Modelagem Matem´atica de uma Caldeira a Vapor e Sistema de Esteira de Cavaco

# Introdu¸c˜ao

A modelagem de uma caldeira a vapor e do sistema de esteira de cavaco ´e essencial para a compreens˜ao do comportamento dinˆamico de sistemas t´ermicos e para o projeto de estrat´egias de controle eficientes. Este relat´orio apresenta um modelo matem´atico baseado em balanc¸os de massa e energia para descrever a dinˆamica da caldeira a vapor, incluindo a vaz˜ao de entrada de ´agua, vaz˜ao de sa´ıda de vapor, n´ıvel de l´ıquido, press˜ao interna da caldeira e a relac¸˜ao com a taxa de queima de combust´ıvel e a velocidade da esteira de cavaco.

# Defini¸c˜ao das Vari´aveis

O sistema pode ser descrito pelas seguintes vari´aveis principais:

*Qagua*: Vaz˜ao de ´agua de alimentac¸˜ao (kg/s)

*Qvapor*: Vaz˜ao de vapor (kg/s)

*H*: N´ıvel de l´ıquido na caldeira (m)

*P* : Press˜ao do vapor na caldeira (Pa)

*qcalor*: Quantidade de calor fornecida (W)

*T* : Temperatura da ´agua/vapor (*◦*C)

*mf* : Taxa de queima de combust´ıvel (kg/s)

*Vesteira*: Velocidade da esteira de cavaco (m/s)

*LCV* : Poder calor´ıfico inferior do combust´ıvel (MJ/kg)

*C*: Capacidade t´ermica do sistema (J/K)

*k*: Constante de proporcionalidade para a velocidade da esteira de cavaco

*hv*: Entalpia do vapor (kJ/kg)

*A*: A´rea da sec¸˜ao transversal da caldeira (m )

# Parˆametros F´ısicos da Caldeira

Para realizar a modelagem e simulac¸˜ao, utilizamos valores t´ıpicos de uma pe- quena caldeira:

Volume total da caldeira: 2 m

Capacidade t´ermica da caldeira (*Cp*): 4.2 kJ/kgK

Press˜ao de opera¸c˜ao: 10 bar

Temperatura do vapor: 180 C

Vaz˜ao de alimentac¸˜ao (*Qagua*): 0.5 kg/s

Vaz˜ao de vapor (*Qvapor*): 0.5 kg/s

Eficiˆencia da caldeira (*η*): 85

Poder calor´ıfico inferior do combust´ıvel (*LCV* ): 42 MJ/kg

Taxa de queima de combust´ıvel (*mf* ): 0.01 kg/s

Massa de ar na combust˜ao (*mar*): 0.15 kg/s

Coeficiente de vaz˜ao do vapor (*Kv*): 0.1

# Valores T´ıpicos para Simula¸c˜ao

## Parˆametros F´ısicos da Caldeira

**Capacidade de Produc¸˜ao de Vapor**: 500 kg/h a 2000 kg/h

**Press˜ao de Opera¸c˜ao**: 6 a 10 bar ( 600 a 1000 kPa)

**Temperatura do Vapor Saturado**: 165 C a 185 C

**Volume do Tanque da Caldeira**: 0.5 m a 2.0 m

**A´rea da se¸c˜ao transversal (A)**: 0.5 m a 1.5 m

## Vaz˜oes e Capacidade T´ermica

**Vaz˜ao de ´agua de alimenta¸c˜ao (***Qin***)**: 0.15 a 0.55 kg/s

**Vaz˜ao de vapor (***Qout***)**: 0.15 a 0.55 kg/s

**Capacidade t´ermica efetiva (***Cp***)**: 1000 kJ/(kg K)

**Entalpia do vapor (***hv***)**: 2700 kJ/kg

## Exemplo para Simula¸c˜ao

Para uma caldeira de \*\*1000 kg/h (1 ton/h) operando a 8 bar\*\*, pode-se uti- lizar:

