0,00067	0,09300	0,05580	0,0710	0,4505	0,025140
653	VR10	0,6000	0,00067	0,10000	0,06000	0,0750	0,4653	0,027920
654	VR10	0,6000	0,00067	0,10800	0,06480	0,0794	0,4844	0,031390
655	VR10	0,6000	0,00067	0,11300	0,06780	0,0821	0,5080	0,034440
656	VR10	0,6000	0,00067	0,11800	0,07080	0,0847	0,5199	0,036810
657	VR10	0,6000	0,00067	0,13100	0,07860	0,0912	0,5407	0,042500
658	VR10	0,6000	0,00067	0,13900	0,08340	0,0950	0,5546	0,046250
659	VR10	0,6000	0,00067	0,14600	0,08760	0,0982	0,5660	0,049580
660	VR10	0,6000	0,00067	0,15300	0,09180	0,1013	0,5886	0,054030
661	VR10	0,6000	0,00067	0,16000	0,09600	0,1043	0,5903	0,056670
662	VR10	0,6000	0,00067	0,17000	0,10200	0,1085	0,6073	0,061940

(continua)

Tabela I12 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares de vidro
(continuação 2/2)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
663	VR10	0,6000	0,00067	0,18300	0,10980	0,1137	0,6261	0,068750
664	VR10	0,6000	0,00067	0,20400	0,12240	0,1214	0,6559	0,080280
665	VR10	0,6000	0,00067	0,23200	0,13920	0,1308	0,6845	0,095280
666	VR10	0,6000	0,00067	0,27700	0,16620	0,1440	0,7345	0,122080
667	VR10	0,6000	0,00024	0,04200	0,02520	0,0368	0,1619	0,004080
668	VR10	0,6000	0,00024	0,05000	0,03000	0,0429	0,1797	0,005390
669	VR10	0,6000	0,00024	0,05400	0,03240	0,0458	0,1886	0,006110
670	VR10	0,6000	0,00024	0,06100	0,03660	0,0507	0,2011	0,007360
671	VR10	0,6000	0,00024	0,06700	0,04020	0,0548	0,2072	0,008330
672	VR10	0,6000	0,00024	0,07200	0,04320	0,0581	0,2218	0,009580
673	VR10	0,6000	0,00024	0,08400	0,05040	0,0656	0,2425	0,012220
674	VR10	0,6000	0,00024	0,09400	0,05640	0,0716	0,2610	0,014720
675	VR10	0,6000	0,00024	0,10700	0,06420	0,0789	0,2726	0,017500
676	VR10	0,6000	0,00024	0,11700	0,07020	0,0842	0,2849	0,020000
677	VR10	0,6000	0,00024	0,12600	0,07560	0,0887	0,2995	0,022640
678	VR10	0,6000	0,00024	0,14000	0,08400	0,0955	0,3151	0,026470
679	VR10	0,0750	0,00060	0,02000	0,00150	0,0130	0,1267	0,000190
680	VR10	0,0750	0,00060	0,02500	0,00188	0,0150	0,1493	0,000280
681	VR10	0,0750	0,00060	0,03000	0,00225	0,0167	0,1600	0,000360
682	VR10	0,0750	0,00060	0,04000	0,00300	0,0194	0,1633	0,000490
683	VR10	0,0750	0,00060	0,05000	0,00375	0,0214	0,1813	0,000680
684	VR10	0,0750	0,00060	0,05500	0,00413	0,0223	0,1939	0,000800
685	VR10	0,0750	0,00060	0,06000	0,00450	0,0231	0,2000	0,000900
686	VR10	0,0750	0,00060	0,07000	0,00525	0,0244	0,1981	0,001040

Fonte: adaptado de Cheng et al. (2011).

Tabela I13 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares estreitos de vidro

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
687	VRE11	0,0096	0,01700	0,07630	0,00073	0,0045	0,4123	0,000302
688	VRE11	0,0096	0,01700	0,07230	0,00069	0,0045	0,4092	0,000284
689	VRE11	0,0095	0,01700	0,06380	0,00061	0,0044	0,4108	0,000249
690	VRE11	0,0095	0,01700	0,05500	0,00052	0,0044	0,4019	0,000210
691	VRE11	0,0095	0,01700	0,05000	0,00048	0,0043	0,3979	0,000189
692	VRE11	0,0095	0,01700	0,04580	0,00044	0,0043	0,3953	0,000172
693	VRE11	0,0095	0,01700	0,04280	0,00041	0,0043	0,3935	0,000160
694	VRE11	0,0094	0,01700	0,03800	0,00036	0,0042	0,3919	0,000140
695	VRE11	0,0094	0,01700	0,03390	0,00032	0,0041	0,3860	0,000123
696	VRE11	0,0094	0,01700	0,03000	0,00028	0,0041	0,3830	0,000108
697	VRE11	0,0094	0,01700	0,02790	0,00026	0,0040	0,3775	0,000099
698	VRE11	0,0094	0,01700	0,02370	0,00022	0,0039	0,3726	0,000083
699	VRE11	0,0094	0,01700	0,02120	0,00020	0,0038	0,3613	0,000072
700	VRE11	0,0094	0,01700	0,01940	0,00018	0,0038	0,3619	0,000066
701	VRE11	0,0094	0,01700	0,01930	0,00018	0,0038	0,3583	0,000065
702	VRE11	0,0094	0,01700	0,01730	0,00016	0,0037	0,3567	0,000058
703	VRE11	0,0094	0,01700	0,01670	0,00016	0,0037	0,3504	0,000055
704	VRE11	0,0094	0,01700	0,01590	0,00015	0,0036	0,3479	0,000052
705	VRE11	0,0093	0,01700	0,01130	0,00011	0,0033	0,3235	0,000034
706	VRE11	0,0093	0,01700	0,01030	0,00010	0,0032	0,3236	0,000031

(continua)

Tabela I13 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares estreitos de vidro

(continuação 1/4)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
707	VRE11	0,0094	0,03500	0,02850	0,00027	0,0040	0,5636	0,000151
708	VRE11	0,0094	0,03500	0,02700	0,00025	0,0040	0,5634	0,000143
709	VRE11	0,0094	0,03500	0,02510	0,00024	0,0040	0,5595	0,000132
710	VRE11	0,0094	0,03500	0,02330	0,00022	0,0039	0,5525	0,000121
711	VRE11	0,0094	0,03500	0,02070	0,00019	0,0038	0,5396	0,000105
712	VRE11	0,0094	0,03500	0,01840	0,00017	0,0037	0,5319	0,000092
713	VRE11	0,0094	0,03500	0,01740	0,00016	0,0037	0,5258	0,000086
714	VRE11	0,0094	0,03500	0,01570	0,00015	0,0036	0,5218	0,000077
715	VRE11	0,0094	0,03500	0,01500	0,00014	0,0036	0,5177	0,000073
716	VRE11	0,0094	0,03500	0,01400	0,00013	0,0035	0,5091	0,000067
717	VRE11	0,0093	0,03500	0,01370	0,00013	0,0035	0,5102	0,000065
718	VRE11	0,0093	0,03500	0,01280	0,00012	0,0034	0,5040	0,000060
719	VRE11	0,0093	0,03500	0,01130	0,00011	0,0033	0,4948	0,000052
720	VRE11	0,0093	0,03500	0,01080	0,00010	0,0033	0,4879	0,000049
721	VRE11	0,0093	0,03500	0,01050	0,00010	0,0032	0,4813	0,000047
722	VRE11	0,0093	0,03500	0,01030	0,00010	0,0032	0,4802	0,000046
723	VRE11	0,0093	0,03500	0,00930	0,00009	0,0031	0,4625	0,000040
724	VRE11	0,0093	0,03500	0,00850	0,00008	0,0030	0,4554	0,000036
725	VRE11	0,0093	0,03500	0,00790	0,00007	0,0029	0,4492	0,000033
726	VRE11	0,0093	0,03500	0,00730	0,00007	0,0028	0,4419	0,000030
727	VRE11	0,0095	0,05200	0,04230	0,00040	0,0043	0,7441	0,000299
728	VRE11	0,0094	0,05200	0,03900	0,00037	0,0042	0,7474	0,000274
729	VRE11	0,0094	0,05200	0,03490	0,00033	0,0041	0,7407	0,000243
730	VRE11	0,0094	0,05200	0,03100	0,00029	0,0041	0,7310	0,000213
731	VRE11	0,0094	0,05200	0,02780	0,00026	0,0040	0,7194	0,000188
732	VRE11	0,0094	0,05200	0,02490	0,00023	0,0040	0,7092	0,000166
733	VRE11	0,0094	0,05200	0,02270	0,00021	0,0039	0,6983	0,000149
734	VRE11	0,0094	0,05200	0,01990	0,00019	0,0038	0,6843	0,000128
735	VRE11	0,0094	0,05200	0,01710	0,00016	0,0037	0,6719	0,000108
736	VRE11	0,0094	0,05200	0,01560	0,00015	0,0036	0,6547	0,000096
737	VRE11	0,0094	0,05200	0,01480	0,00014	0,0036	0,6613	0,000092
738	VRE11	0,0093	0,05200	0,01370	0,00013	0,0035	0,6514	0,000083
739	VRE11	0,0093	0,05200	0,01290	0,00012	0,0034	0,6418	0,000077
740	VRE11	0,0093	0,05200	0,01190	0,00011	0,0033	0,6415	0,000071
741	VRE11	0,0093	0,05200	0,01100	0,00010	0,0033	0,6256	0,000064
742	VRE11	0,0093	0,05200	0,01010	0,00009	0,0032	0,6175	0,000058
743	VRE11	0,0093	0,05200	0,00950	0,00009	0,0031	0,5999	0,000053
744	VRE11	0,0093	0,05200	0,00860	0,00008	0,0030	0,5876	0,000047
745	VRE11	0,0093	0,05200	0,00770	0,00007	0,0029	0,5725	0,000041
746	VRE11	0,0093	0,05200	0,00610	0,00006	0,0026	0,5288	0,000030
747	VRE11	0,0094	0,07000	0,02490	0,00023	0,0040	0,8417	0,000197
748	VRE11	0,0094	0,07000	0,02250	0,00021	0,0039	0,8274	0,000175
749	VRE11	0,0094	0,07000	0,02140	0,00020	0,0039	0,8302	0,000167
750	VRE11	0,0094	0,07000	0,01980	0,00019	0,0038	0,8167	0,000152
751	VRE11	0,0094	0,07000	0,01930	0,00018	0,0038	0,8103	0,000147
752	VRE11	0,0094	0,07000	0,01830	0,00017	0,0037	0,8080	0,000139
753	VRE11	0,0094	0,07000	0,01800	0,00017	0,0037	0,8038	0,000136
754	VRE11	0,0094	0,07000	0,01680	0,00016	0,0037	0,7915	0,000125
755	VRE11	0,0094	0,07000	0,01660	0,00016	0,0037	0,7883	0,000123
756	VRE11	0,0094	0,07000	0,01450	0,00014	0,0035	0,7704	0,000105
757	VRE11	0,0094	0,07000	0,01410	0,00013	0,0035	0,7696	0,000102

(continua)

Tabela I13 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares estreitos de vidro

(continuação 2/4)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
758	VRE11	0,0093	0,07000	0,01340	0,00012	0,0035	0,7703	0,000096
759	VRE11	0,0093	0,07000	0,01280	0,00012	0,0034	0,7644	0,000091
760	VRE11	0,0093	0,07000	0,01230	0,00011	0,0034	0,7606	0,000087
761	VRE11	0,0093	0,07000	0,01110	0,00010	0,0033	0,7362	0,000076
762	VRE11	0,0093	0,07000	0,01040	0,00010	0,0032	0,7341	0,000071
763	VRE11	0,0093	0,07000	0,01030	0,00010	0,0032	0,7203	0,000069
764	VRE11	0,0093	0,07000	0,01030	0,00010	0,0032	0,7308	0,000070
765	VRE11	0,0093	0,07000	0,00890	0,00008	0,0031	0,7007	0,000058
766	VRE11	0,0093	0,07000	0,00730	0,00007	0,0028	0,6628	0,000045
767	VRE11	0,0094	0,08700	0,01560	0,00015	0,0036	0,8933	0,000131
768	VRE11	0,0094	0,08700	0,02240	0,00021	0,0039	0,9451	0,000199
769	VRE11	0,0094	0,08700	0,02000	0,00019	0,0038	0,9255	0,000174
770	VRE11	0,0094	0,08700	0,01790	0,00017	0,0037	0,9093	0,000153
771	VRE11	0,0094	0,08700	0,01540	0,00014	0,0036	0,8911	0,000129
772	VRE11	0,0093	0,08700	0,01290	0,00012	0,0034	0,8669	0,000104
773	VRE11	0,0093	0,08700	0,01150	0,00011	0,0033	0,8509	0,000091
774	VRE11	0,0093	0,08700	0,01040	0,00010	0,0032	0,8375	0,000081
775	VRE11	0,0093	0,08700	0,00880	0,00008	0,0030	0,7942	0,000065
776	VRE11	0,0093	0,08700	0,00690	0,00006	0,0028	0,7324	0,000047
777	VRE11	0,0094	0,08700	0,02030	0,00019	0,0038	0,9276	0,000177
778	VRE11	0,0093	0,08700	0,00660	0,00006	0,0027	0,7331	0,000045
779	VRE11	0,0094	0,08700	0,03170	0,00030	0,0041	0,9866	0,000294
780	VRE11	0,0094	0,08700	0,02900	0,00027	0,0040	0,9685	0,000264
781	VRE11	0,0094	0,08700	0,02620	0,00025	0,0040	0,9623	0,000237
782	VRE11	0,0094	0,08700	0,02170	0,00020	0,0039	0,9364	0,000191
783	VRE11	0,0094	0,08700	0,01810	0,00017	0,0037	0,9110	0,000155
784	VRE11	0,0093	0,08700	0,01340	0,00012	0,0035	0,8747	0,000109
785	VRE11	0,0093	0,08700	0,01100	0,00010	0,0033	0,8309	0,000085
786	VRE11	0,0093	0,08700	0,00800	0,00007	0,0029	0,7796	0,000058
787	VRE11	0,0094	0,10500	0,03160	0,00030	0,0041	1,1009	0,000327
788	VRE11	0,0094	0,10500	0,02880	0,00027	0,0040	1,0897	0,000295
789	VRE11	0,0094	0,10500	0,02590	0,00024	0,0040	1,0720	0,000261
790	VRE11	0,0094	0,10500	0,02450	0,00023	0,0039	1,0551	0,000243
791	VRE11	0,0094	0,10500	0,02250	0,00021	0,0039	1,0544	0,000223
792	VRE11	0,0094	0,10500	0,02250	0,00021	0,0039	1,0402	0,000220
793	VRE11	0,0094	0,10500	0,02010	0,00019	0,0038	1,0268	0,000194
794	VRE11	0,0094	0,10500	0,01950	0,00018	0,0038	1,0311	0,000189
795	VRE11	0,0094	0,10500	0,01920	0,00018	0,0038	1,0195	0,000184
796	VRE11	0,0094	0,10500	0,01700	0,00016	0,0037	1,0013	0,000160
797	VRE11	0,0094	0,10500	0,01630	0,00015	0,0036	0,9986	0,000153
798	VRE11	0,0094	0,10500	0,01580	0,00015	0,0036	0,9830	0,000146
799	VRE11	0,0093	0,10500	0,01340	0,00012	0,0035	0,9790	0,000122
800	VRE11	0,0093	0,10500	0,01300	0,00012	0,0034	0,9595	0,000116
801	VRE11	0,0093	0,10500	0,01100	0,00010	0,0033	0,9286	0,000095
802	VRE11	0,0093	0,10500	0,01020	0,00009	0,0032	0,9171	0,000087
803	VRE11	0,0093	0,10500	0,00980	0,00009	0,0032	0,9107	0,000083
804	VRE11	0,0093	0,10500	0,00790	0,00007	0,0029	0,8575	0,000063
805	VRE11	0,0093	0,10500	0,00700	0,00007	0,0028	0,8449	0,000055
806	VRE11	0,0093	0,10500	0,00700	0,00007	0,0028	0,8141	0,000053
807	VRE11	0,0093	0,12300	0,00890	0,00008	0,0031	0,9665	0,000080
808	VRE11	0,0094	0,12300	0,02120	0,00020	0,0038	1,1391	0,000227

(continua)

Tabela I13 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares estreitos de vidro

(continuação 3/4)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
809	VRE11	0,0094	0,12300	0,02370	0,00022	0,0039	1,1581	0,000258
810	VRE11	0,0094	0,12300	0,02580	0,00024	0,0040	1,1587	0,000281
811	VRE11	0,0093	0,12300	0,00790	0,00007	0,0029	0,9392	0,000069
812	VRE11	0,0093	0,12300	0,00660	0,00006	0,0027	0,8961	0,000055
813	VRE11	0,0094	0,12300	0,01900	0,00018	0,0038	1,1142	0,000199
814	VRE11	0,0094	0,12300	0,01750	0,00016	0,0037	1,1003	0,000181
815	VRE11	0,0094	0,12300	0,01560	0,00015	0,0036	1,0775	0,000158
816	VRE11	0,0094	0,12300	0,01410	0,00013	0,0035	1,0563	0,000140
817	VRE11	0,0093	0,12300	0,01290	0,00012	0,0034	1,0586	0,000127
818	VRE11	0,0093	0,12300	0,01100	0,00010	0,0033	1,0166	0,000104
819	VRE11	0,0093	0,12300	0,01200	0,00011	0,0034	1,0484	0,000117
820	VRE11	0,0093	0,12300	0,01000	0,00009	0,0032	1,0000	0,000093
821	VRE11	0,0094	0,12300	0,02970	0,00028	0,0041	1,1856	0,000331
822	VRE11	0,0094	0,12300	0,02570	0,00024	0,0040	1,1632	0,000281
823	VRE11	0,0094	0,12300	0,02160	0,00020	0,0039	1,1279	0,000229
824	VRE11	0,0094	0,12300	0,01690	0,00016	0,0037	1,0953	0,000174
825	VRE11	0,0094	0,12300	0,01420	0,00013	0,0035	1,0563	0,000141
826	VRE11	0,0093	0,12300	0,01150	0,00011	0,0033	1,0285	0,000110
827	VRE11	0,0094	0,14100	0,04160	0,00039	0,0042	1,3093	0,000512
828	VRE11	0,0094	0,14100	0,03840	0,00036	0,0042	1,2910	0,000466
829	VRE11	0,0094	0,14100	0,03640	0,00034	0,0042	1,2918	0,000442
830	VRE11	0,0094	0,14100	0,03270	0,00031	0,0041	1,2883	0,000396
831	VRE11	0,0094	0,14100	0,03230	0,00030	0,0041	1,2713	0,000386
832	VRE11	0,0094	0,14100	0,02940	0,00028	0,0041	1,2592	0,000348
833	VRE11	0,0094	0,14100	0,02730	0,00026	0,0040	1,2509	0,000321
834	VRE11	0,0094	0,14100	0,02440	0,00023	0,0039	1,2382	0,000284
835	VRE11	0,0094	0,14100	0,02250	0,00021	0,0039	1,2246	0,000259
836	VRE11	0,0094	0,14100	0,01930	0,00018	0,0038	1,1906	0,000216
837	VRE11	0,0094	0,14100	0,01880	0,00018	0,0038	1,1883	0,000210
838	VRE11	0,0093	0,14100	0,01350	0,00013	0,0035	1,1390	0,000143
839	VRE11	0,0093	0,14100	0,01330	0,00012	0,0034	1,1238	0,000139
840	VRE11	0,0093	0,14100	0,01050	0,00010	0,0032	1,0855	0,000106
841	VRE11	0,0093	0,14100	0,00950	0,00009	0,0031	1,0526	0,000093
842	VRE11	0,0093	0,14100	0,00840	0,00008	0,0030	1,0241	0,000080
843	VRE11	0,0093	0,14100	0,00800	0,00007	0,0029	1,0081	0,000075
844	VRE11	0,0093	0,14100	0,00720	0,00007	0,0028	0,9857	0,000066
845	VRE11	0,0093	0,14100	0,00670	0,00006	0,0027	0,9629	0,000060
846	VRE11	0,0093	0,14100	0,00640	0,00006	0,0027	0,9409	0,000056
847	VRE11	0,0095	0,15800	0,04310	0,00041	0,0043	1,3799	0,000565
848	VRE11	0,0094	0,15800	0,04140	0,00039	0,0042	1,3902	0,000541
849	VRE11	0,0094	0,15800	0,03780	0,00036	0,0042	1,3734	0,000488
850	VRE11	0,0094	0,15800	0,02500	0,00024	0,0040	1,3277	0,000312
851	VRE11	0,0094	0,15800	0,03190	0,00030	0,0041	1,3506	0,000405
852	VRE11	0,0094	0,15800	0,02860	0,00027	0,0040	1,3316	0,000358
853	VRE11	0,0094	0,15800	0,01670	0,00016	0,0037	1,2358	0,000194
854	VRE11	0,0093	0,15800	0,00980	0,00009	0,0032	1,1301	0,000103
855	VRE11	0,0094	0,15800	0,02820	0,00027	0,0040	1,3581	0,000360
856	VRE11	0,0093	0,15800	0,01270	0,00012	0,0034	1,2023	0,000142
857	VRE11	0,0093	0,15800	0,01120	0,00010	0,0033	1,1809	0,000123
858	VRE11	0,0093	0,15800	0,01040	0,00010	0,0032	1,1580	0,000112
859	VRE11	0,0093	0,15800	0,00910	0,00008	0,0031	1,1225	0,000095

