

COMPORTAMENTO DINÂMICO DE CIRCUITOS DE CONVECÇÃO TÉRMICA MONOFÁSICOS CONECTADOS A UMA PISCINA

Leon Lima

Norberto Mangiavacchi
José Pontes

PPG Engenharia Mecânica - UERJ

13 de dezembro, 2016

Introdução
oooooooooo

Modelo matemático
○
○○

Estado Permanente

Estabilidade linear
○
○○○
○○○○

Estabilidade não-linear
○○
○○○
○○
○○○
○○○○○○○

Conclusão

1 Introdução

- Revisão de literatura

2 Modelo matemático

- Modelo não-linear
- Forma adimensional

3 Estado Permanente

4 Estabilidade linear

- Modelo
- Mapas de estabilidade
- Efeito da quantidade de água

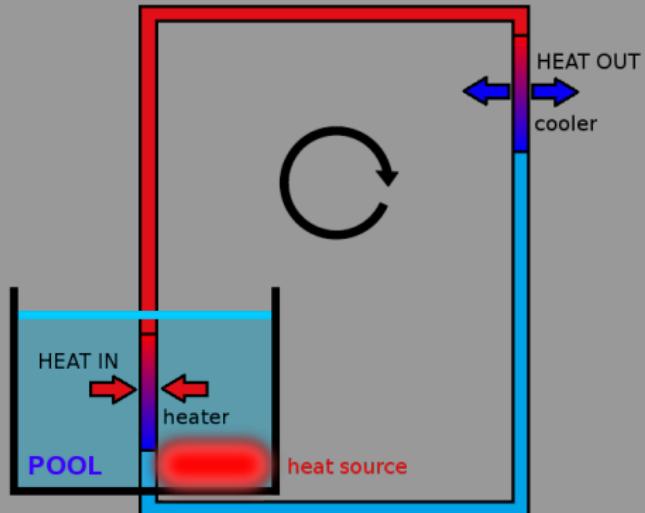
5 Estabilidade não-linear

- Efeito da magnitude da perturbação
- Regimes transitórios simulados
- Transientes amortecidos
- Transientes periódicos
- Transientes não-periódicos

6 Conclusão

CIRCUITOS DE CONVEÇÃO NATURAL (CCN)

estrutura básica



CCNs: aplicações



- indústria automobilística

CCNs: aplicações



- indústria automobilística
- resfriamento de equipamentos eletrônicos

CCNs: aplicações



- indústria automobilística
- resfriamento de equipamentos eletrônicos
- instalações solares de potência

CCNs: aplicações



- indústria automobilística
- resfriamento de equipamentos eletrônicos
- instalações solares de potência
- indústria nuclear de potência

Aplicações na indústria nuclear



- primário opera por convecção natural durante perda de energia da rede externa

Aplicações na indústria nuclear



- primário opera por convecção natural durante perda de energia da rede externa
- Unidade Complementar de Armazenamento de Elementos Combustíveis Irradiados: sistema passivo de remoção de calor

Unidade Complementar de Armazenamento de ECIs - UFC

Reator → piscina dentro da usina → UFC

Fukushima, 11 de março, 2011

Por que tanta importância a sistemas passivos?

- terremoto - perda da energia da rede externa



Fukushima, 11 de março, 2011

Por que tanta importância a sistemas passivos?



- terremoto - perda da energia da rede externa
- geradores de emergência partiram: resfriamento do reator ocorre sem problema

Fukushima, 11 de março, 2011

Por que tanta importância a sistemas passivos?



- terremoto - perda da energia da rede externa
- geradores de emergência partiram: resfriamento do reator ocorre sem problema
- tsunami - perda dos geradores de emergência

Fukushima, 11 de março, 2011

Por que tanta importância a sistemas passivos?



- terremoto - perda da energia da rede externa
- geradores de emergência partiram: resfriamento do reator ocorre sem problema
- tsunami - perda dos geradores de emergência
- perdida capacidade de resfriamento

Fukushima, 11 de março, 2011

Por que tanta importância a sistemas passivos?



- terremoto - perda da energia da rede externa
- geradores de emergência partiram: resfriamento do reator ocorre sem problema
- tsunami - perda dos geradores de emergência
- perdida capacidade de resfriamento
- três resfriamentos de núcleo

Fukushima, 11 de março, 2011

Por que tanta importância a sistemas passivos?



- terremoto - perda da energia da rede externa
- geradores de emergência partiram: resfriamento do reator ocorre sem problema
- tsunami - perda dos geradores de emergência
- perdida capacidade de resfriamento
- três resfriamentos de núcleo
- liberação de radiação para o ambiente

Aplicação na indústria nuclear

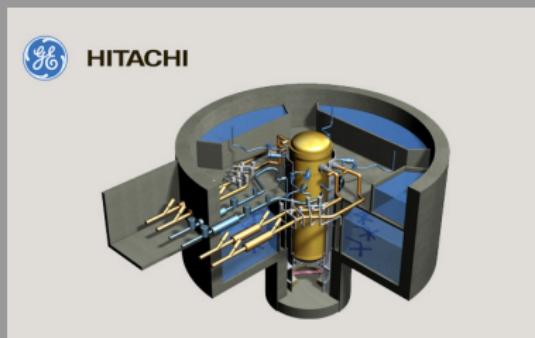
Sistemas Passivos de Resfriamento

AP1000, da Westinghouse

Aplicação na indústria nuclear

Sistemas Passivos de Resfriamento

ESBWR, da GE / Hitachi



Aplicação na indústria nuclear

Sistemas Passivos de Resfriamento

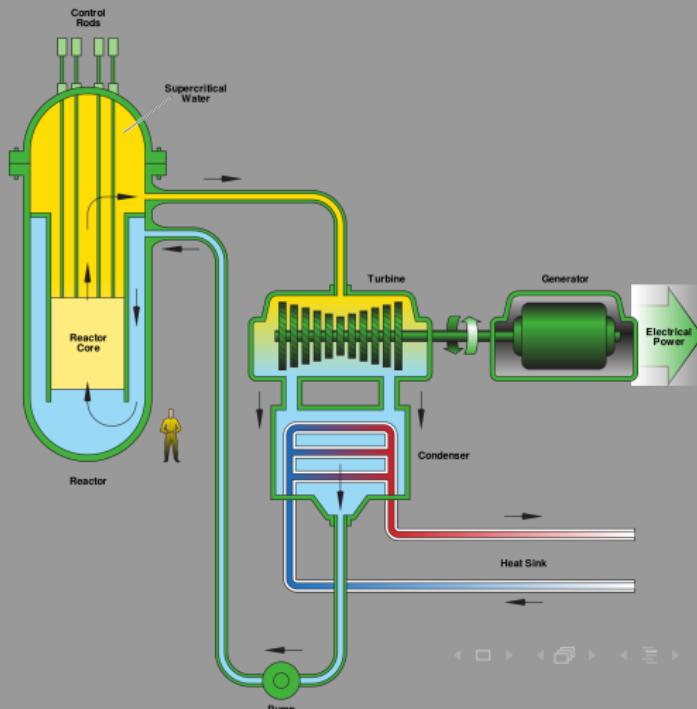
ESBWR, da GE / Hitachi

Aplicação na indústria nuclear

Sistemas Passivos de Resfriamento

VVER, da Rosatom (Russia)

SCWR, um dos modelos da Ger. IV de usinas nuclear



Pontos fracos dos sistemas passivos

- sistema requer maiores dimensões e

Pontos fracos dos sistemas passivos

- sistema requer maiores dimensões e
- está sujeito a **instabilidades termo-hidráulicas**

Pontos fracos dos sistemas passivos

- sistema requer maiores dimensões e
- está sujeito a **instabilidades termo-hidráulicas**
 - ausência de componentes ativos
 - livre relação entre empuxo e atrito
 - competição entre muitas soluções

Pontos fracos dos sistemas passivos

- sistema requer maiores dimensões e
- está sujeito a **instabilidades termo-hidráulicas**
 - ausência de componentes ativos
 - livre relação entre empuxo e atrito
 - competição entre muitas soluções
- instabilidades provocam vibrações
- alteram a taxa de transferência de calor
- no caso de reatores, influenciam na geração de potência, pelo acoplamento entre reatividade e fluxo de nêutrons

Acoplamento a piscina

Por que modelar o sistema com piscina acoplada?