(continua)

Tabela I13 – Dados experimentais consistidos para escoamento em canais retangulares estreitos de vidro

(continuação 4/4)

Item	ID	Diâmetro	Declividade	Profundidade	Seção Transversal	Raio hidráulico	Velocidade Média	Vazão Observada
		D (m)	i (m/m)	y (m)	A (m²)	Rh (m)	V (m/s)	Qo (m³/s)
860	VRE11	0,0093	0,15800	0,00780	0,00007	0,0029	1,0615	0,000077
861	VRE11	0,0093	0,15800	0,00640	0,00006	0,0027	1,0249	0,000061
862	VRE11	0,0094	0,15800	0,01410	0,00013	0,0035	1,2147	0,000161
863	VRE11	0,0094	0,15800	0,03130	0,00029	0,0041	1,3765	0,000405
864	VRE11	0,0094	0,15800	0,04070	0,00038	0,0042	1,4141	0,000541
865	VRE11	0,0094	0,15800	0,03920	0,00037	0,0042	1,4085	0,000519
866	VRE11	0,0094	0,15800	0,03640	0,00034	0,0042	1,3970	0,000478
867	VRE11	0,0094	0,17600	0,03690	0,00035	0,0042	1,4905	0,000517
868	VRE11	0,0094	0,17600	0,03410	0,00032	0,0041	1,4694	0,000471
869	VRE11	0,0094	0,17600	0,03230	0,00030	0,0041	1,4558	0,000442
870	VRE11	0,0094	0,17600	0,03100	0,00029	0,0041	1,4516	0,000423
871	VRE11	0,0094	0,17600	0,02760	0,00026	0,0040	1,4300	0,000371
872	VRE11	0,0094	0,17600	0,02730	0,00026	0,0040	1,4262	0,000366
873	VRE11	0,0094	0,17600	0,02510	0,00024	0,0040	1,4114	0,000333
874	VRE11	0,0094	0,17600	0,02310	0,00022	0,0039	1,4000	0,000304
875	VRE11	0,0094	0,17600	0,02180	0,00020	0,0039	1,3859	0,000284
876	VRE11	0,0094	0,17600	0,02080	0,00020	0,0038	1,3758	0,000269
877	VRE11	0,0094	0,17600	0,02060	0,00019	0,0038	1,3737	0,000266
878	VRE11	0,0094	0,17600	0,01580	0,00015	0,0036	1,3197	0,000196
879	VRE11	0,0093	0,17600	0,01320	0,00012	0,0034	1,2952	0,000159
880	VRE11	0,0093	0,17600	0,01140	0,00011	0,0033	1,2639	0,000134
881	VRE11	0,0093	0,17600	0,01060	0,00010	0,0032	1,2376	0,000122
882	VRE11	0,0093	0,17600	0,01020	0,00009	0,0032	1,2229	0,000116
883	VRE11	0,0093	0,17600	0,01000	0,00009	0,0032	1,2151	0,000113
884	VRE11	0,0093	0,17600	0,00850	0,00008	0,0030	1,1765	0,000093
885	VRE11	0,0093	0,17600	0,00730	0,00007	0,0028	1,1195	0,000076
886	VRE11	0,0093	0,17600	0,00650	0,00006	0,0027	1,0753	0,000065

Fonte: adaptado de Ba Tuyen & Cheng (2012).

APÊNDICE A

Curvas ajustadas do coeficiente de forma β da equação de Pimenta aplicada em canais retangulares e circulares

Figura A1 – Curva ajustada de β da equação de Pimenta para canais retangulares

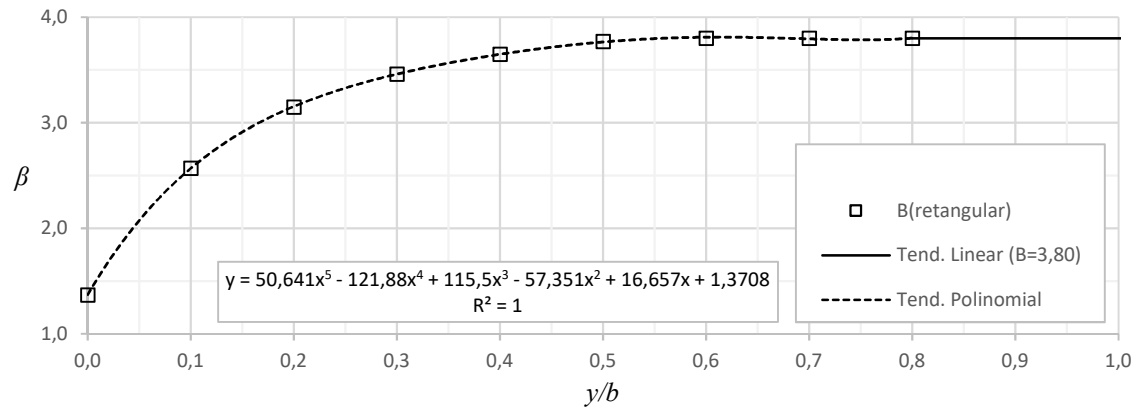
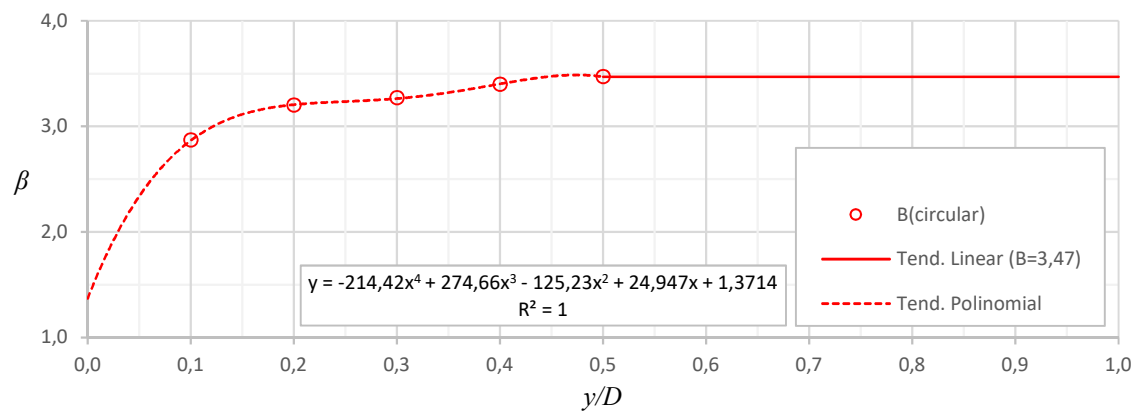


Figura A2 – Curva ajustada de β da equação de Pimenta para canais circulares



APÊNDICE B

Curvas resultantes da calibração dos coeficientes de rugosidade

Figura B1 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais circulares de concreto (CC135): a) GK, b) GMS, c) B, c) P e e) CS

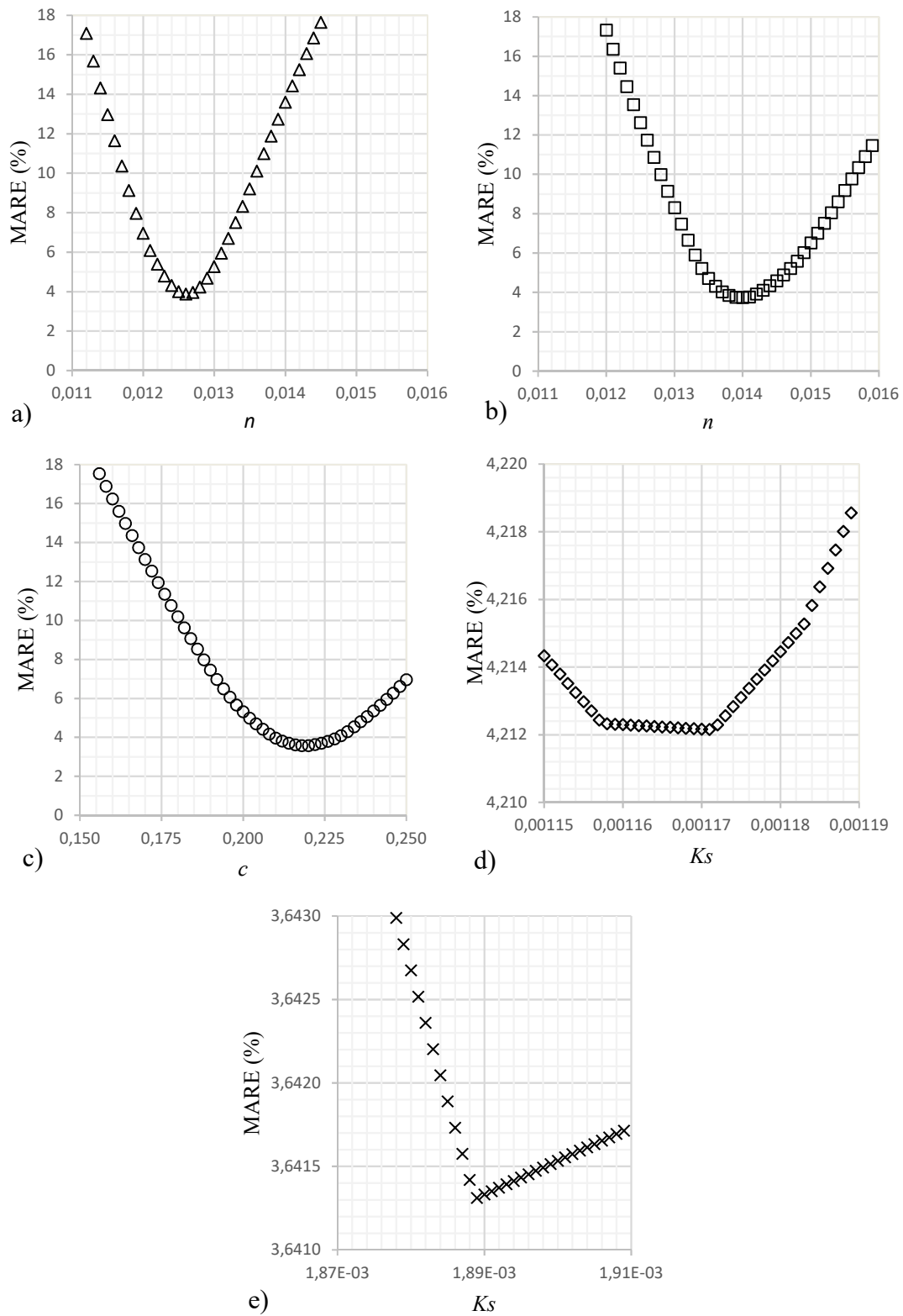


Figura B2 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais circulares cerâmicos (CEC24): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

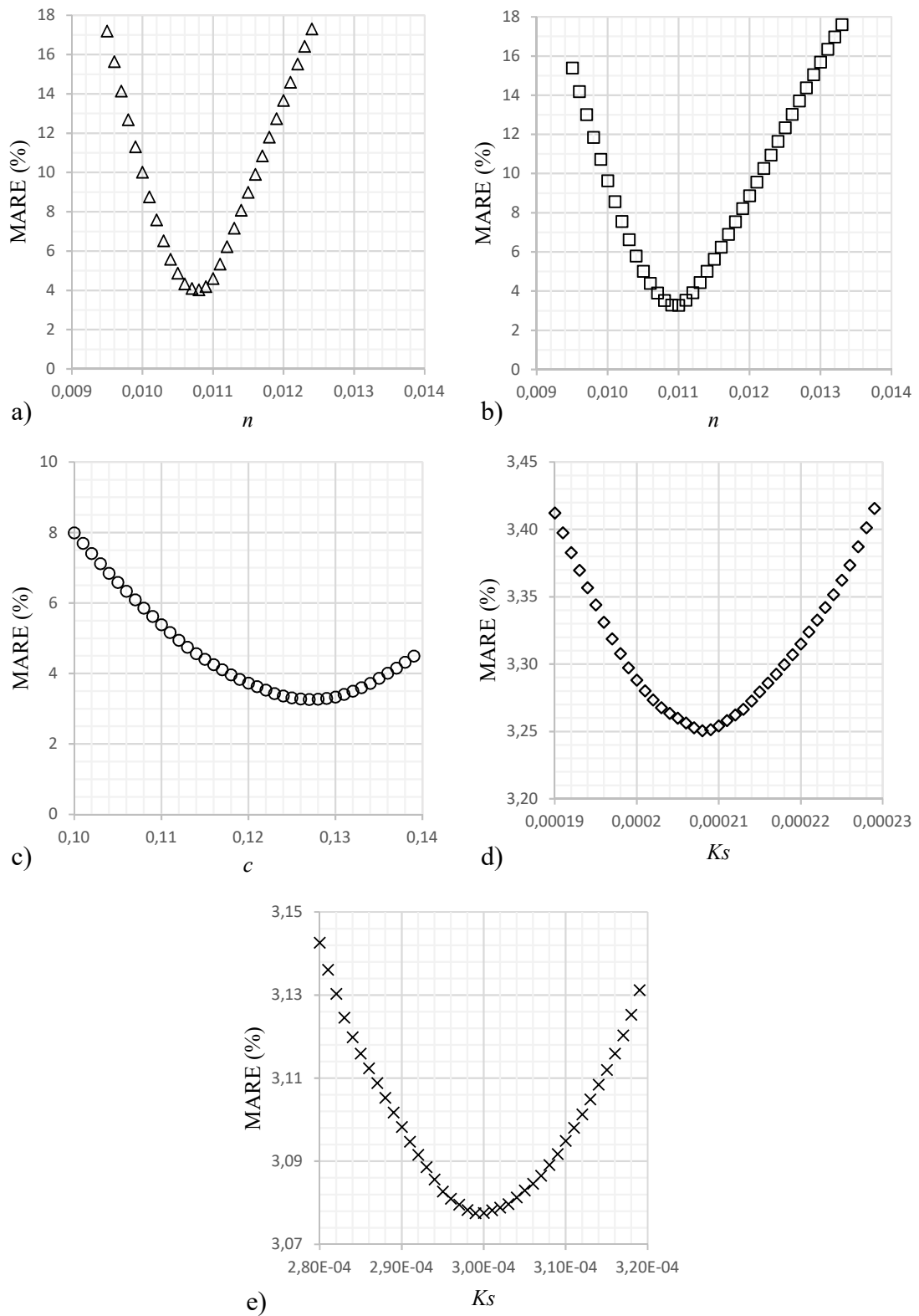


Figura B3 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais circulares de PVC (PC7): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

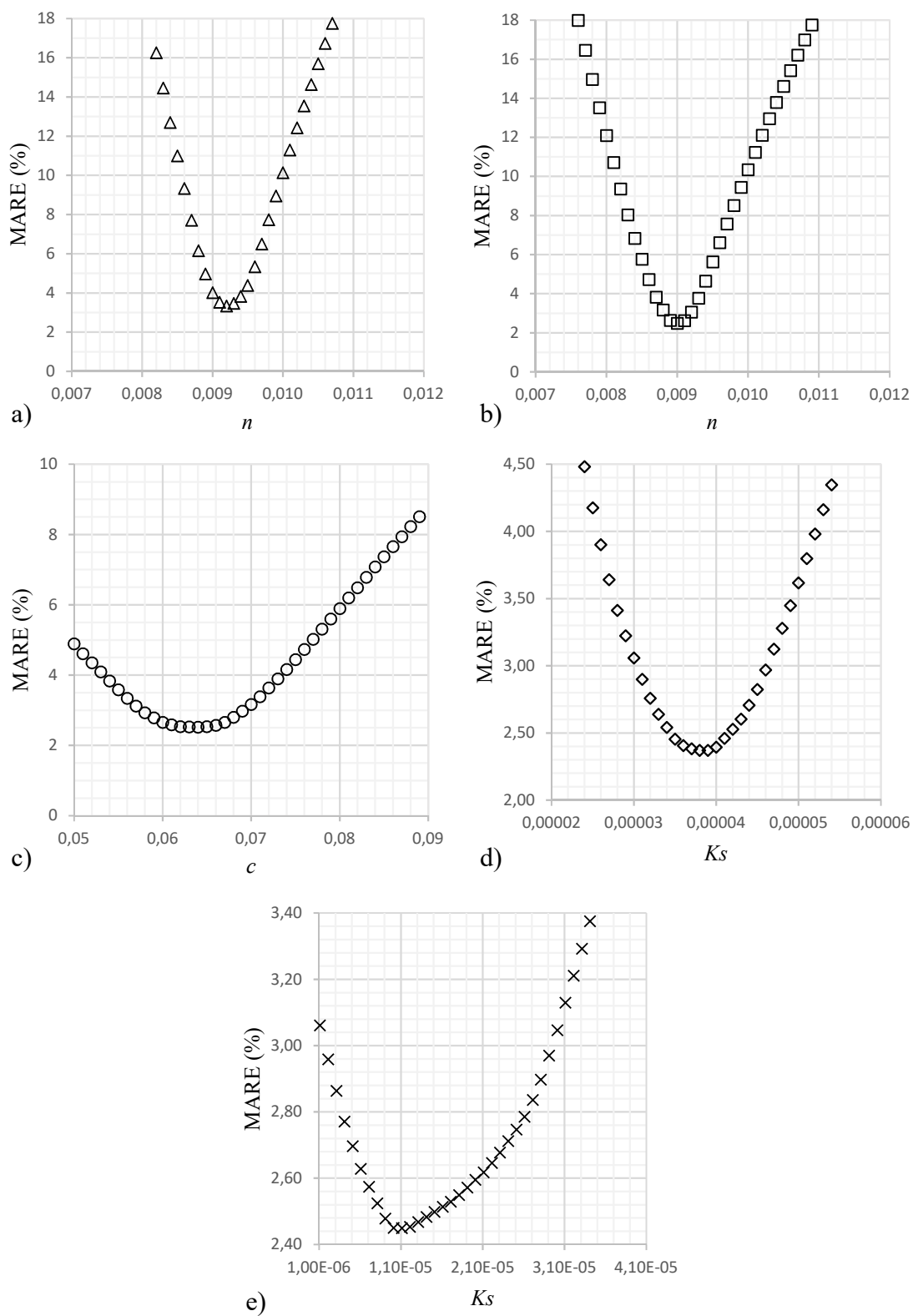


Figura B4 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais circulares de cimento amianto (AC9): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