Acoplamento a piscina

Por que modelar o sistema com piscina acoplada?

- configuração mais comum de SPRs (e.g. ESBWR, VVER, UFC)

Acoplamento a piscina

Por que modelar o sistema com piscina acoplada?

- configuração mais comum de SPRs (e.g. ESBWR, VVER, UFC)
- comportamento dinâmico é modificado

Revisão de literatura

REVISÃO DE LITERATURA

TRÊS FASES:

Precursors

1966 – 1990: primeiros estudos analíticos, primeiros experimentos

Rápido desenvolvimento

1990 – 2010: geometria retangular, estudos paramétricos, escalas, modelos 1D, 2D 3D

Expansão do problema

2010 – atual: outros fluidos de trabalho, sofisticação dos modelos 1D, *rolling motion, piscina*

Introdução
○●○○○○○○

Modelo matemático
○
○○

Estado Permanente

Estabilidade linear
○
○○○
○○○○

Estabilidade não-linear
○○
○○○
○○
○○○
○○○○○○○○

Conclusão

Revisão de literatura

Precursors

Keller, EUA, 1966

Indicou analiticamente que poderiam surgir instabilidades em CCNs monofásicos.

Welander, Suécia, 1967

Extendeu os resultados de Keller; usou conceito interessante de pacotes de fluido, num circuito com fonte e sumidouro pontuais.

Creveling, EUA, 1975

Primeiros resultados experimentais, num loop toroidal.

Revisão de literatura

Precursors

Wacholder, EUA, 1982

Modelo para análise de estabilidade em loop toroidal (modelando o tanque de expansão)

Ichii e Kataoka, EUA/Japão, 1984

Começam as propostas de *scaling* de sistemas de convecção natural. *Scaling* foi baseado nos números de Richardson e Biot.

Zvirin, Israel, década de 1980

Produziu diversos trabalhos teóricos no tópico. Indicou haver um número crítico de Rayleigh.

Revisão de literatura

Rápido desenvolvimento

Década de 1990, BARC, Índia

Bhabha Atomic Research Centre, Índia: começam a aparecer os trabalhos liderados por P. K. Vijayan.

$$\text{Re} = C \left(\text{Gr} \frac{D}{L} \right)^r \quad (1)$$

Revisão de literatura

Rápido desenvolvimento

Década de 1990, BARC, Índia

Bhabha Atomic Research Centre, Índia: começam a aparecer os trabalhos liderados por P. K. Vijayan.

$$\text{Re} = C \left(\text{Gr} \frac{D}{L} \right)^r \quad (1)$$

- loops monofásicos; vários diâmetros
- loop bifásico
- loop supercrítico
- loop com sal fundido

Revisão de literatura

Rápido desenvolvimento

Ambrosini, Itália, anos 2000

Estudou fator de atrito, na zona de transição.

Estudos numéricos, simulação 3D.

Sistemas supercríticos.

Basu, Índia, 2000

Trabalha paralelamente ao grupo de Vijayan:

Critica explicitamente o scaling baseado em G_r usado por Vijayan

Propõe número de Richardson

Questiona aplicabilidade da aprox. de Boussinesq.

No Brasil

Publicações de resultados experimentais do IPEN. Aparato no IEN.

Revisão de literatura

Expansão do problema

Kudariyawar et al., 2016; Srivastava et al., Índia, 2016
Sal fundido (Ger.IV).

Schulenberg, KIT/Alemanha, 2008–2014
Reatores resfriados a água supercrítica.
Correlações para fluxo de calor.

Krishnani e Basu, Índia, 2016
Concluiu que Boussinesq não é aplicável.

Revisão de literatura

Estado da arte

- Modelos 1D
- efeitos de parâmetros geométricos e operacionais bem conhecidos
- Modelagem de condução de calor na direção axial (para startup)
- Fator de atrito é um ponto em aberto
- não há um *scaling* amplamente aceito

Revisão de literatura

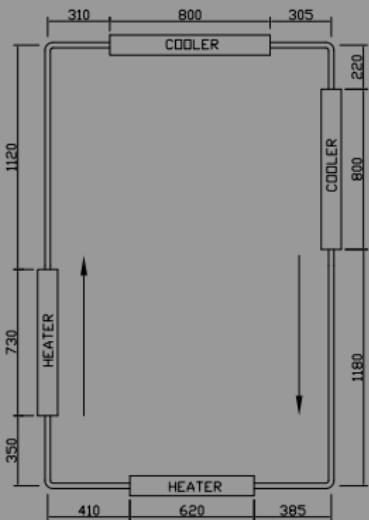
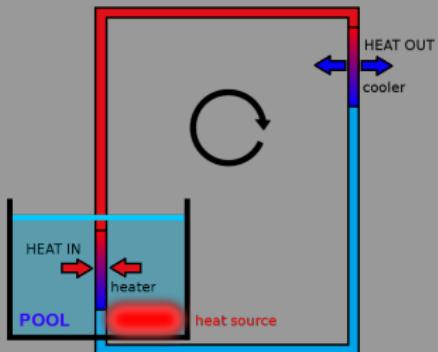
Escopo do trabalho

- CCNs monofásicos
- Acoplamento a piscina
- Foco na estabilidade termo-hidráulica
- Modelagem 1D
- Análises linear e não-linear de estabilidade

OBJETIVO:

- verificar quantitativamente a influência da piscina na estabilidade termo-hidráulica de CCNs
- Propor um modelo 1D que leve em conta o acoplamento

Estrutura básica



- HHHC
- HHVC
- VHHC
- VHVC

MODELO MATEMÁTICO

Conservação de:

- massa
- quantidade de movimento
- energia

Hipóteses:

- propriedades constantes na seção transversal
- paredes adiabáticas (exceto heater e cooler)
- difusão axial desprezada, assim como aquecimento viscoso
- sem comprimento de desenvolvimento da camada limite térmica
- aproximação de Boussinesq

Modelo não-linear

MODELO MATEMÁTICO

equações de conservação

$$\frac{L}{A} \frac{dw}{dt} = - \left(f \frac{L}{D} + K \right) \frac{w^2}{2\rho_0 A^2} + \rho_0 g \beta \oint T dz \quad (2)$$

$$\text{heater: } \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{w}{\rho_0 A} \frac{\partial T}{\partial s} = - \frac{4U_h(T - T_{\text{pool}})}{D\rho_0 c_p} \quad (3a)$$

$$\text{cooler: } \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{w}{\rho_0 A} \frac{\partial T}{\partial s} = - \frac{4U_c(T - T_s)}{D\rho_0 c_p} \quad (3b)$$

$$\text{pipes: } \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{w}{\rho_0 A} \frac{\partial T}{\partial s} = 0 \quad (3c)$$

$$Mc_p \frac{dT_{\text{pool}}}{dt} = Q - U_h \pi D \left(T_{\text{pool}} L_h - \int_h T ds \right) \quad (4)$$