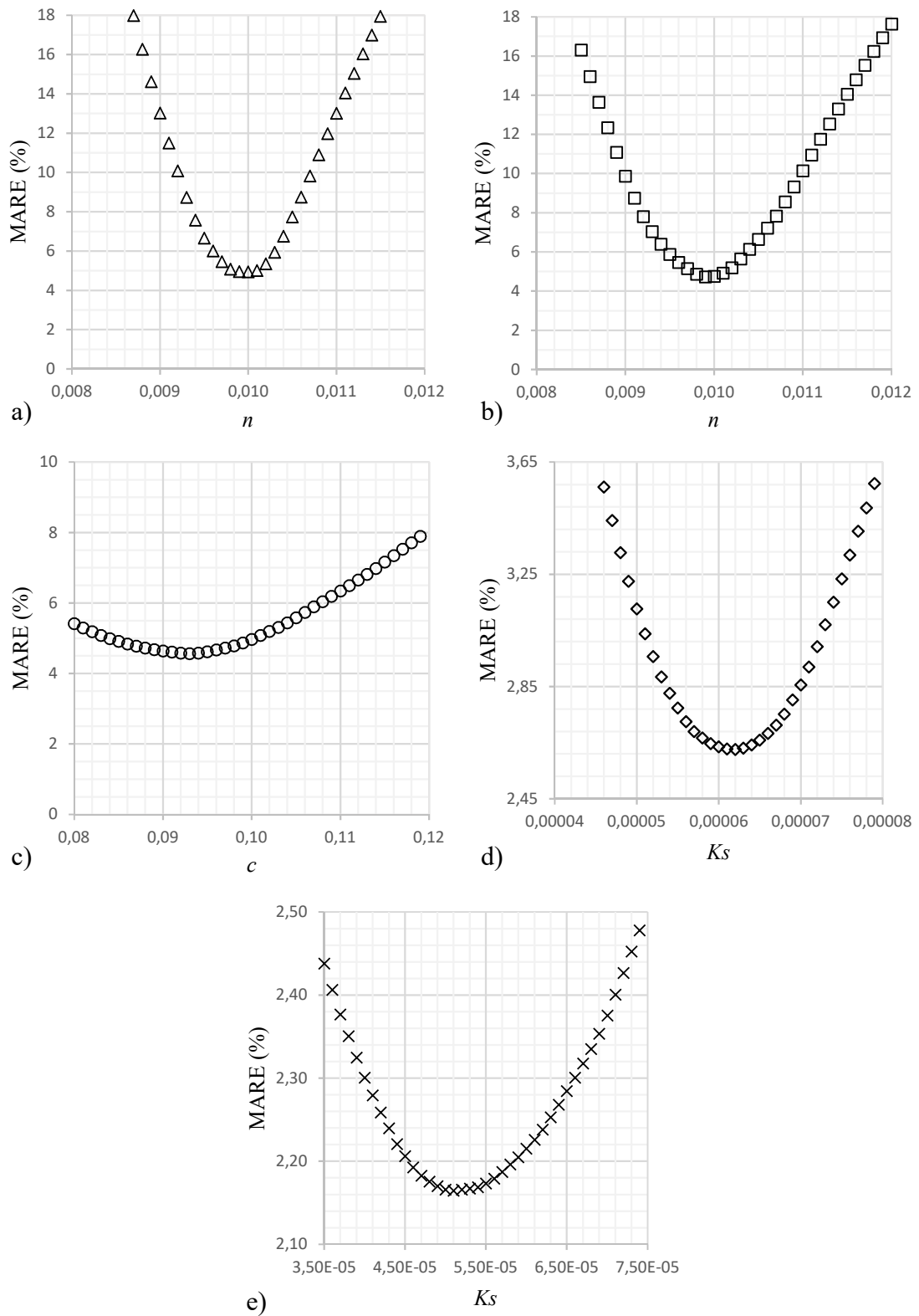


Figura B5 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais triangulares de areia
 K_{S1} (A1T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

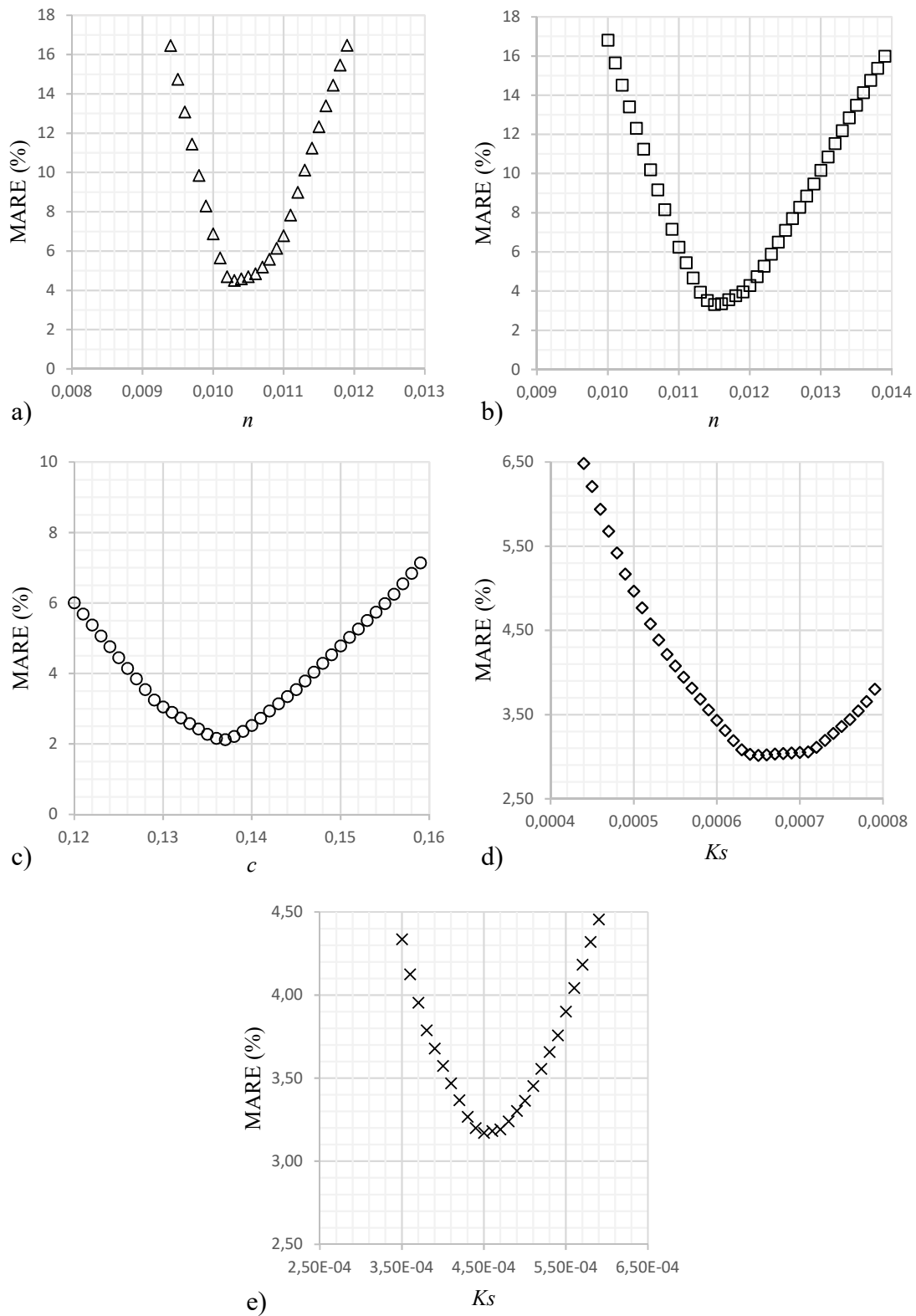


Figura B6 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais triangulares de areia
 K_{S2} (A2T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

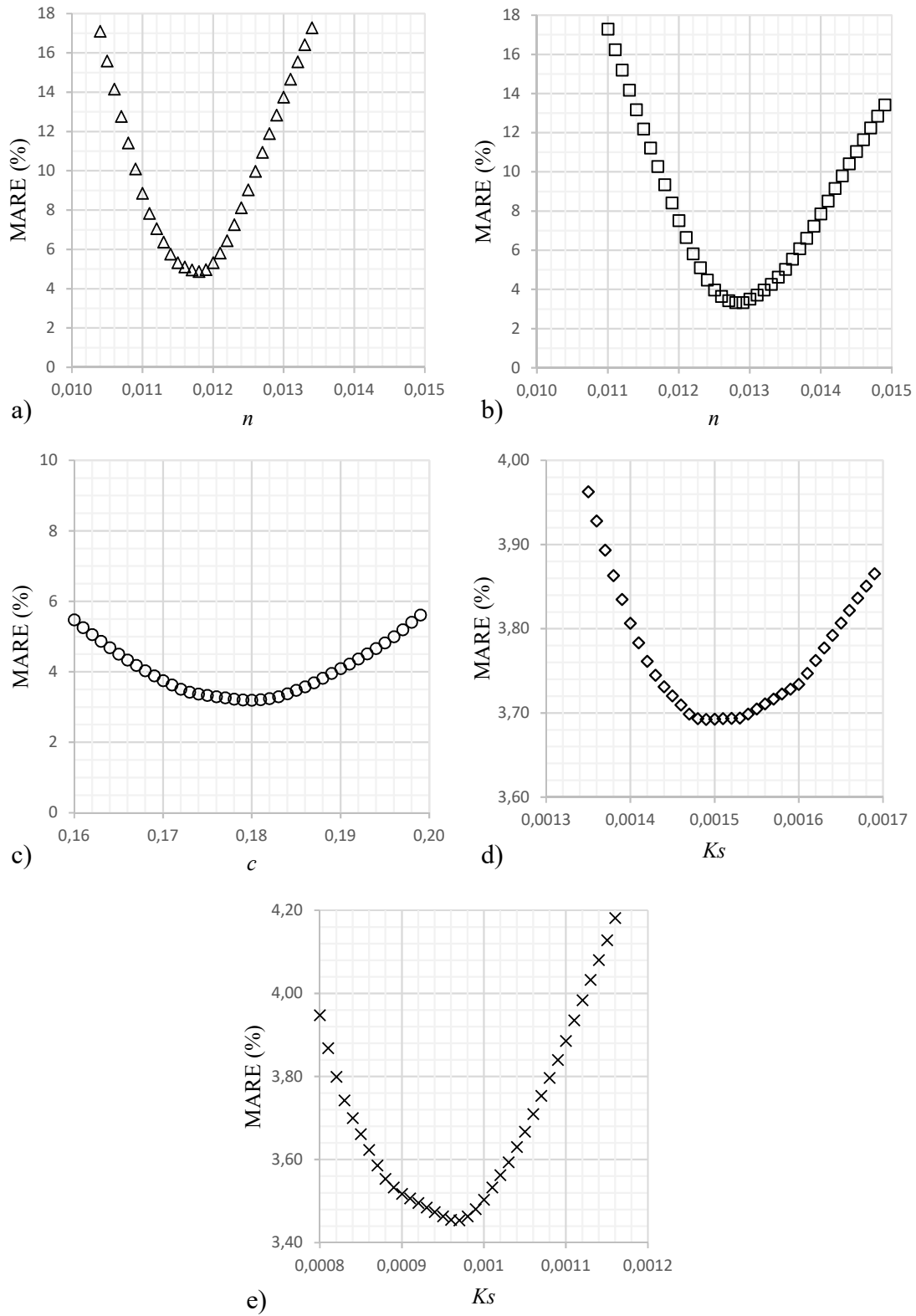


Figura B7 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais triangulares de areia
 K_{S3} (A3T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

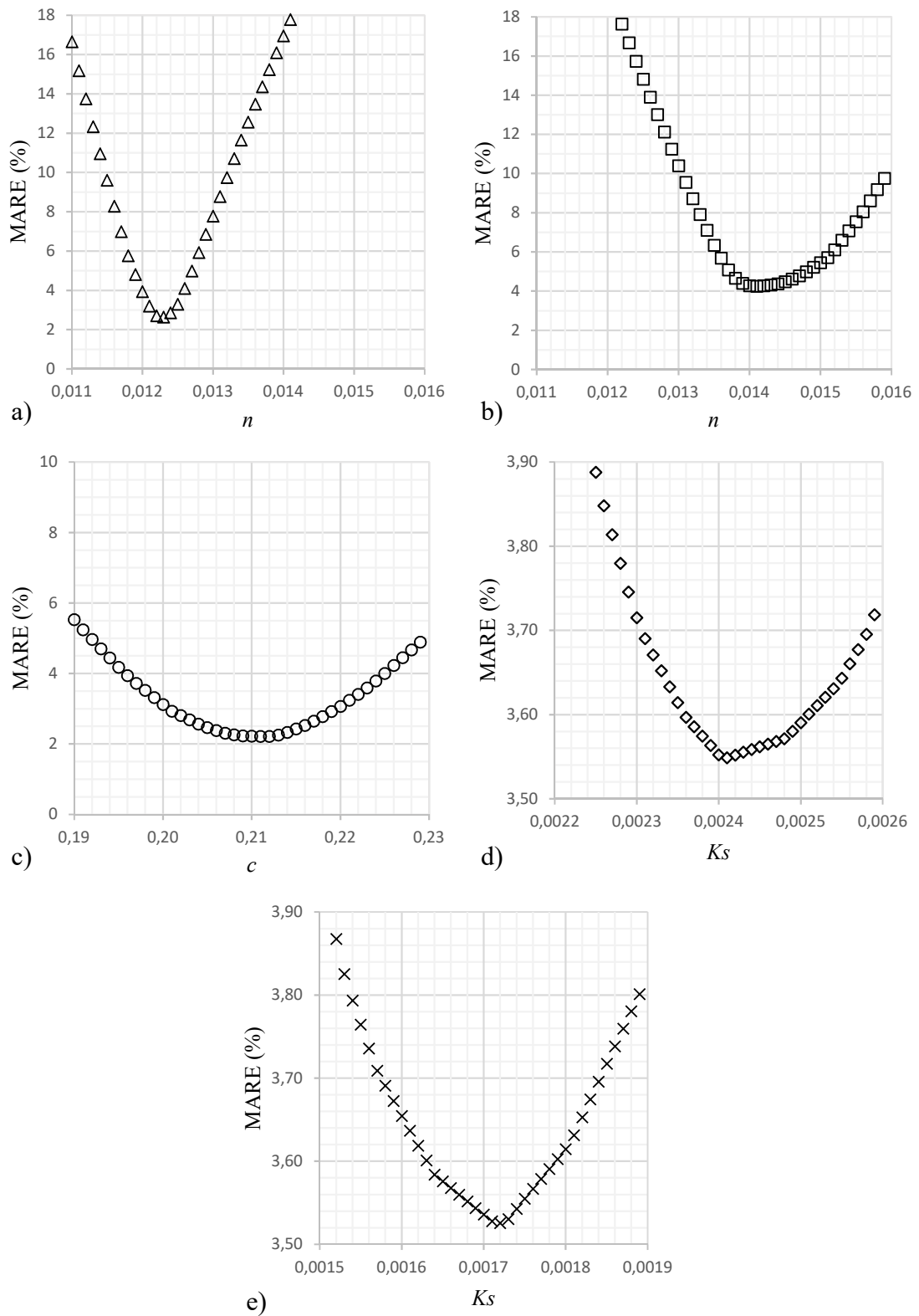


Figura B8 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais triangulares de areia
 K_{S4} (A4T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