Forma adimensional

MODELO MATEMÁTICO

Forma adimensional

Vijayan e Austregesilo, 1994

$$St = 4 \frac{ULA}{D\bar{w}c_p} \quad (5)$$

$$Gr = \frac{D^3 \rho_0^2 \beta g Q_{NCL} H}{\mu^3 A c_p} \quad (6)$$

$$Re = \frac{D\bar{w}}{A\mu} \quad (7)$$

Forma adimensional

MODELO MATEMÁTICO

Forma adimensional

Vijayan e Austregesilo, 1994

Escalas utilizadas:

$$St = 4 \frac{ULA}{D\bar{w}c_p} \quad (5)$$

$$\omega = \frac{w}{\bar{w}} \quad (8a)$$

$$Gr = \frac{D^3 \rho_0^2 \beta g Q_{NCL} H}{\mu^3 A c_p} \quad (6)$$

$$\tau = \frac{t\bar{w}}{V\rho_0} \quad (8b)$$

$$Re = \frac{D\bar{w}}{A\mu} \quad (7)$$

$$\theta = \frac{T - T_s}{\Delta \bar{T}_h} \quad (8c)$$

$$\theta_{pool} = \frac{T_{pool} - \bar{T}_h}{\Delta \bar{T}_h} \quad (8d)$$

$$S = \frac{s}{H} \quad (8e)$$

$$Z = \frac{z}{H} \quad (8f)$$

Forma adimensional

MODELO MATEMÁTICO

Forma adimensional

$$\frac{d\omega}{d\tau} = - \left(f \frac{L}{D} + K \right) \frac{\omega^2}{2} + \frac{Gr}{Re^3} \oint \theta dZ \quad (9)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \phi \omega \frac{\partial \theta}{\partial S} = St_h \left[\theta_{pool} - \theta + \frac{\bar{T}_h + T_s}{\Delta \bar{T}_h} \right] \quad (10a)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \phi \omega \frac{\partial \theta}{\partial S} = St_c \theta \quad (10b)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \phi \omega \frac{\partial \theta}{\partial S} = 0 \quad (10c)$$

$$\psi \frac{d\theta_{pool}}{d\tau} = 1 - St_h \left[\theta_{pool} - \frac{H}{L_h} \int_h \theta dS - \frac{T_s}{\Delta \bar{T}_h} \right] \quad (11)$$

onde: $\phi = V/(AH)$ e $\psi = M/(V\rho_0)$.

ESTADO PERMANENTE

Objetivo:

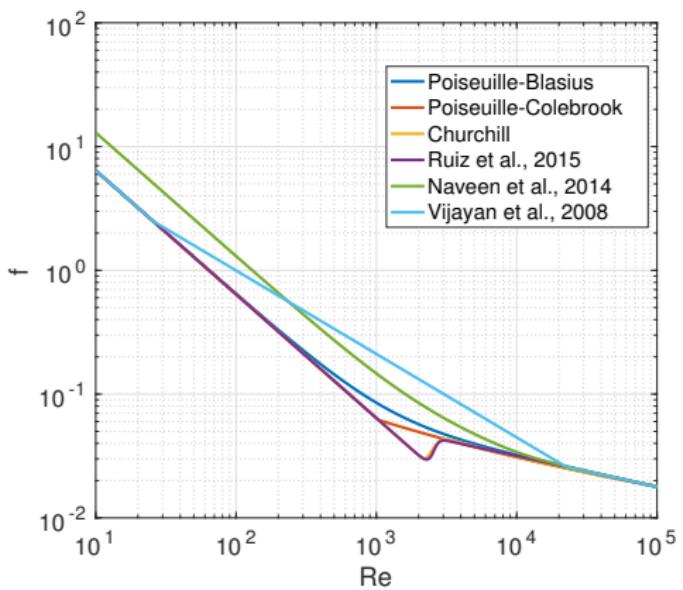
- seleção de correlação para atrito
- $Re = \mathcal{F}(Gr)$, relação linear

ESTADO PERMANENTE

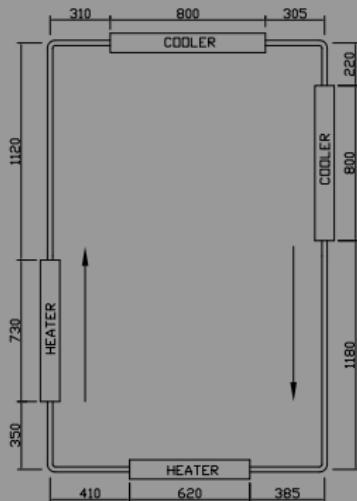
Objetivo:

- seleção de correlação para atrito
- $Re = \mathcal{F}(Gr)$, relação linear
- a combination of Poiseuille-Blasius' correlation
- a combination of Poiseuille-Colebrook's correlation
- Churchill's correlation
- the model proposed by Ruiz et al., 2015
- the model proposed by Naveen et al., 2014
- the model proposed by Vijayan et al., 2008

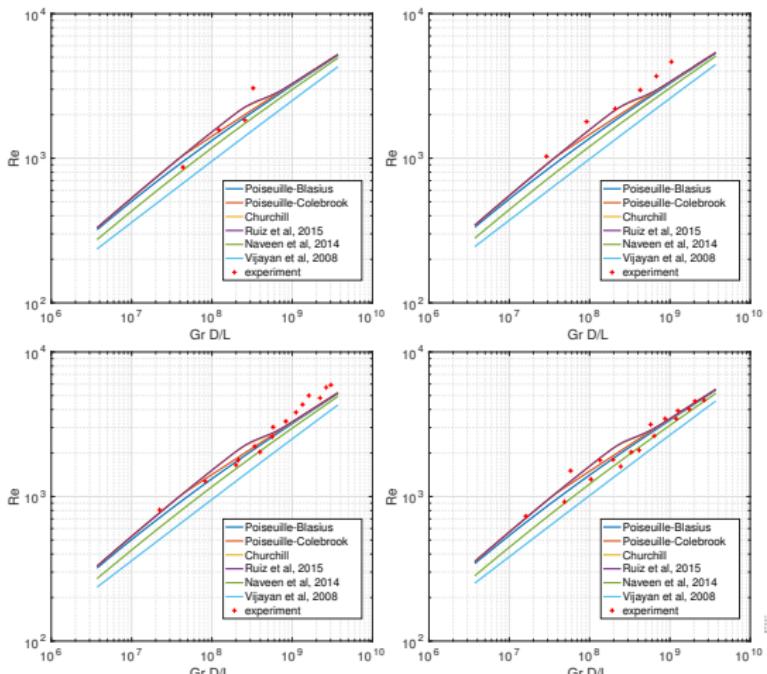
Fatores de atrito



Loop simulado



L [m]	7.23
D [mm]	26.9
A [mm^2]	568.3
V [m^3]	4.1×10^{-3}
L_h [m]	0.665
L_c [m]	1.000
local losses	4.2
mesh nodes	1000
Gr	$10^6 - 10^{10}$
St	20
T_s [$^\circ\text{C}$]	30
todas as 4 config.	

Regime permanente, $\text{Re} \times \text{Gr } D/L$ 

ANÁLISE DE ESTABILIDADE LINEAR

Objetivo:

- mapas de estabilidade
- efeito piscina, pelo parâmetro $\psi = M/V/\rho_o$

Modelo

Equações na forma perturbada

$$\lambda \hat{w} = - \left(f \frac{L}{D} + K \right) \frac{\bar{w} \hat{w}}{\rho_0 L A} - \hat{w} f' \frac{\bar{w}^2}{2 D \rho_0 A} + \frac{A}{L} \rho_0 g \beta \oint \hat{T} dz \quad (12)$$

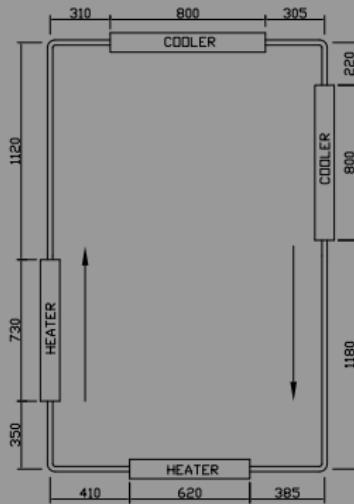
$$\lambda \hat{T} + \frac{\bar{w}}{\rho_0 A} \hat{T}' + \frac{\hat{w}}{\rho_0 A} \bar{T}' = - \frac{4 U \hat{T}}{D \rho_0 c_p} \quad (13a)$$

$$\lambda \hat{T} + \frac{\bar{w}}{\rho_0 A} \hat{T}' + \frac{\hat{w}}{\rho_0 A} \bar{T}' = 0 \quad (13b)$$

$$\lambda \hat{T}_{\text{pool}} = \frac{U_h \pi D}{M c_{pp}} \left(\int_h \hat{T} ds - \hat{T}_{\text{pool}} L_h \right) \quad (14)$$

Mapas de estabilidade

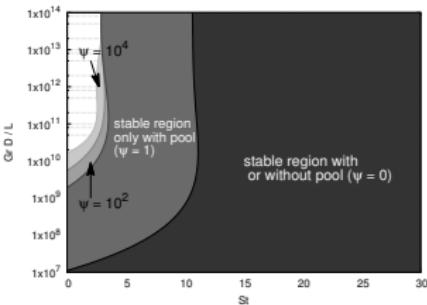
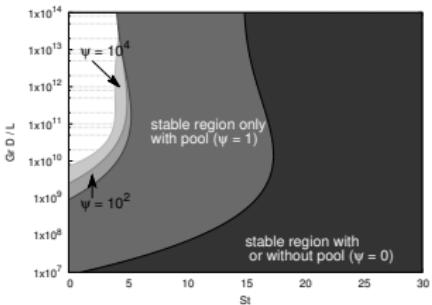
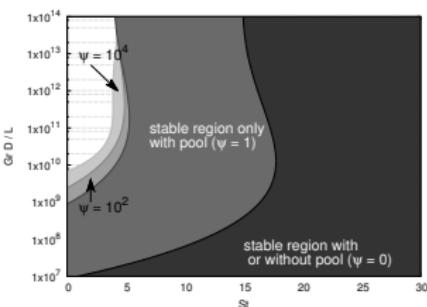
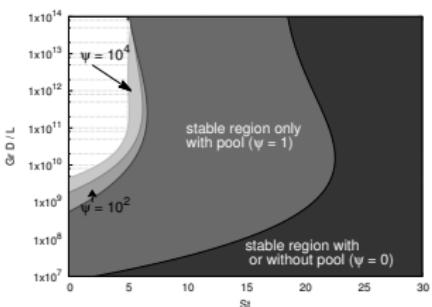
Loop simulado



L [m]	28.00
D [mm]	800.00
A [m^2]	0.5027
V [m^3]	14.0743
local losses	1.8
mesh nodes	750
$\text{Gr } D/L$	$10^7 - 10^{14}$
St	1 – 30
T_s [$^\circ\text{C}$]	30
friction correlation	Ruiz et al., 2015

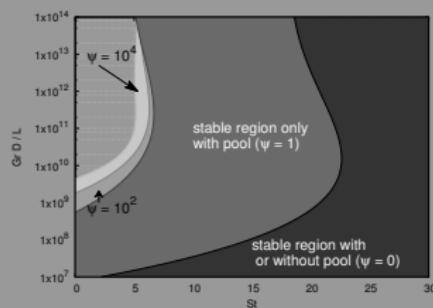
no pool coupled to the NCL	$\psi = 0$
pool coupled	$\psi = 10^0$
pool coupled	$\psi = 10^2$
pool coupled	$\psi = 10^4$

Mapas de estabilidade

Mapas de estabilidade, em $St \times Gr D/L$ 

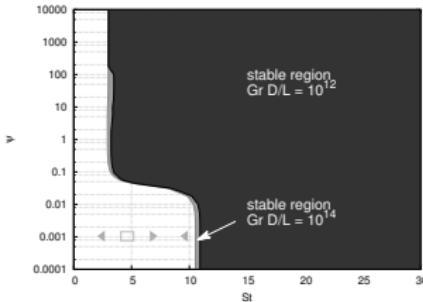
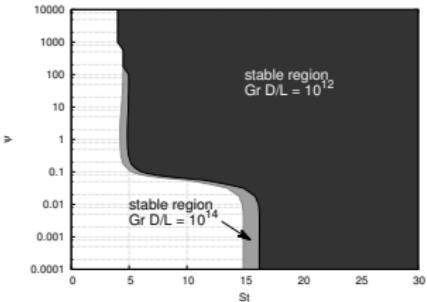
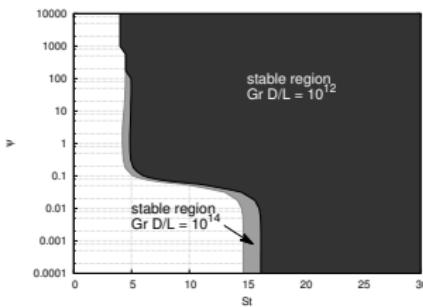
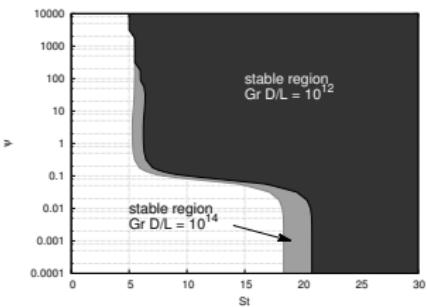
Mapas de estabilidade

Stanton crítico



ψ	St _c			
	HHHC	HHVC	VHHC	VHVC
0	22.17	17.33	16.81	10.92
10^0	7.29	5.61	5.64	3.63
10^2	6.40	4.94	5.03	3.28
10^4	5.59	4.56	4.56	3.23