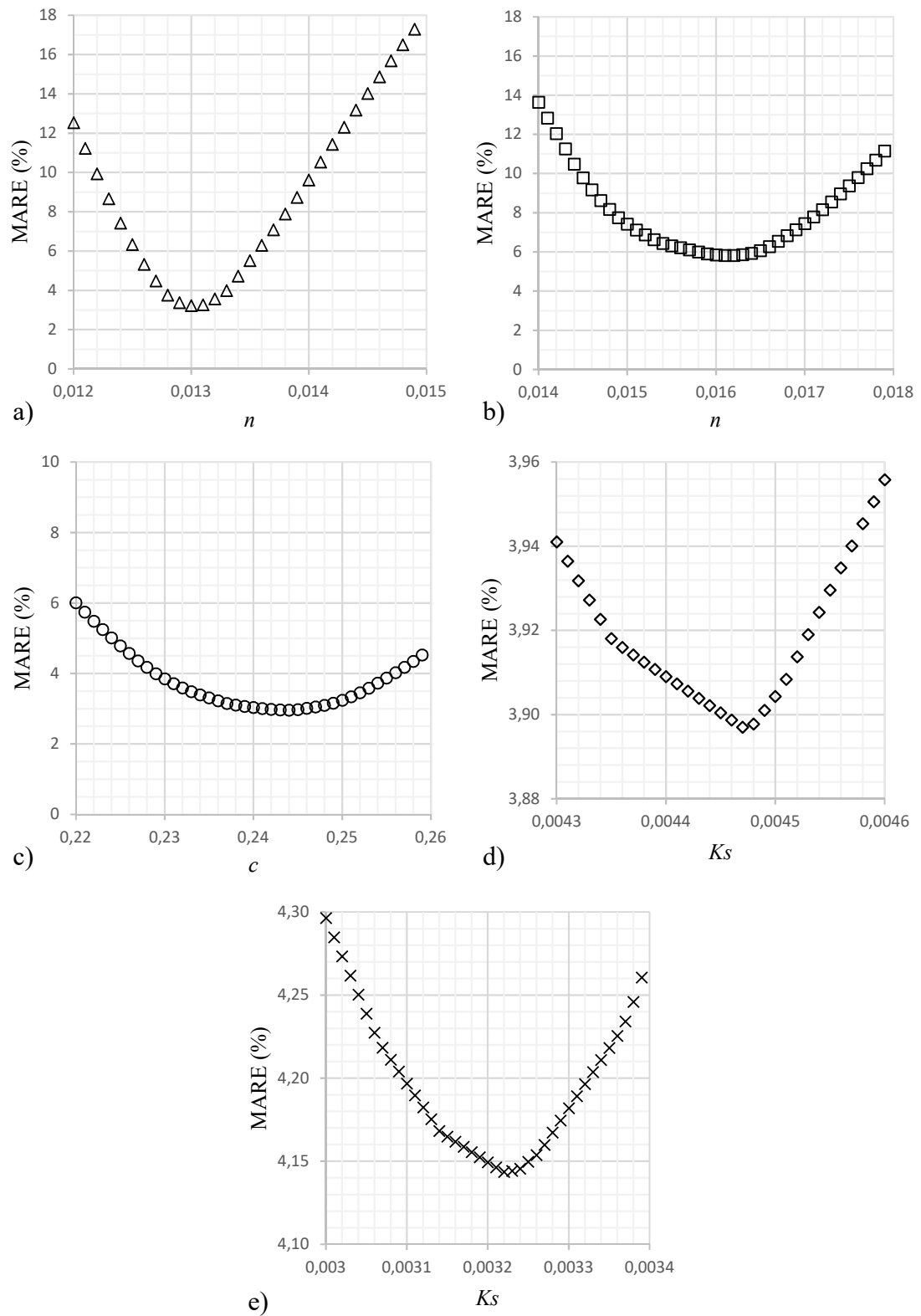


Figura B9 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais triangulares de areia
 K_{S5} (A5T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

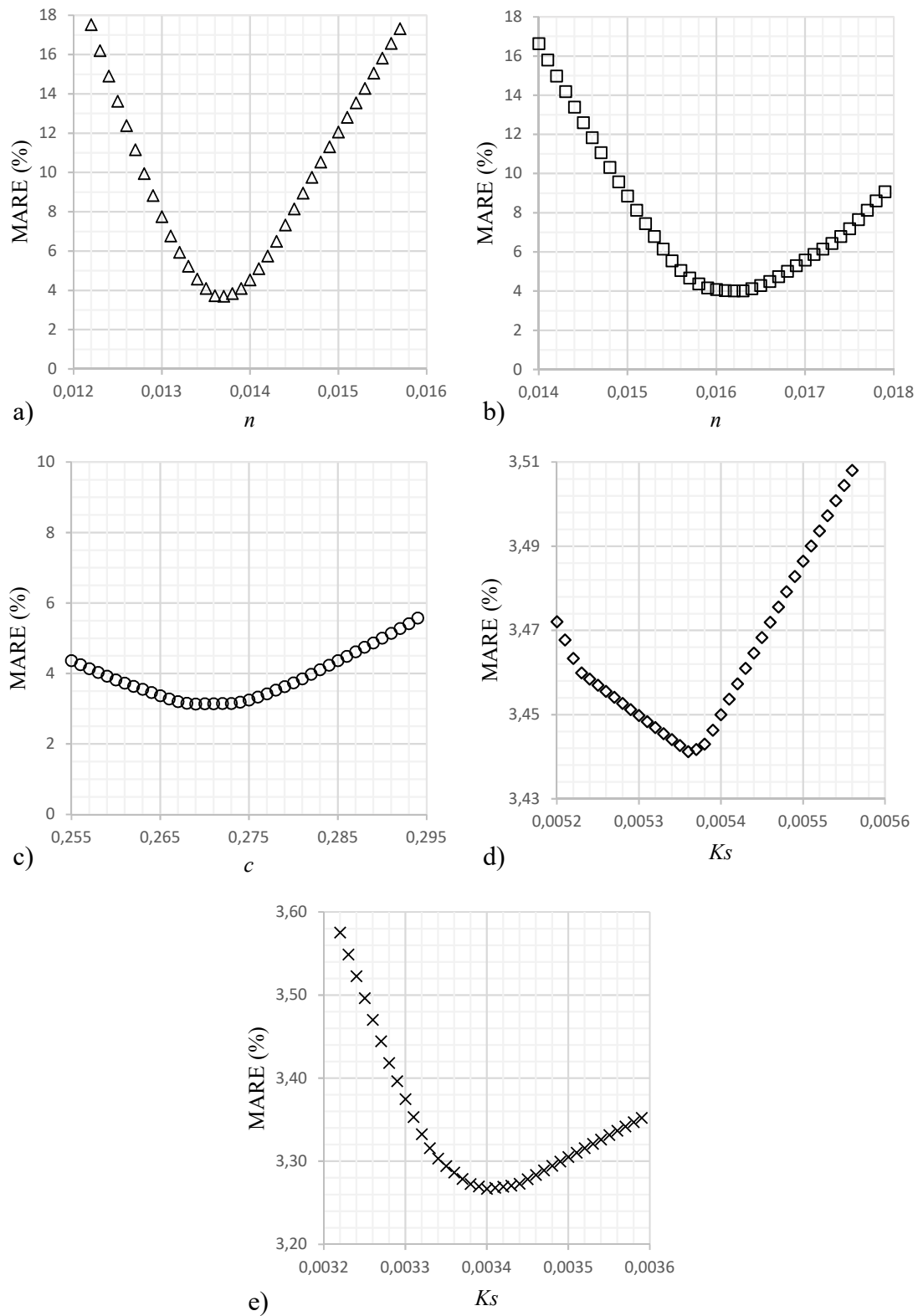


Figura B10 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais triangulares de areia K_{S6} (A6T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

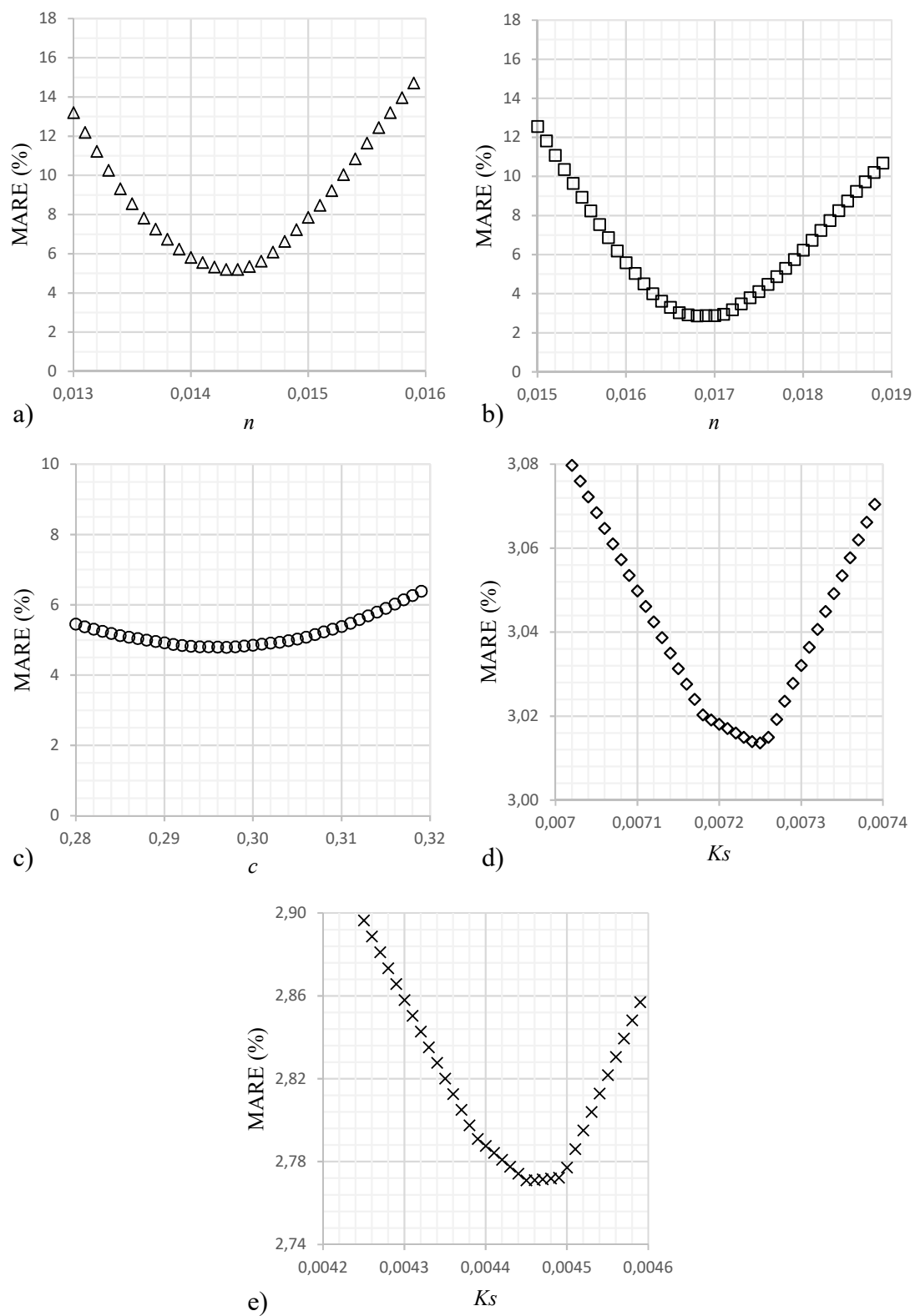


Figura B11 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais retangulares de aço (AR6): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

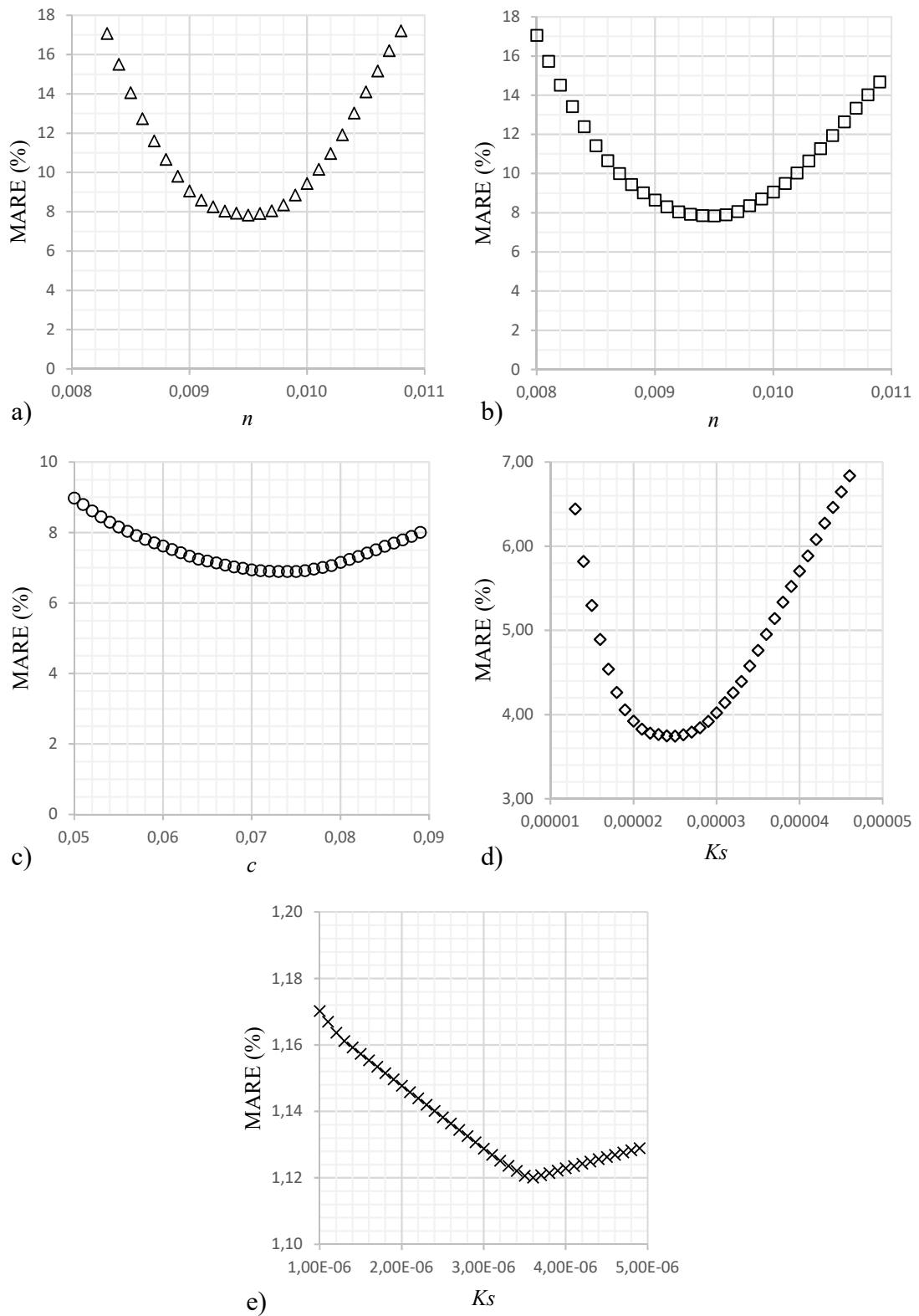


Figura B12 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais retangulares de vidro (VR10): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

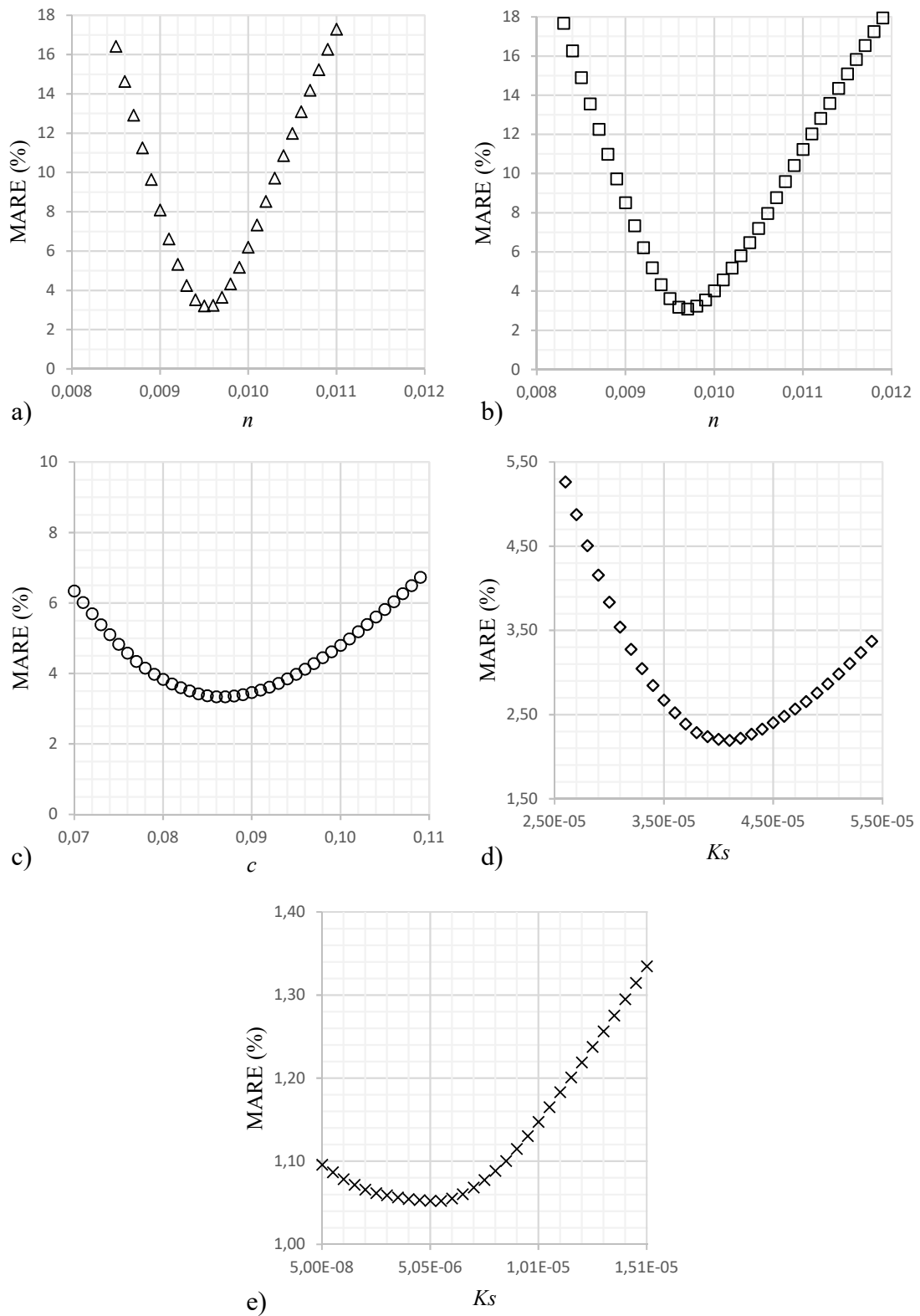
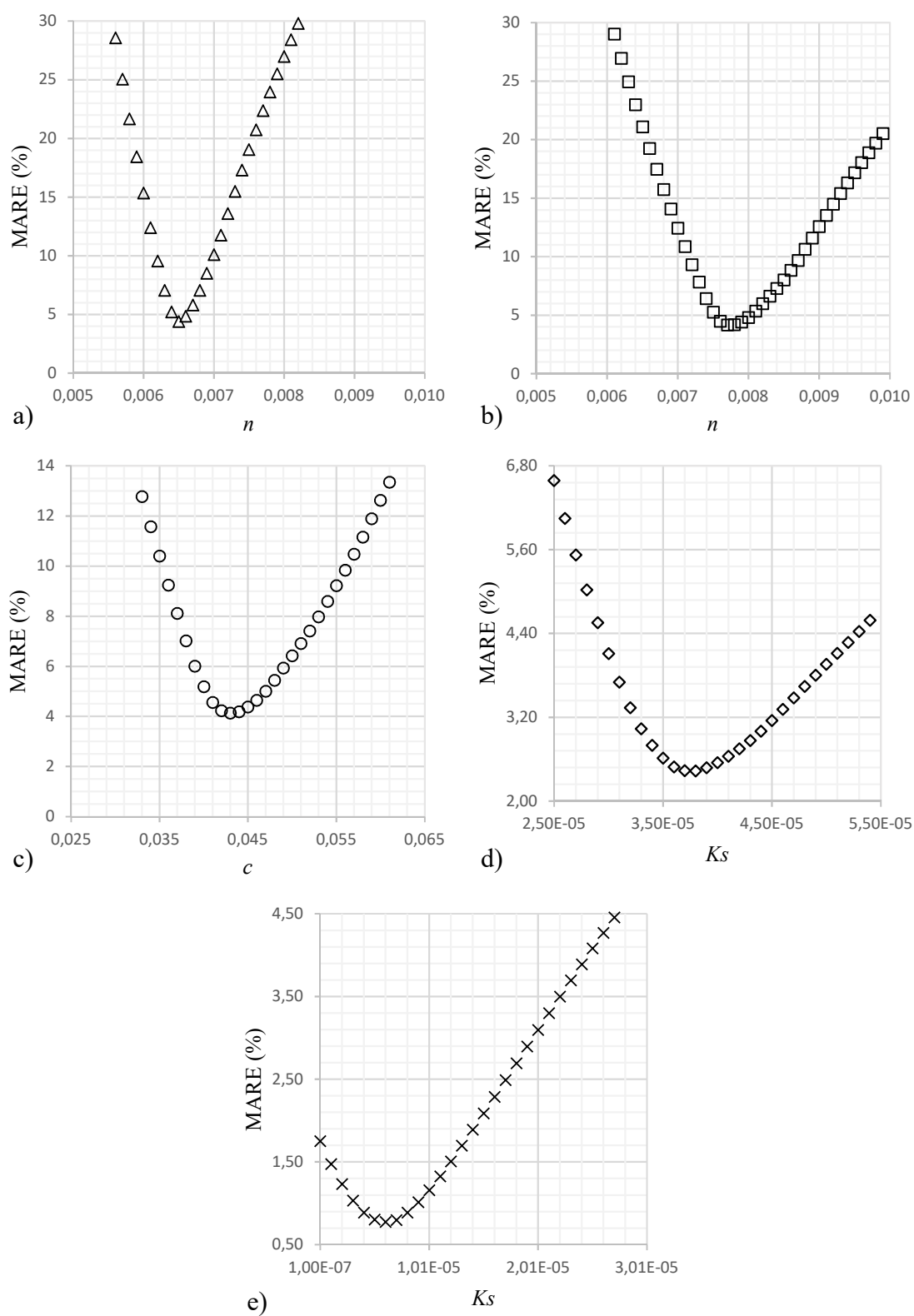