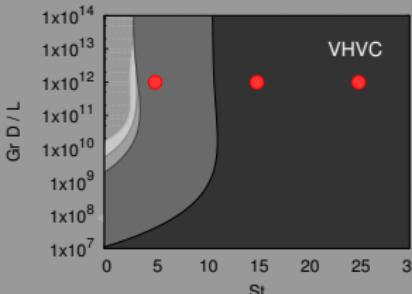
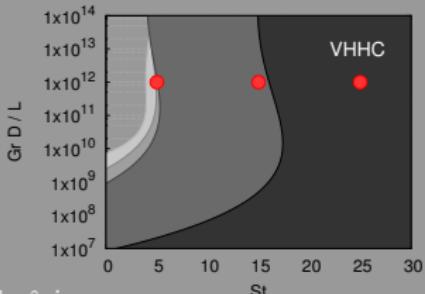
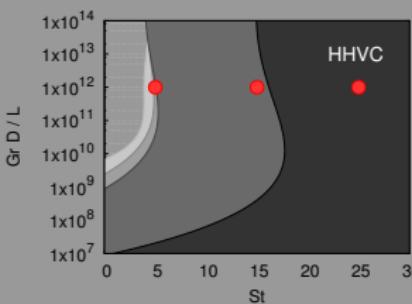
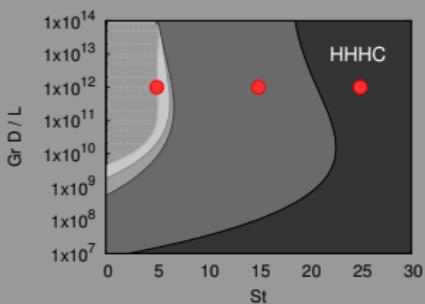
Mapas de estabilidade

Mapas de estabilidade, em $St \times \psi$ 

Efeito da quantidade de água

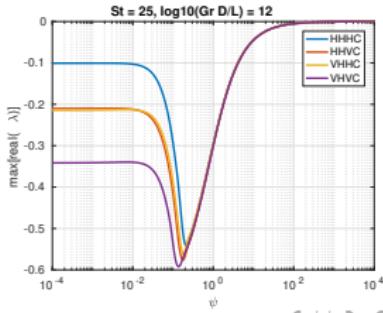
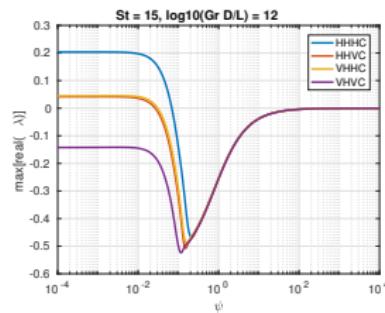
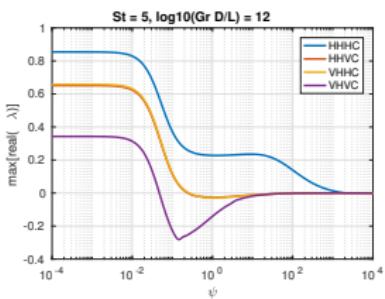
Efeito quantidade de água na estabilidade do sistema

Pontos operacionais selecionados



Efeito da quantidade de água

Efeito quantidade de água na estabilidade do sistema



oooooooooooo

○
○○

○
○○○○
○○●○

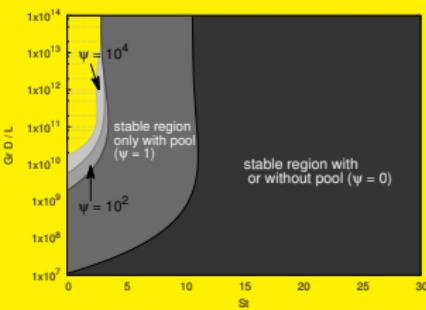
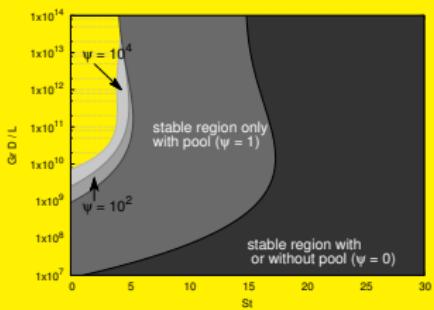
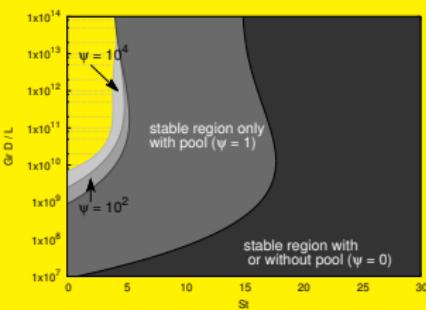
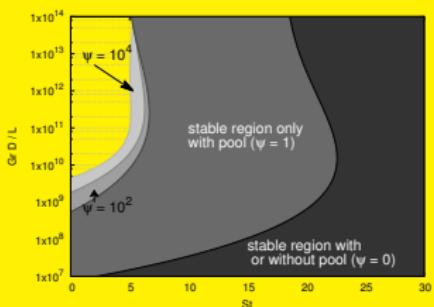
○○
○○○
○○
○○○
○○○○○○○○

Efeito da quantidade de água

ψ crítico

St	HHHC	HHVC	VHHC	VHVC
5	incond. instável	2.44×10^{-1}	2.62×10^{-1}	4.74×10^{-2}
15	6.86×10^{-2}	2.65×10^{-2}	3.05×10^{-2}	incond. estável
25	incond. estável	incond. estável	incond. estável	incond. estável

Efeito da quantidade de água

Mapas de estabilidade, em $St \times Gr D/L$ 

ANÁLISE DE ESTABILIDADE NÃO-LINEAR

Objetivos:

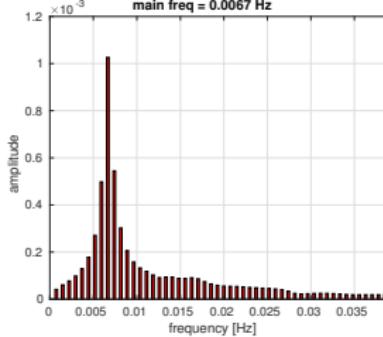
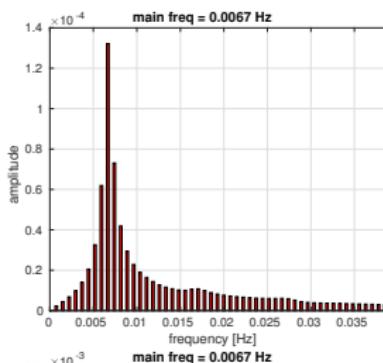
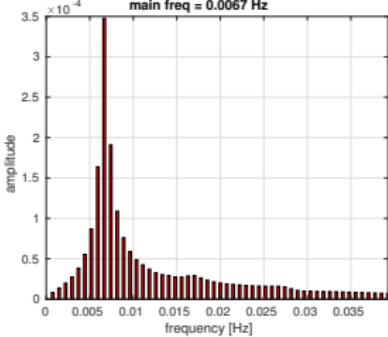
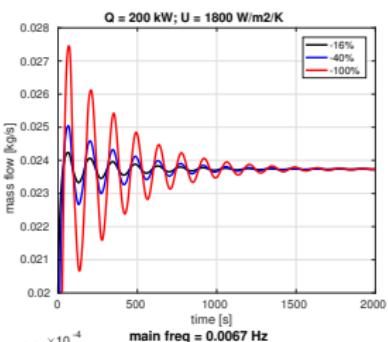
- avaliação do efeito de diferentes magnitudes de perturbação
- efeito piscina
- observar regimes amortecidos, periódicos e não-periódicos

Considerando três variantes:

- ponto de operação ($St, Gr D/L$)
- orientação: HHHC, HHVC, VHHC, VHVC
- Integração a piscina, $\psi = 0, \psi = 1$