Figura B13 - Curvas para calibração dos coeficientes de rugosidades em canais retangulares estreitos de vidro (VRE11): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS



APÊNDICE C

Gráficos da razão entre as vazões calculadas e as observadas Q_c/Q_o em função da profundidade relativa

Figura C1 – Reta Q_c/Q_o em função de y/D para canais circulares de concreto (CC135): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

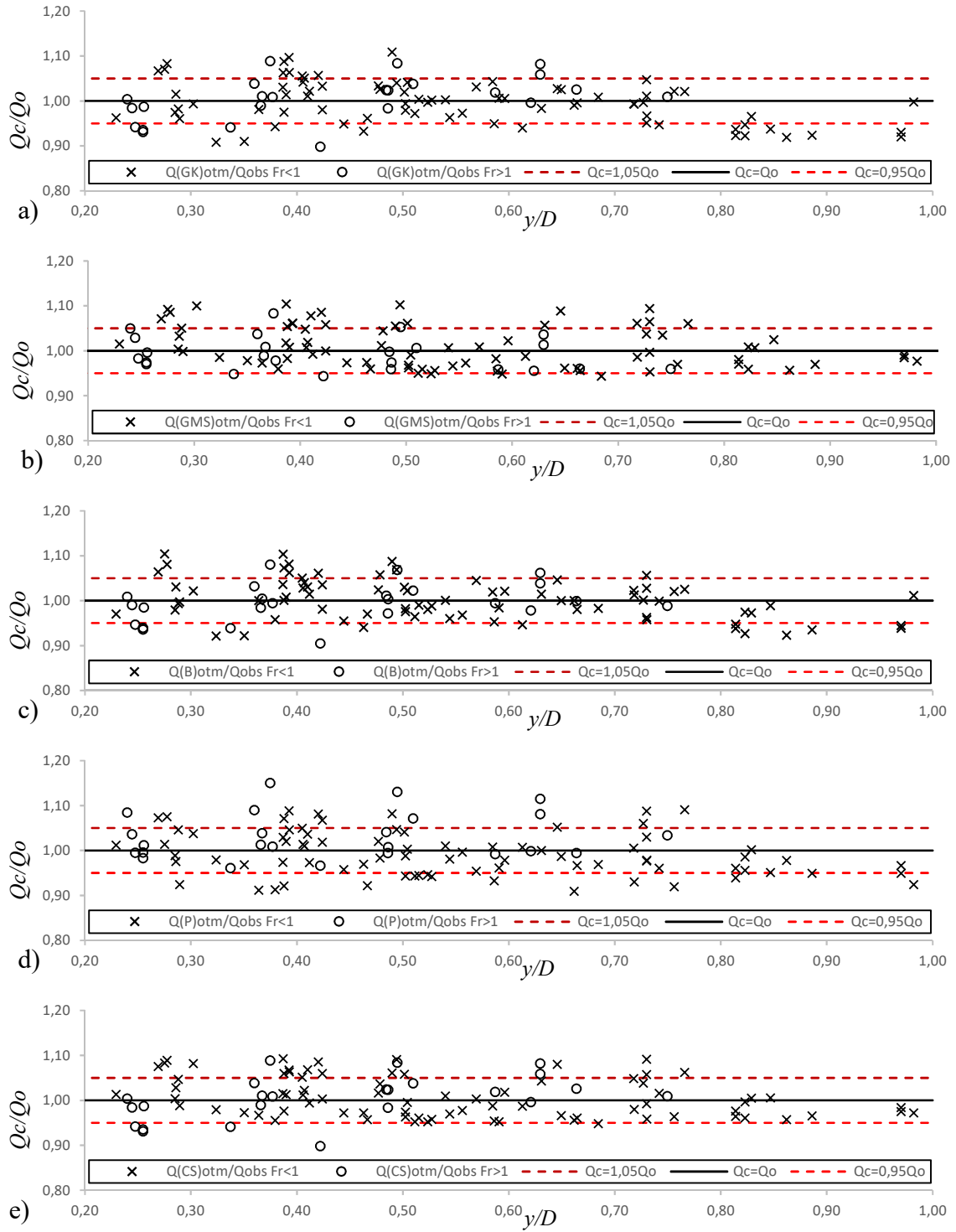


Figura C2 – Reta Q_c/Q_o em função de y/D para canais circulares de cerâmica (CEC24): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

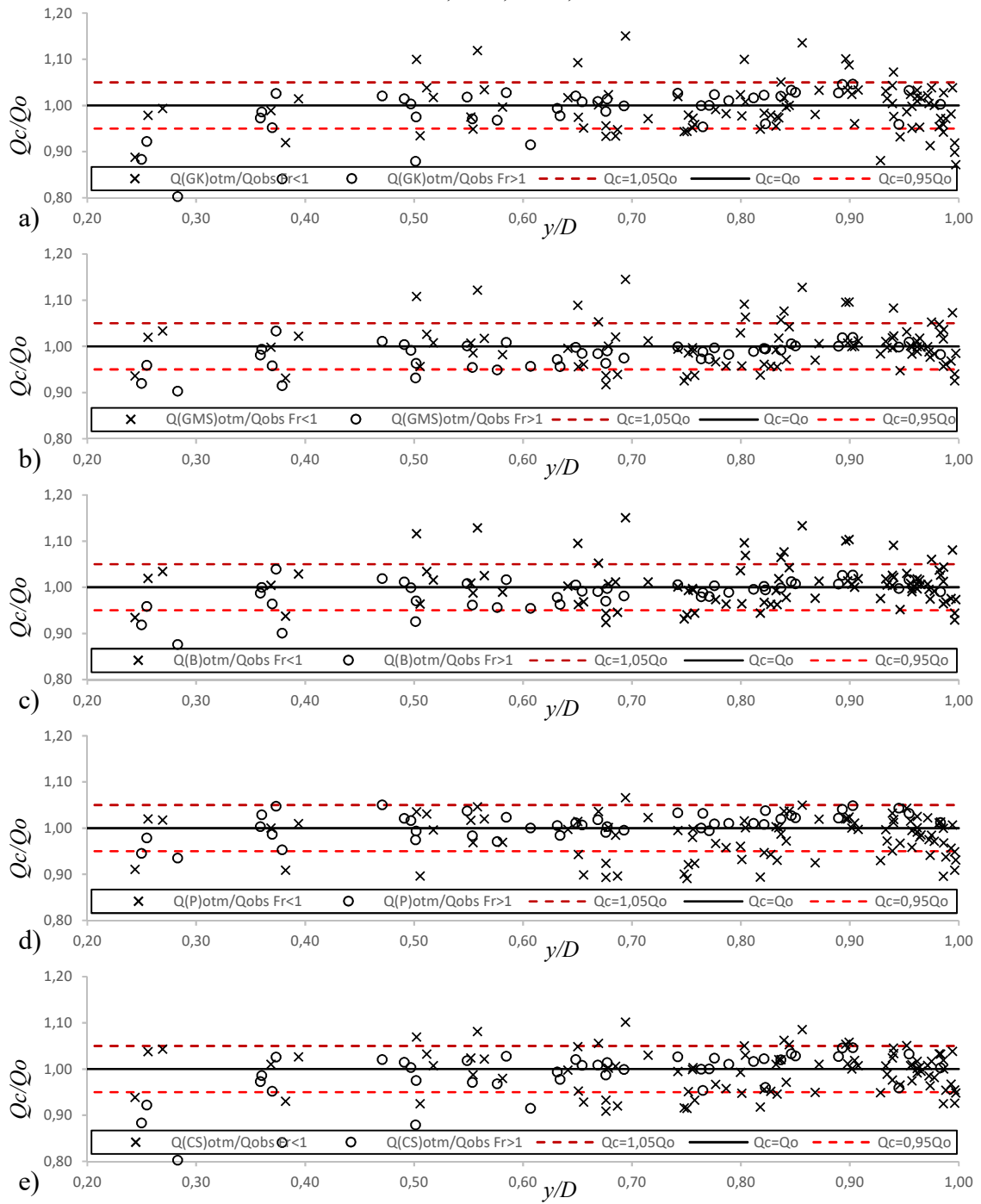


Figura C3 – Reta Q_c/Q_o em função de y/D para canais circulares de PVC (PC7): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

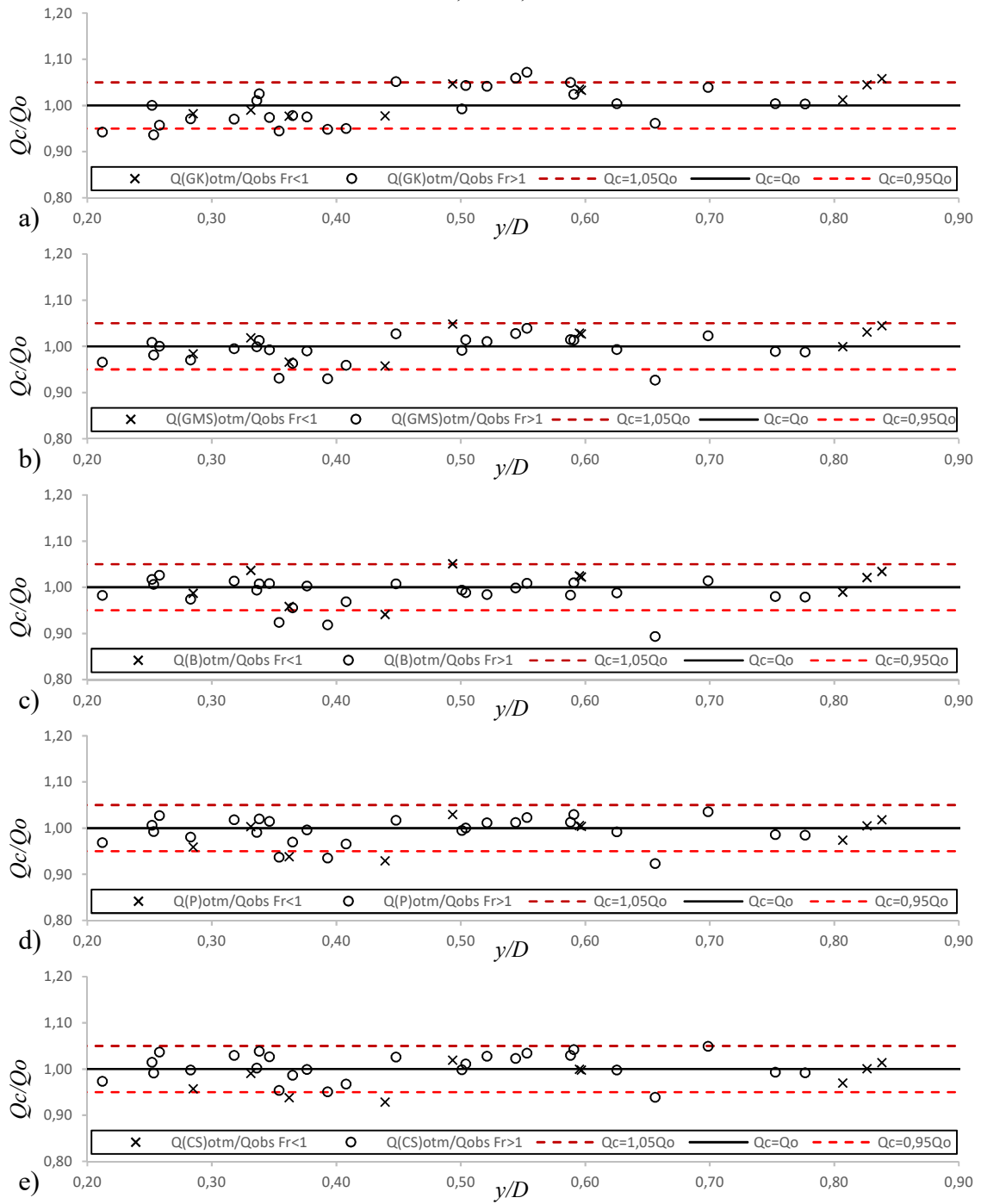


Figura C4 – Reta Q_c/Q_o em função de y/D para canais circulares de amianto (AC9): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

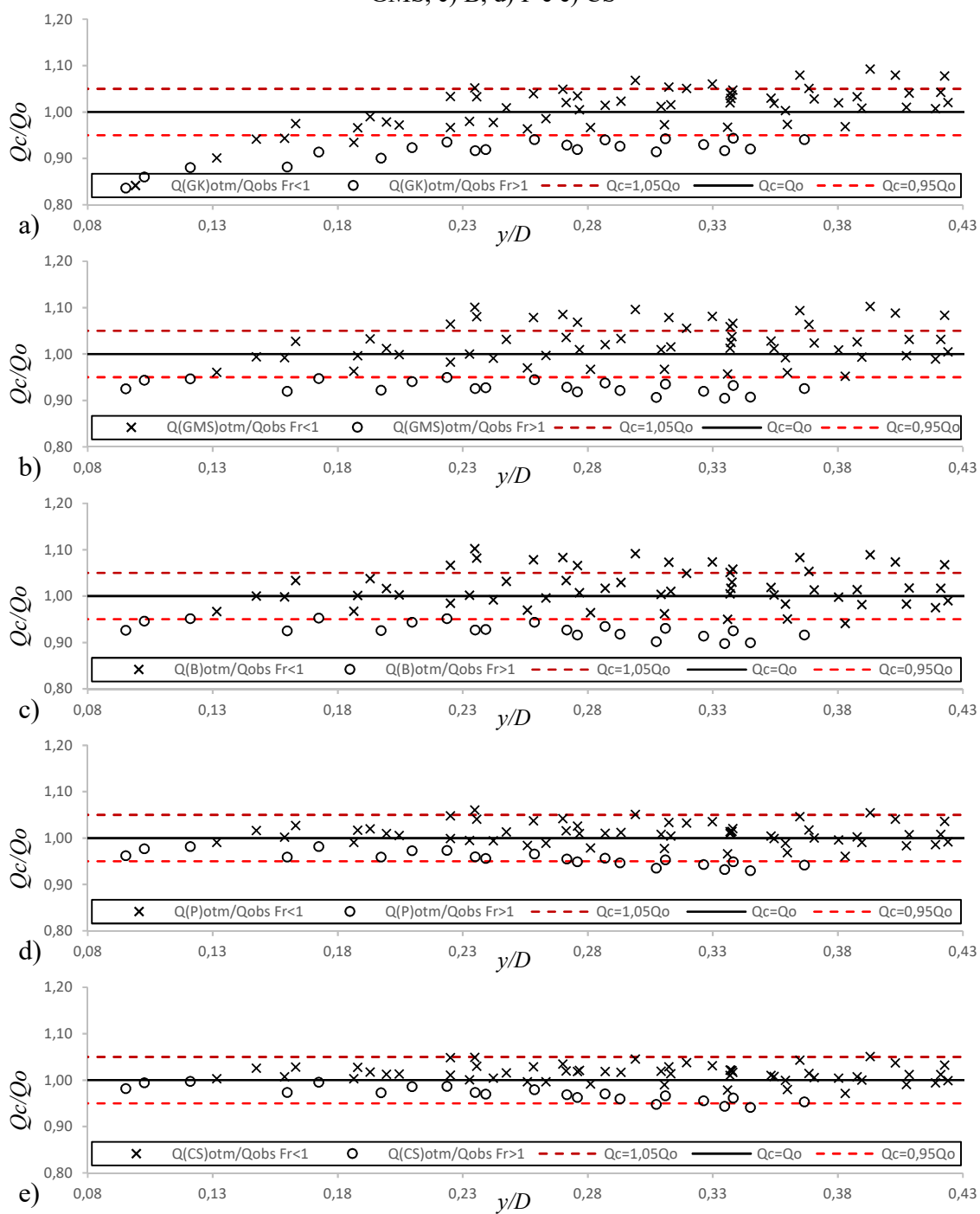


Figura C5 – Reta Q_c/Q_o em função de y/b para canais retangulares de aço (AR6): a) GK, b) GMS, c) B, d) P, e) CS e f) CH

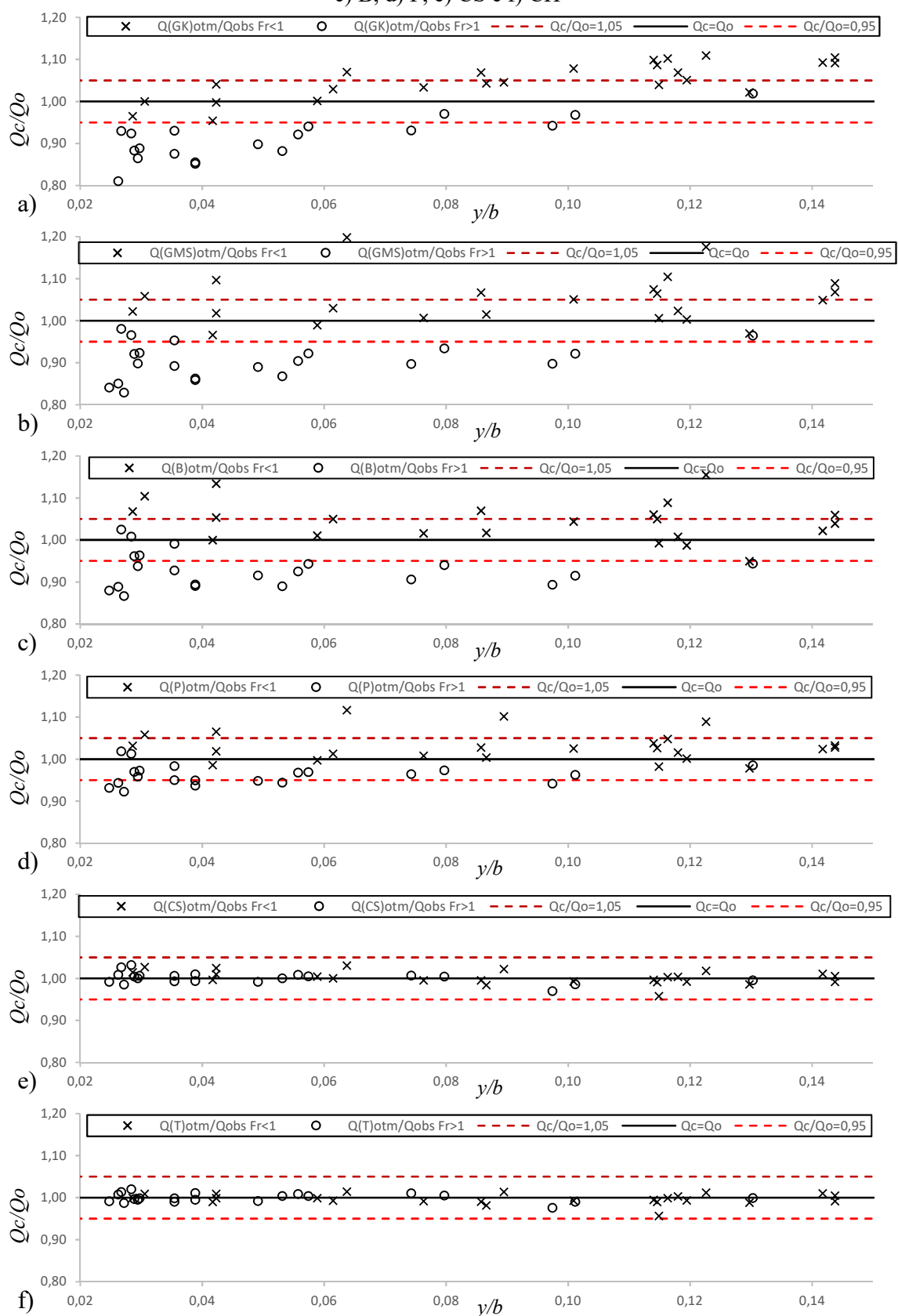


Figura C6 – Reta Q_c/Q_o em função de y/b para canais retangulares de vidro (VR10): a) GK, b) GMS, c) B, d) P, e) CS e f) CH

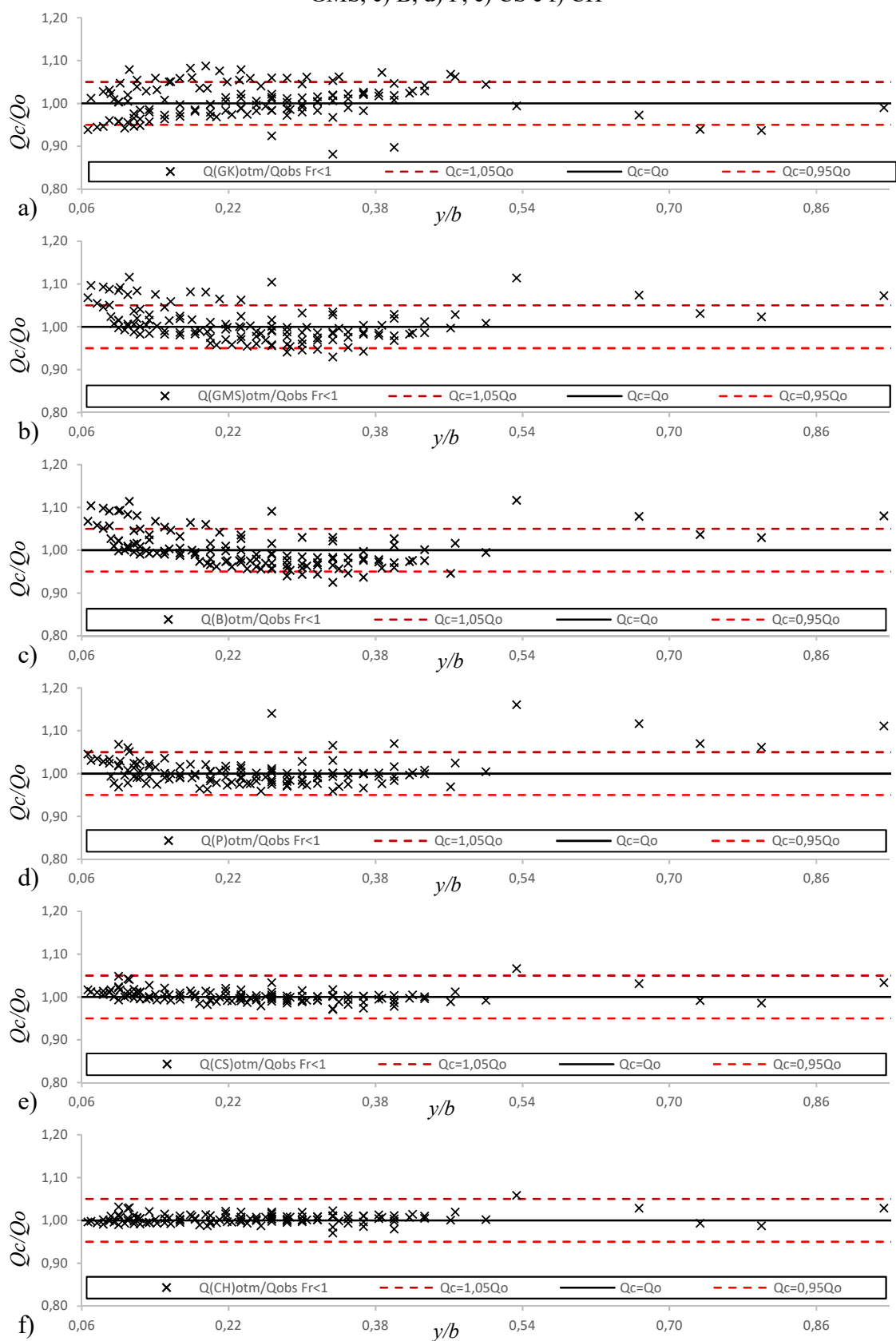
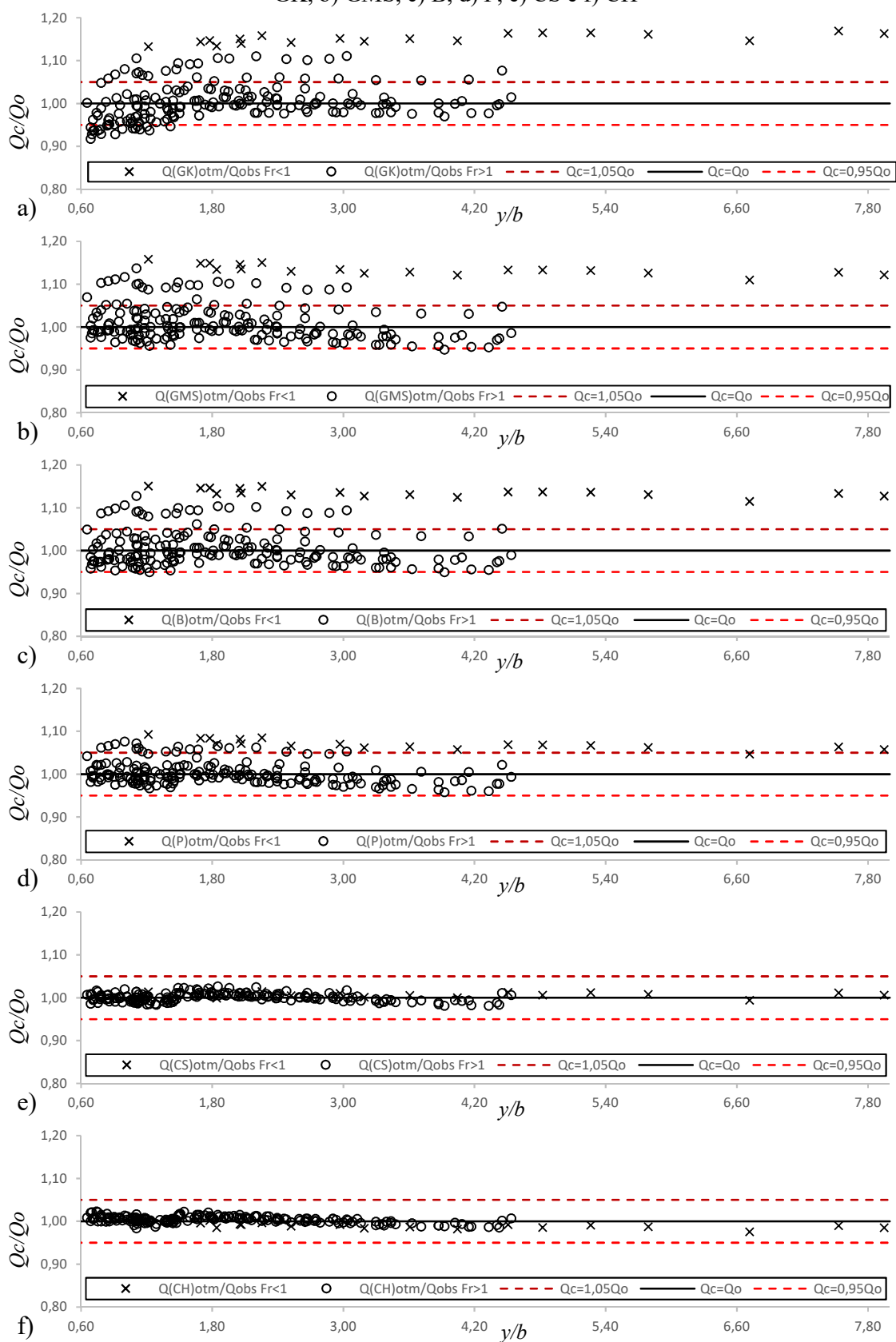


Figura C7 – Reta Q_c/Q_o em função de y/b para canais retangulares estreito de vidro (VRE11): a) GK, b) GMS, c) B, d) P, e) CS e f) CH



APÊNDICE D

**Gráficos das retas de ajuste das vazões calculadas após a calibração dos coeficientes
de rugosidade**

Figura D1 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais circulares de concreto (CC135): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

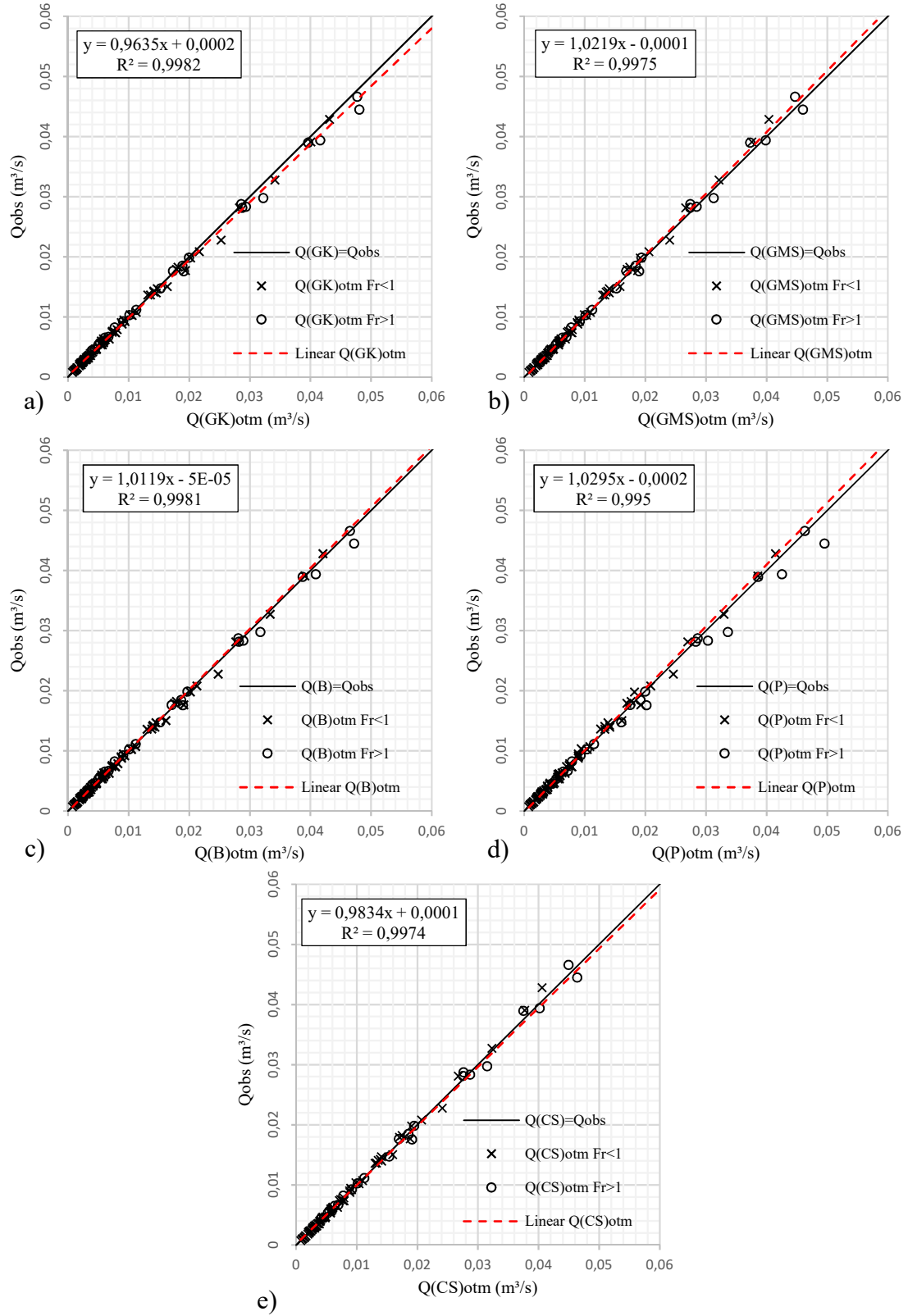


Figura D2 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais circulares de cerâmica (CEC24): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

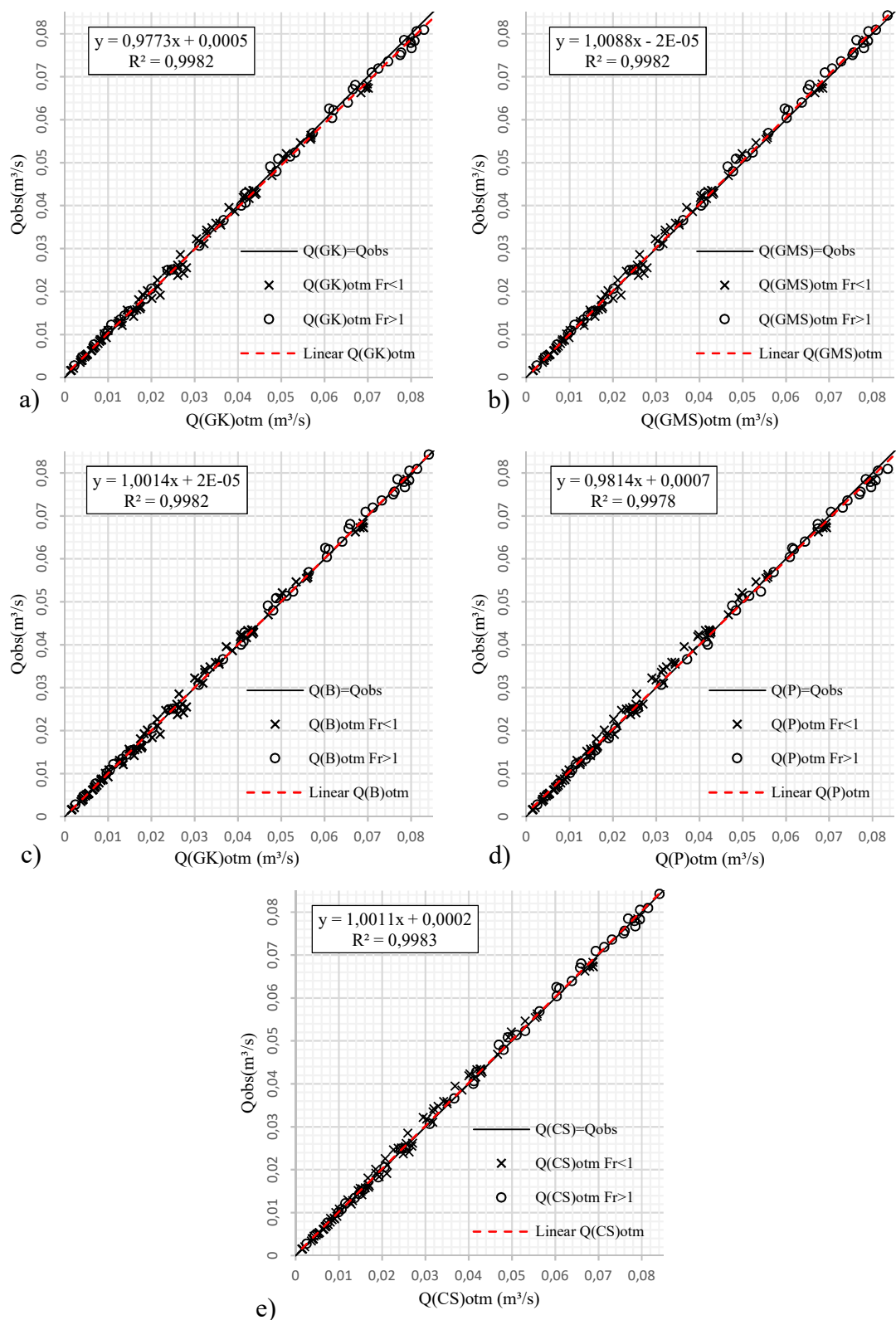


Figura D3 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais circulares de PVC (PC7): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