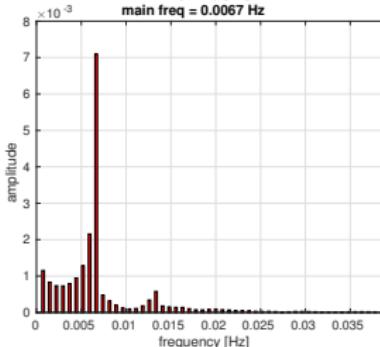
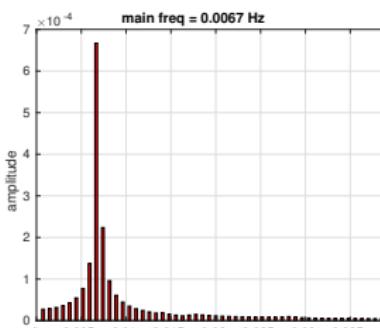
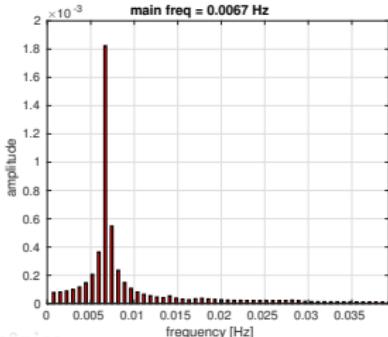
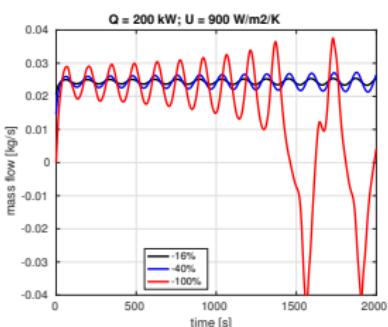
Efeito da magnitude da perturbação

Efeito da magnitude da perturbação, caso estável

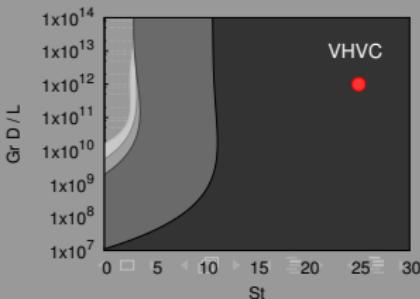
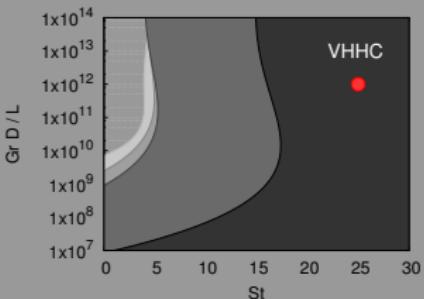
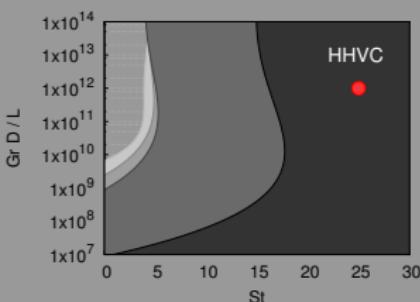
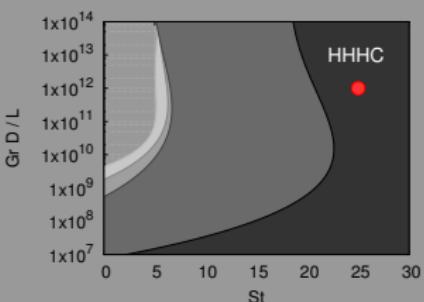


Efeito da magnitude da perturbação

Efeito da magnitude da perturbação, caso instável

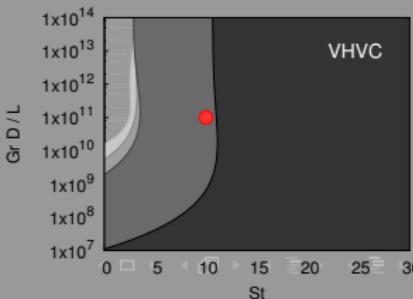
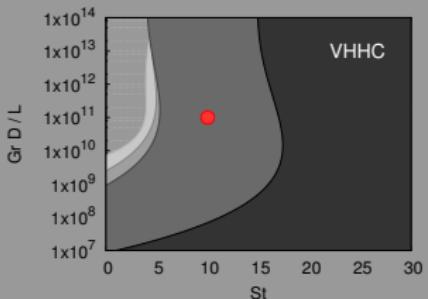
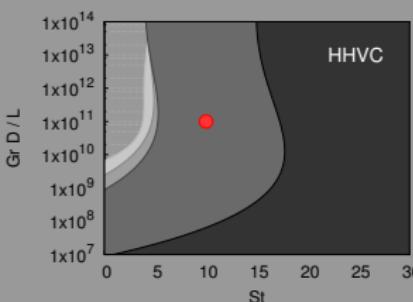
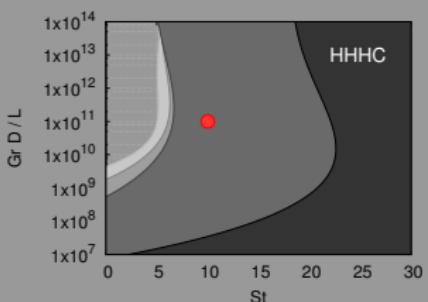


Regimes transientes simulados

Regimes estáveis, $St = 25$, $Gr D/L = 10^{12}$ 

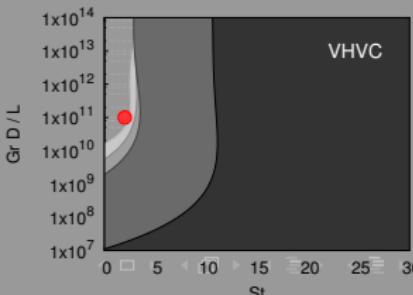
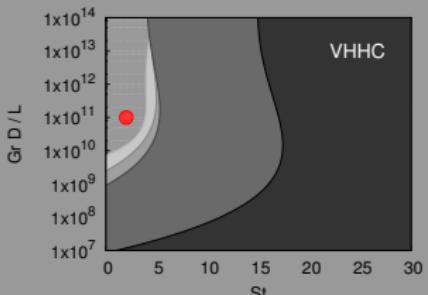
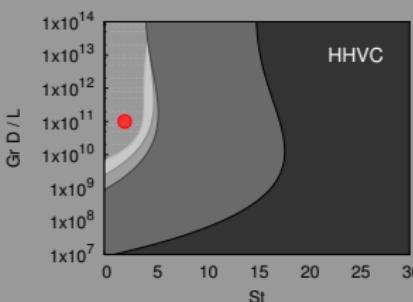
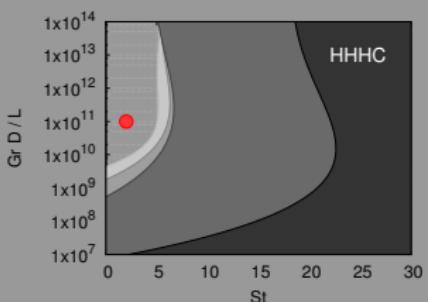
Regimes transitórios simulados