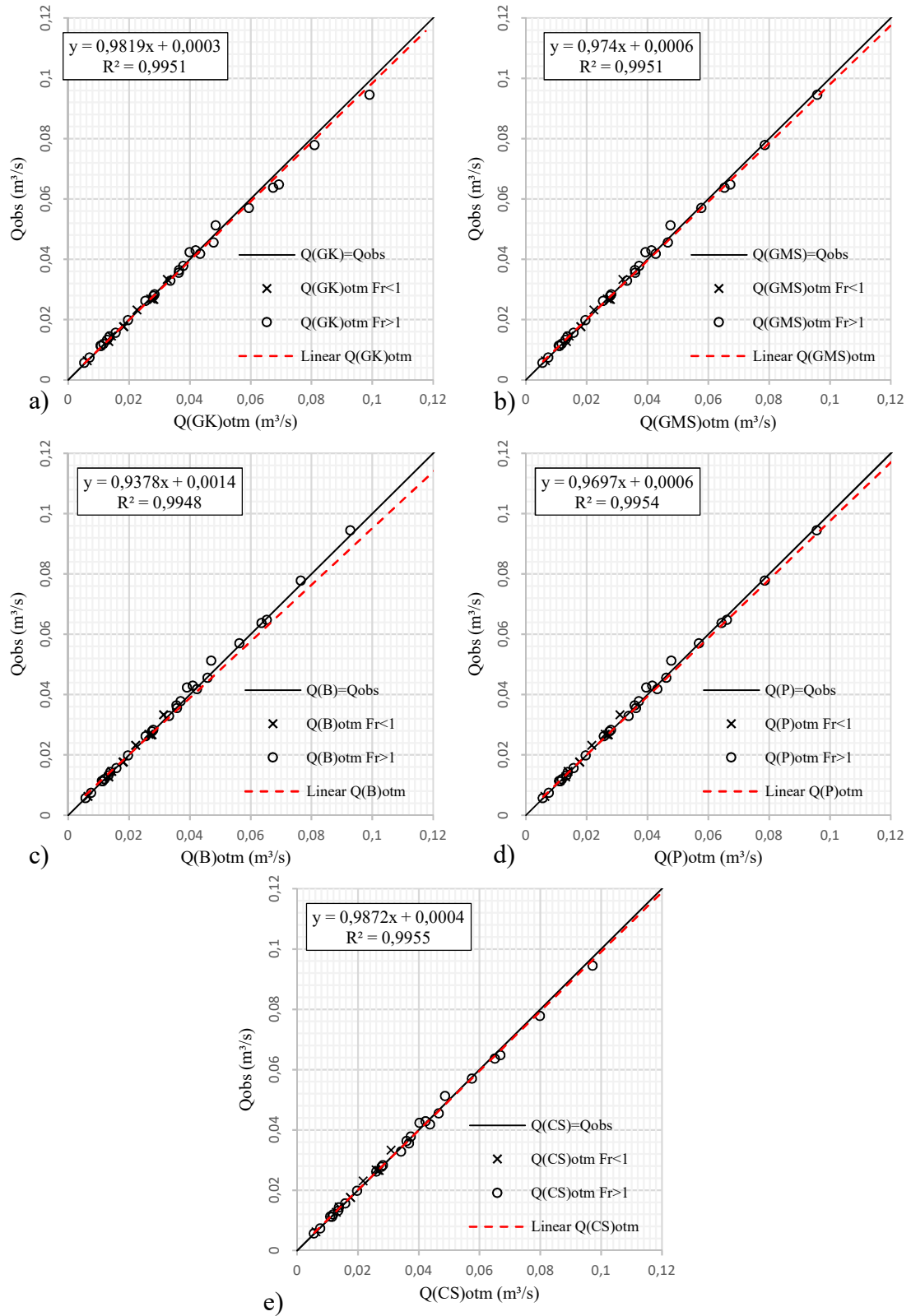


Figura D4 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais circulares de amianto (AC9): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

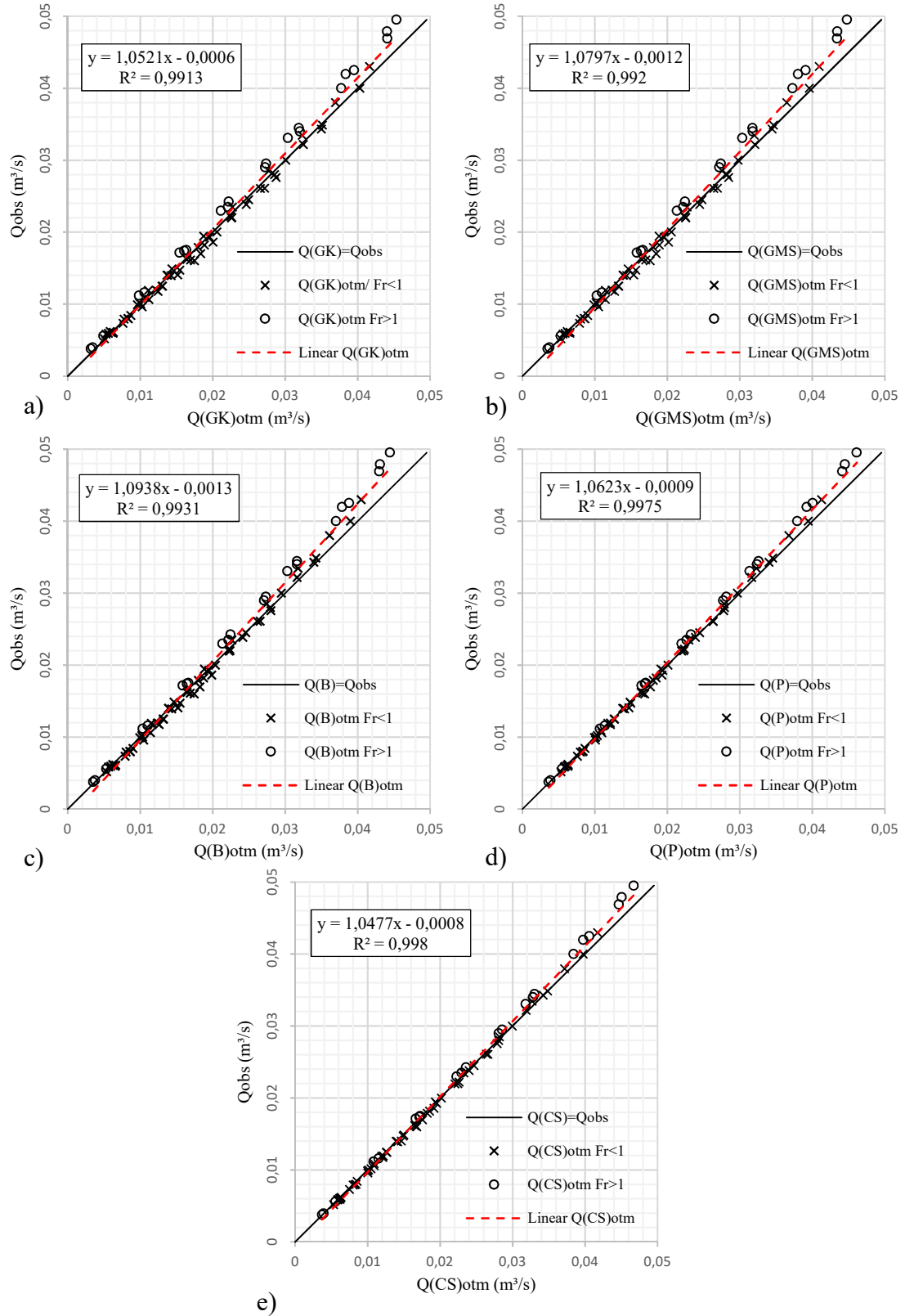


Figura D5 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais triangulares de areia Ks₁ (A1T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

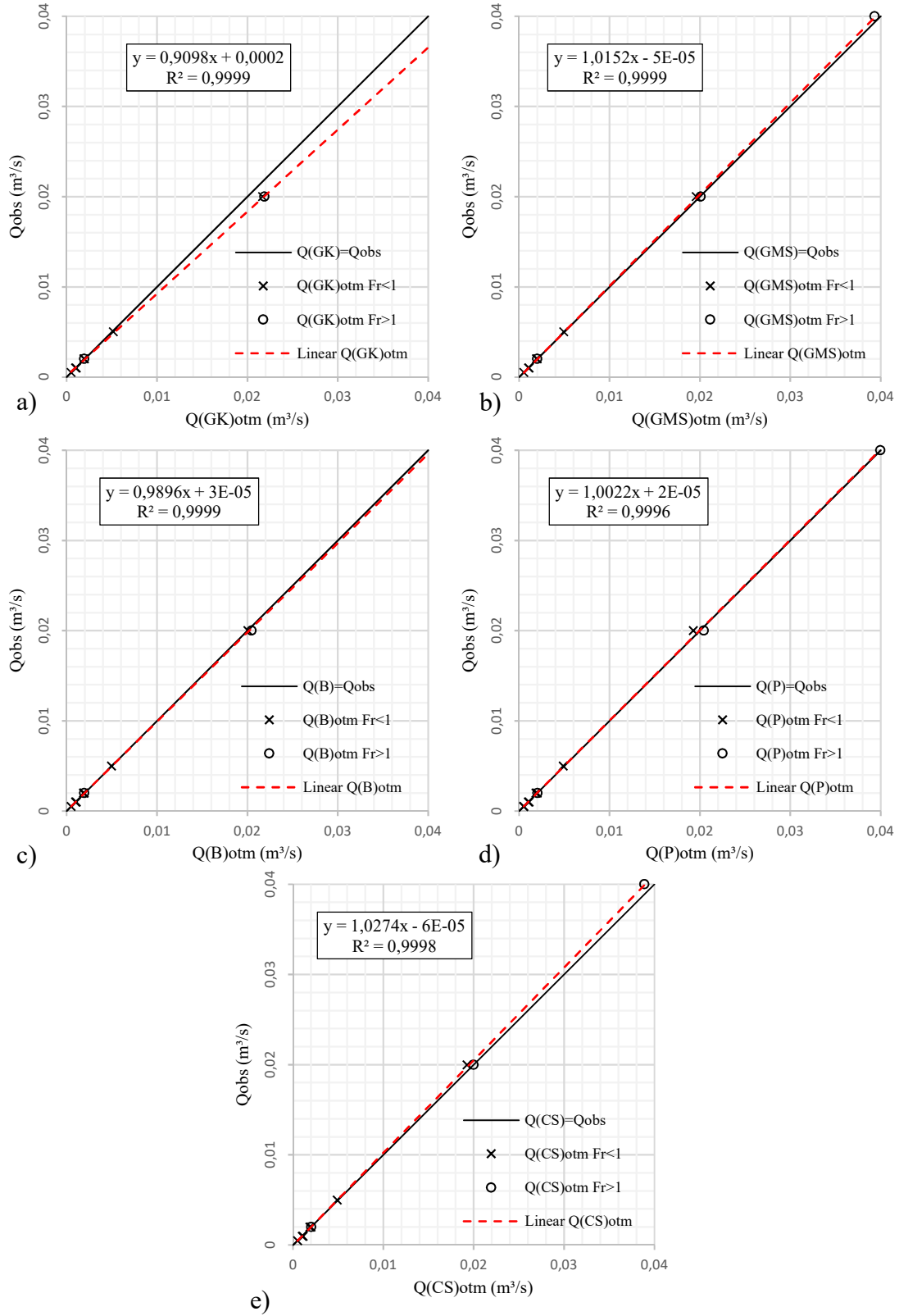


Figura D6 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais triangulares de areia Ks₂ (A2T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

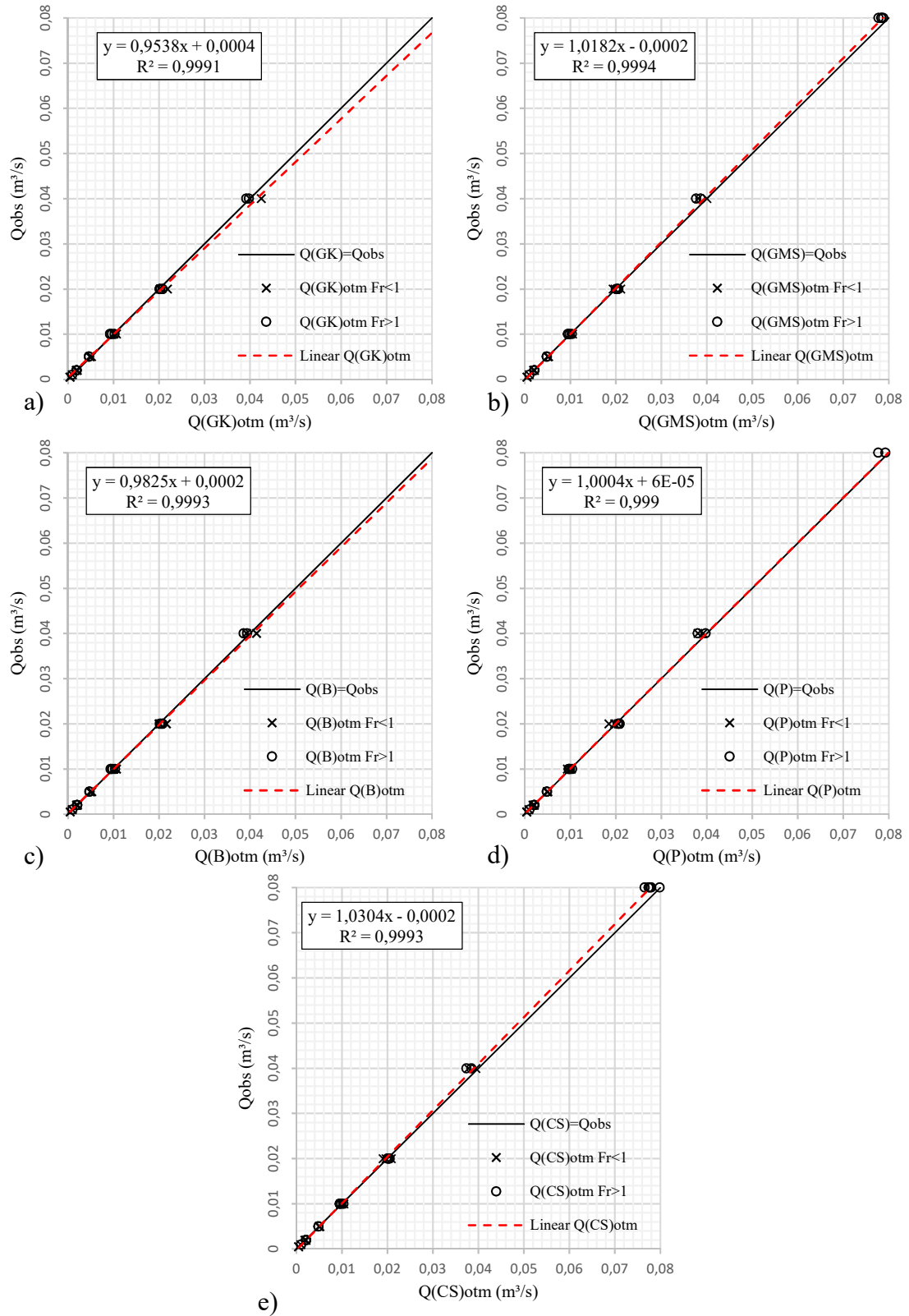


Figura D7 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais triangulares de areia Ks₃ (A3T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

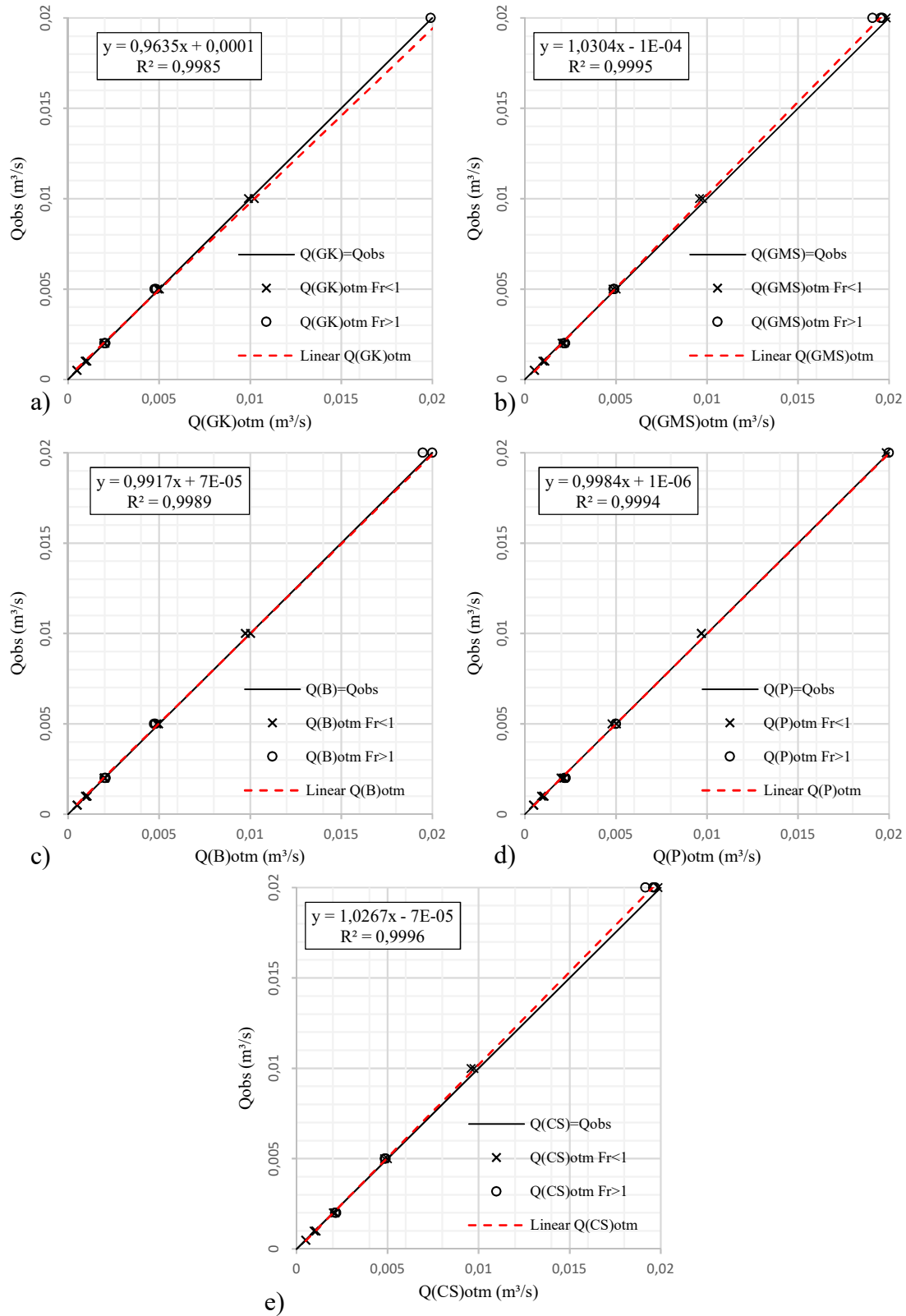


Figura D8 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais triangulares de areia Ks₄ (A4T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