Regimes instáveis sem piscina, $St = 10$, $Gr D/L = 10^{11}$



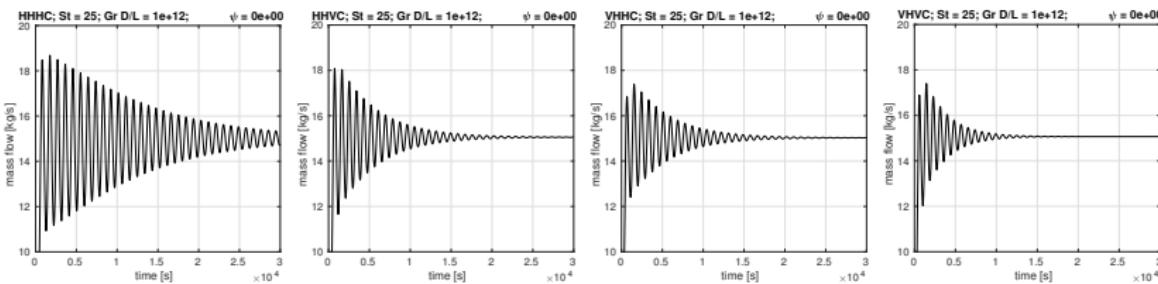
Regimes transientes simulados

Regimes instáveis, $St = 2$, $Gr D/L = 10^{11}$



Transientes amortecidos

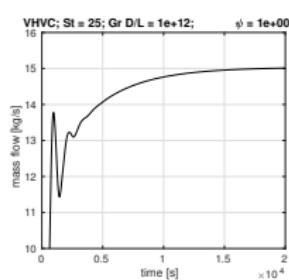
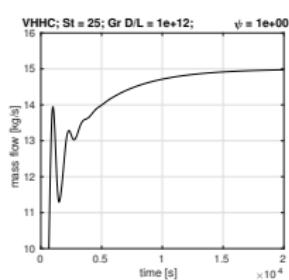
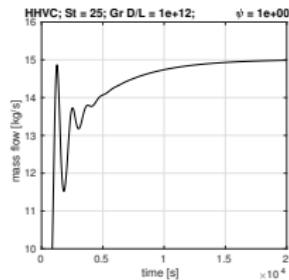
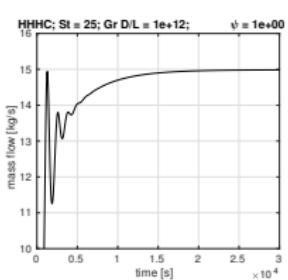
$$\text{St} = 25, \text{Gr } D/L = 10^{12}, \psi = 0$$



	período [s]	taxa de decaimento	coef. determinação
HHHC	937,47	$-7,15 \times 10^{-06}$	0,9620
HHVC	882,32	$-5,17 \times 10^{-06}$	0,7065
VHHC	882,32	$-4,01 \times 10^{-06}$	0,7122
VHVC	857,11	$-3,20 \times 10^{-06}$	0,5443

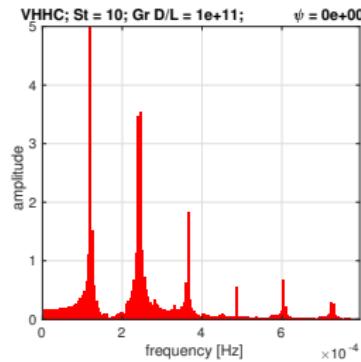
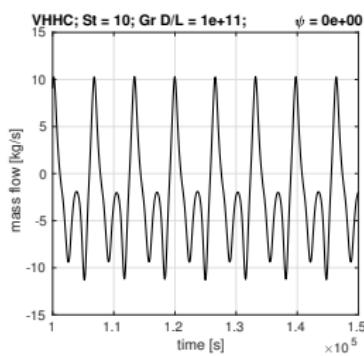
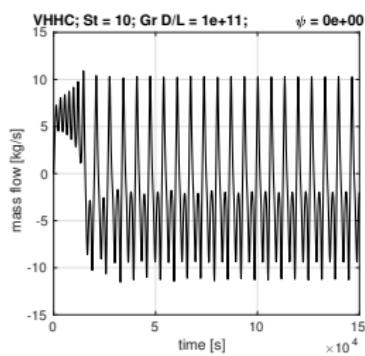
Transientes amortecidos

$$\text{St} = 25, \text{Gr } D/L = 10^{12}, \psi = 1$$



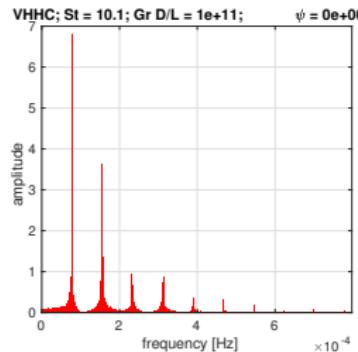
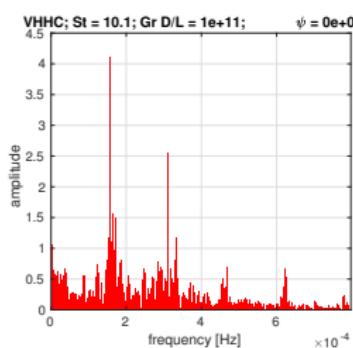
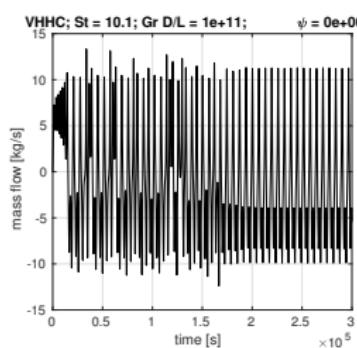
Transientes periódicos

VHHC com $St = 10$, $Gr D/L = 10^{11}$, $\psi = 0$

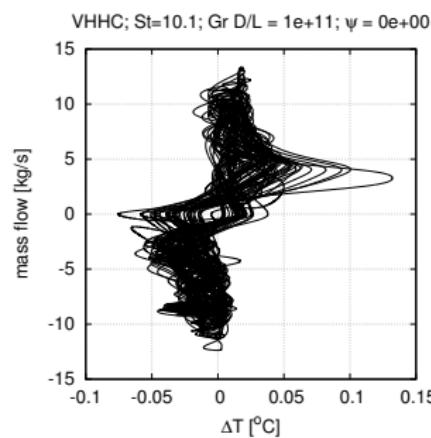
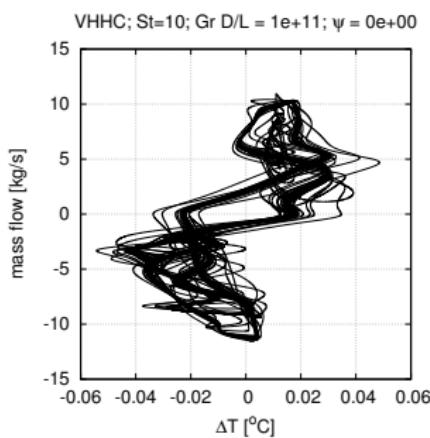


Transientes periódicos

VHHC com $St = 10, 1$, $Gr D/L = 10^{11}$, $\psi = 0$



Transientes periódicos

VHHC, $St = 10$ vs $St = 10,1$ 

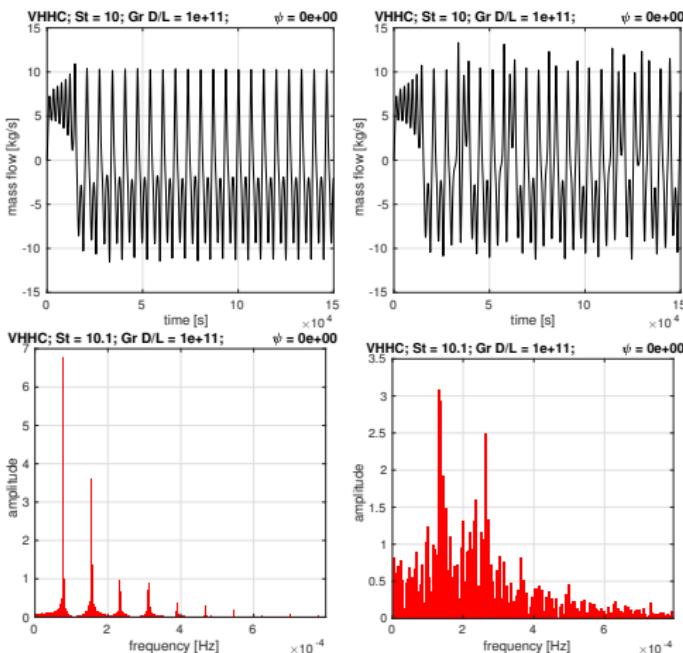
Transientes não-periódicos

Análise de transientes caóticos

Métodos

- Transformada de Fourier
- Dimensão do atrator
- Exponentes de Lyapunov

Transientes não-periódicos

VHHC, $St = 10$ vs $St = 10, 1$, espectros de frequência

Introdução
oooooooooooo

Modelo matemático
○
○○

Estado Permanente

Estabilidade linear
○
○○○○
○○○○

Estabilidade não-linear
○○
○○○
○○
○○○
○○●○○○○

Conclusão

Transientes não-periódicos

Dimensão do atrator

Dimensão de Hausdorff (alto custo de computação)

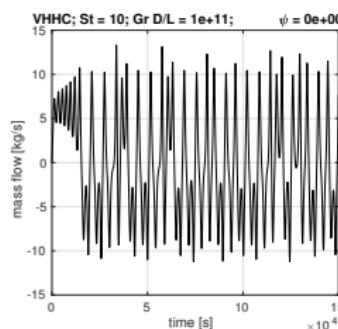
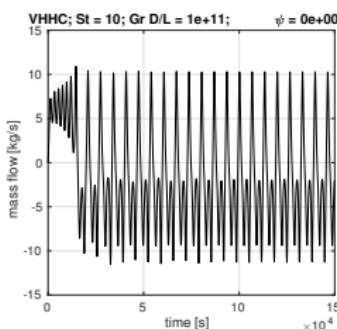
$$\mathcal{D}_H = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln(1/\epsilon)} \quad (15)$$

Dimensão de correlação

$$N(r) \propto r^{\mathcal{D}_C} \quad (16)$$

$$\mathcal{D}_C \leq \mathcal{D}_H \quad (17)$$

Transientes não-periódicos

VHHC, $St = 10$ vs $St = 10, 1$, dimensão dos atratores

St	regime oscilatório	dimensão D_C	coef. determinação
10	periódico	0,9839	0,9811
10,1	aperiódico	1,6911	0,9509

Transientes não-periódicos

Dimensão dos atratores, $St = 10$ e $St = 2$, $Gr D/L = 10^{11}$ $St = 10, Gr D/L = 10^{11}$:

orientação	ψ	dimensão \mathcal{D}_C	coef. determinação	aparência
HHHC	0	1,3131	0,8694	caótico
HHVC	0	1,3008	0,8737	caótico
VHHC	0	0,9839	0,9811	periódico
VHVC	0	1,3930	0,8656	caótico

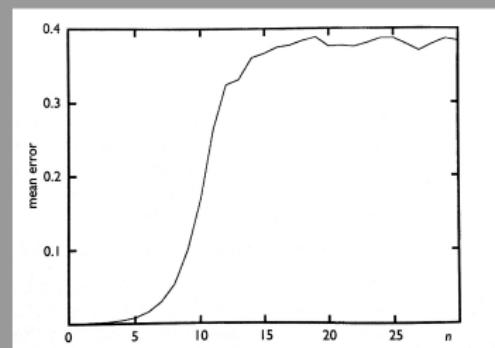
 $St = 2, Gr D/L = 10^{11}$:

orientação	ψ	dimensão \mathcal{D}_C	coef. determinação	aparência
HHHC	0	1,0581	0,9615	caótico
HHVC	0	1,0671	0,9645	caótico
VHHC	0	1,0541	0,9479	caótico-periódico
VHVC	0	1,1116	0,9659	caótico
HHHC	1	0,9703	0,9539	periódico
HHVC	1	1,1322	0,9814	caótico
VHHC	1	1,1312	0,9802	caótico
VHVC	1	1,1238	0,9797	caótico

Transientes não-periódicos

Expoentes de Lyapunov

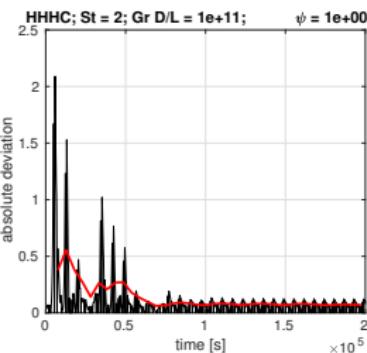
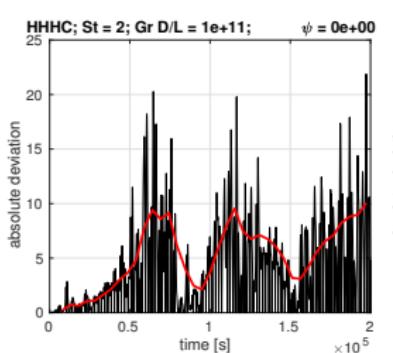
- expoente avaliado apenas para uma fase
- problemas: conjunto de pontos desordenados



Transientes não-periódicos

Expoentes de Lyapunov

$\psi = 0$	$\mathcal{L} = 6,0363 \times 10^{-5}$	$R^2 = 0,9480$	aparência caótica
$\psi = 1$	$\mathcal{L} = -1,8524 \times 10^{-5}$	$R^2 = 0,5318$	aparência periódica



Sumário

Modelo matemático:

- balanço de energia na piscina
- adaptação das leis de escala para incluir piscina
- desenvolvimento da forma perturbada das equações

Regime permanente:

- foi feito um estudo das correlações de atrito
- relação linear $Re \propto Gr D/L$
- comparação com experimento

Sumário

Análise linear de estabilidade:

- mapas de estabilidade
- efeito da piscina nas regiões de estabilidade
- área de operação estável cresce significativa de $\psi = 0$ para $\psi = 1$
- efeito da quantidade de água: não-monotônico

Análise não-linear de estabilidade:

- regimes operacionais distintos selecionados dos mapas
- forte diferença de amortecimento de $\psi = 0$ para $\psi = 1$
- regimes periódicos e caóticos foram caracterizados
- não foram identificados limites de transição de regime periódico para caótico

Conclusões

- resultados indicam relevância na incorporação do efeito da piscina em análises de estabilidade de sistemas passivos de resfriamento
- interpretação dos resultados deve levar em conta as aproximações na piscina (sem movimento, difusão instantânea de temperatura)

Continuação:

- simulação do escoamento na piscina integrado ao circuito (em andamento)
- piscina integrada ao *cooler*
- estudo experimental (em andamento)

Introdução
oooooooooo

Modelo matemático
○
○○

Estado Permanente

Estabilidade linear
○
○○○○
○○○○

Estabilidade não-linear
○○
○○○
○○
○○○
○○○○○○○

Conclusão

Agradecimentos:



Introdução
oooooooooo

Modelo matemático
○
○○

Estado Permanente

Estabilidade linear
○
○○○
○○○○

Estabilidade não-linear
○○
○○○
○○
○○○
○○○○○○○

Conclusão

OBRIGADO PELA ATENÇÃO!!



Leon Lima
PPG Engenharia Mecânica

UERJ