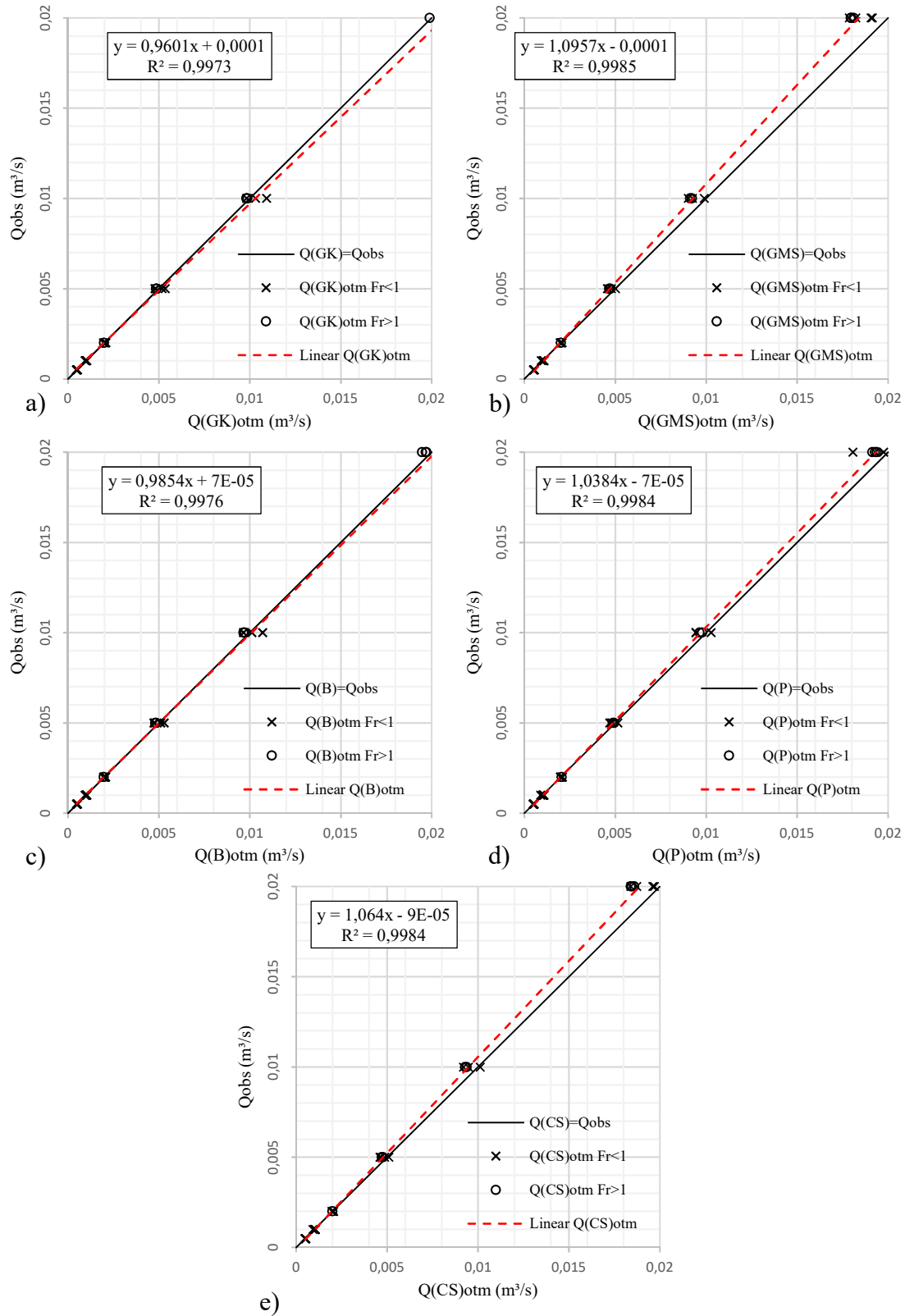


Figura D9 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais triangulares de areia Ks₅ (A5T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

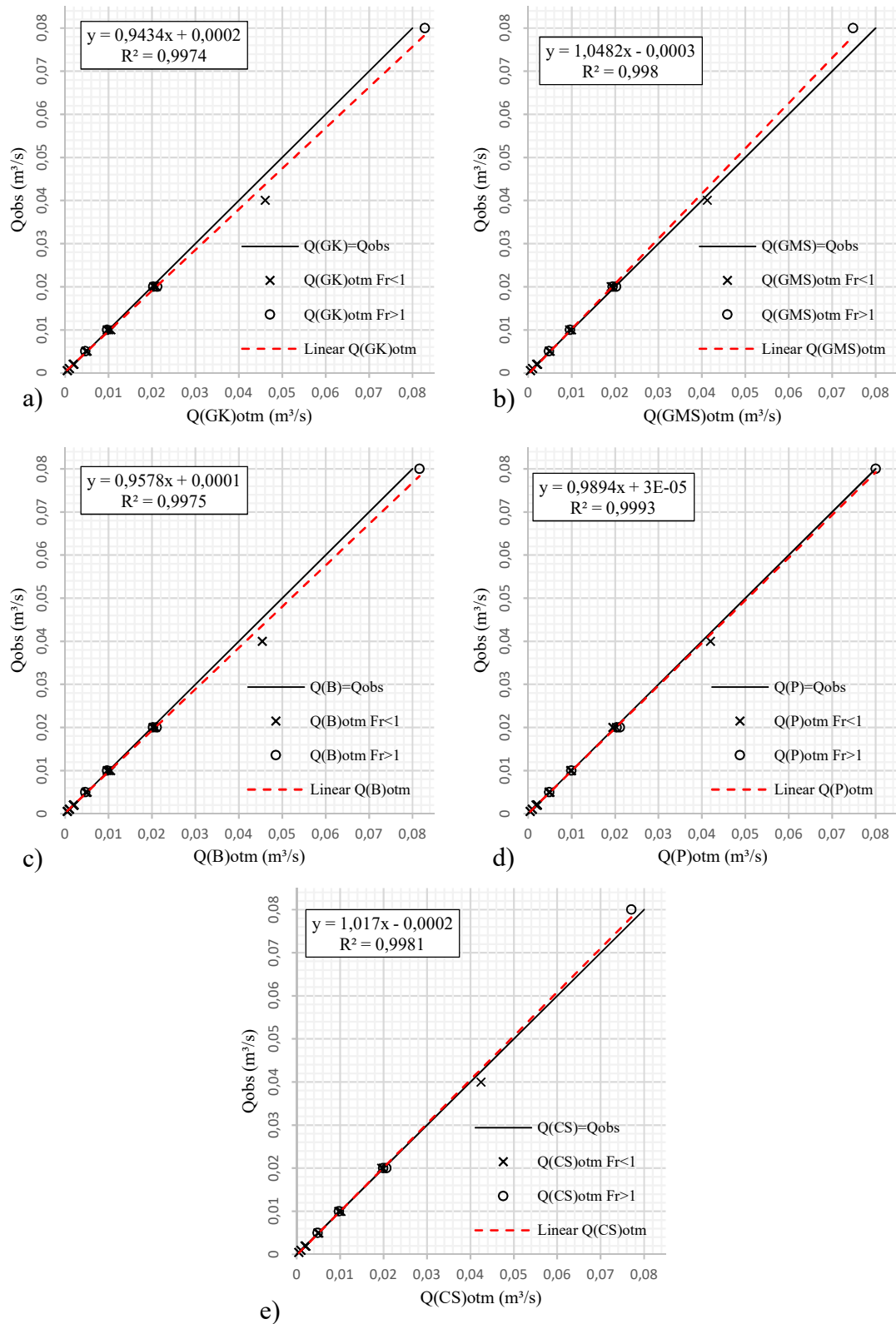


Figura D10 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais triangulares de areia Ks₆ (A6T8): a) GK, b) GMS, c) B, d) P e e) CS

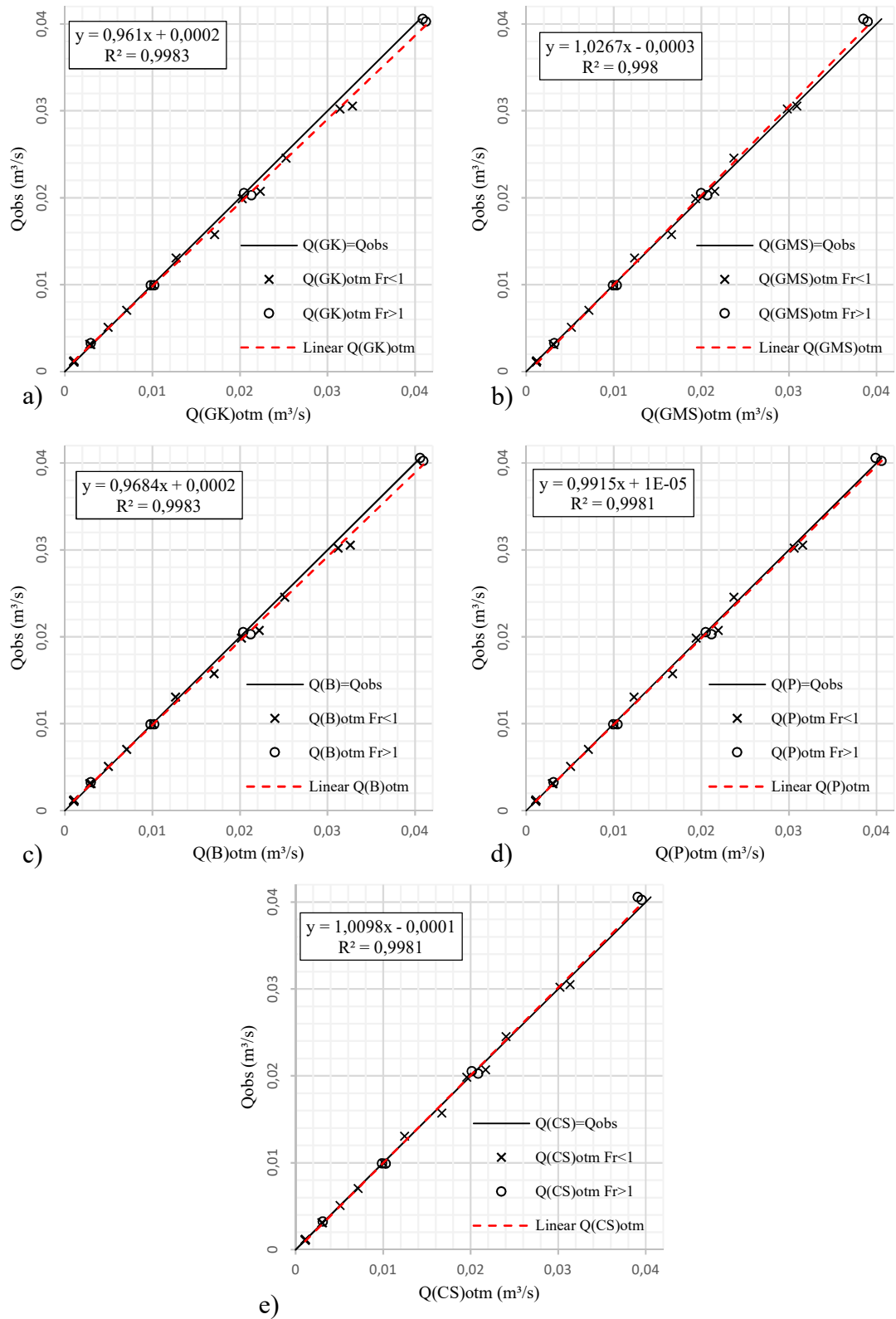


Figura D11 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais retangulares de aço (AR6): a) GK, b) GMS, c) B, d) P, e) CS e f) CH

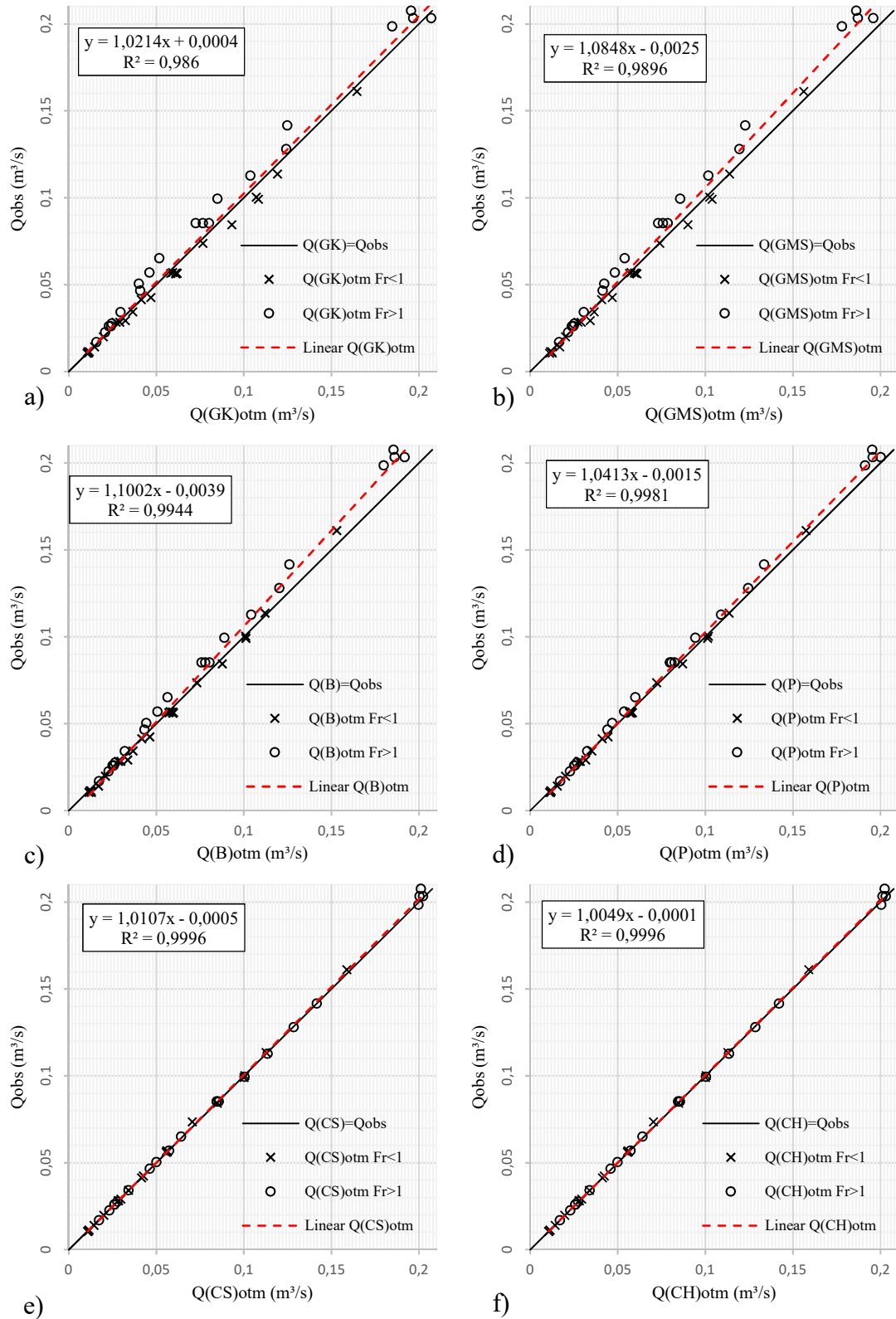


Figura D12 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais retangulares de vidro (VR10): a) GK, b) GMS, c) B, d) P, e) CS e f) CH

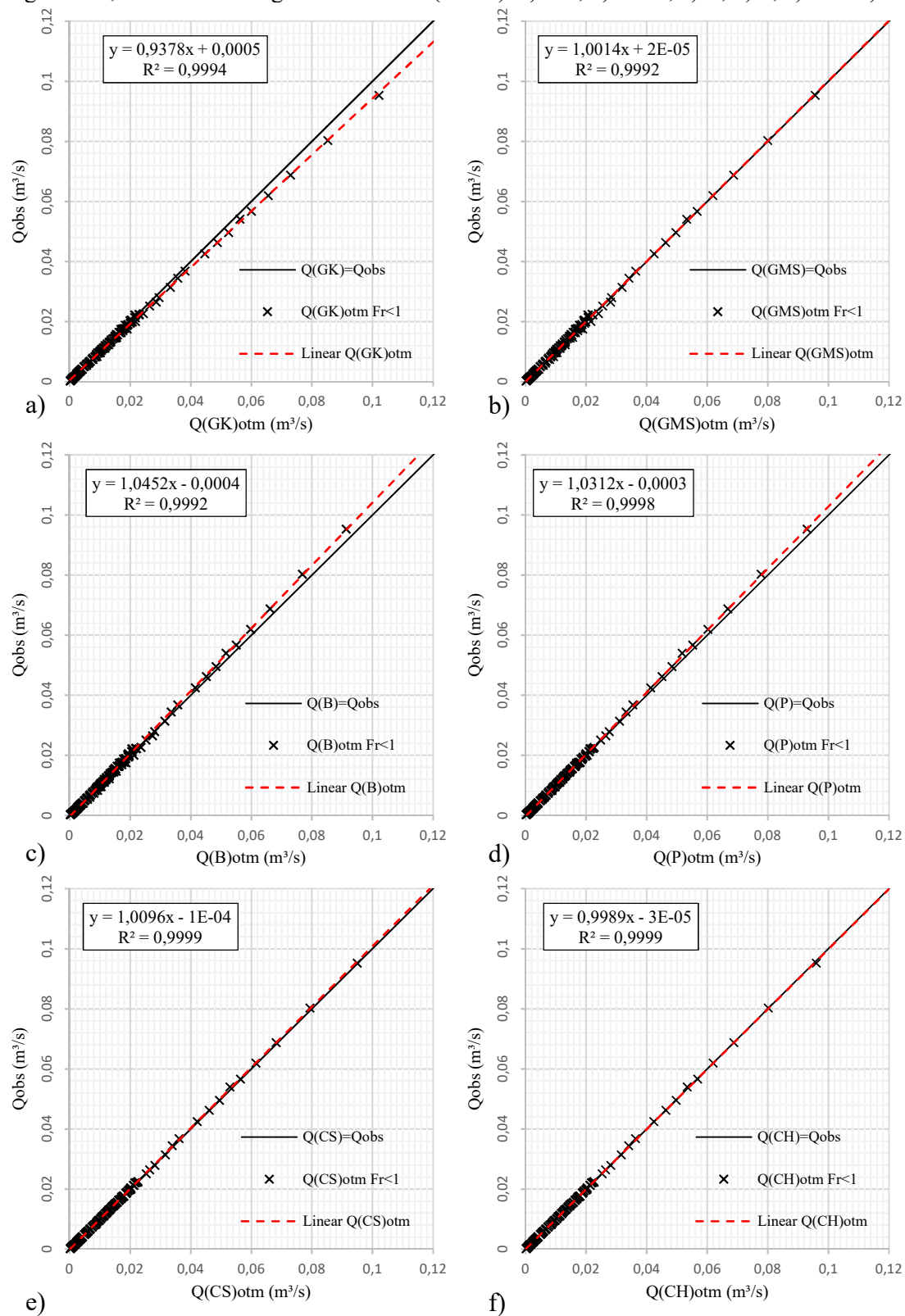


Figura D13 – Retas de ajustes das vazões calculadas, após a calibração dos coeficientes de rugosidade, em canais retangulares estreitos de vidro (VRE11): a) GK, b) GMS, c) B, d) P, e) CS e f) CH