**Q***in* : 0*.*28*kg/s*

**Q***out* : 0*.*28*kg/s*

**P: 800 kPa**

**Q***calor* : 810*kW*

**h***v* : 2770*kJ/kg*

**C***p* : 1000*kJ/*(*kgK*)

**A: 1.0 m**

# Modelagem Matem´atica

## Balan¸co de Massa (Dinˆamica do N´ıvel de L´ıquido)

A variac¸˜ao do n´ıvel de l´ıquido na caldeira ´e determinada pela diferenc¸a entre a vaz˜ao de entrada e a vaz˜ao de sa´ıda:

*dH* 1

*dt* = *A* (*Qagua − Qvapor*) (1)

No dom´ınio de Laplace, essa equac¸˜ao pode ser representada como:

1

*H*(*s*) = *As* (*Qagua*(*s*) *− Qvapor*(*s*)) (2)

## Balan¸co de Energia (Dinˆamica da Press˜ao e Produ¸c˜ao de Vapor)

A press˜ao do vapor na caldeira depende da energia fornecida ao sistema:

*dP* 1

=

*dt Cp*

No dom´ınio de Laplace:

(*qcalor − Qvapor · hv* ) (3)

1

*P* (*s*) = *C s* (*qcalor*(*s*) *− hvQvapor*(*s*)) (4)

*p*

## Rela¸c˜ao entre Calor e Temperatura da Fornalha

A rela¸c˜ao entre a produc¸˜ao de calor e a temperatura da fornalha ´e dada por:

*qcalor* = *η · mf · LCV* (5)

A temperatura da fornalha ´e aproximada por:

*qcalor*

*Tf* =

*mar · Cp*

(6)

## Vaz˜ao de Sa´ıda em Fun¸c˜ao da Press˜ao

A rela¸c˜ao entre a vaz˜ao de vapor e a press˜ao pode ser aproximada por:

*Qvapor*(*s*) = *KvP* (*s*) (7)

Substituindo essa express˜ao na equa¸c˜ao do n´ıvel:

1

*H*(*s*) = (*Qagua*(*s*) *− KvP* (*s*)) (8)

*As*

## Modelo Combinado

A equac¸˜ao combinada para o n´ıvel da caldeira, considerando a dinˆamica de press˜ao e calor fornecido, pode ser expressa como:

*H*(*s*) = 1 *Q*

*As*

*agua*

(*s*) *− Kv*

1

*·* (*q*

*Cps*

*calor*

(*s*) *− hvQ*

*vapor*

(*s*)) (9)

E a equac¸˜ao da press˜ao permanece:

1

*P* (*s*) = *C s* (*qcalor*(*s*) *− hvQvapor*(*s*)) (10)

*p*

## Fun¸c˜ao de Transferˆencia para a Esteira de Cavaco

A taxa de queima de combust´ıvel *mf* pode influenciar a velocidade da esteira de cavaco *Vesteira* devido ao calor gerado. A func¸˜ao de transferˆencia que relaciona *mf* e *Vesteira* ´e dada por:

*G*(*s*) = *Vesteira*(*s*) = *k · η · LCV*

Onde:

*mf* (*s*)

*C ·* (*s* + *α*)

*k* ´e a constante de proporcionalidade para a velocidade da esteira,

*η* ´e a eficiˆencia da caldeira,

*LCV* ´e o poder calor´ıfico inferior do combust´ıvel,

*C* ´e a capacidade t´ermica do sistema,

*α* ´e uma constante relacionada `a dinˆamica t´ermica do sistema.

## Valores Sugeridos para Simula¸c˜ao

Para simula¸c˜ao dessa func¸˜ao de transferˆencia, os seguintes valores podem ser utilizados:

*η* = 0*.*85 (85% de eficiˆencia),

*LCV* = 42 MJ/kg,

*C* = 1000 kJ/K,

*k* = 0*.*5 (constante de proporcionalidade para a velocidade da esteira),

*α* = 0*.*1.

Com esses valores, a fun¸c˜ao de transferˆencia para a esteira de cavaco pode ser utilizada para simular a resposta do sistema em relac¸˜ao `a variac¸˜ao na taxa de queima de combust´ıvel.

# Introdu¸c˜ao

A modelagem de uma caldeira a vapor e do sistema de esteira de cavaco ´e essencial para a compreens˜ao do comportamento dinˆamico de sistemas t´ermicos e para o projeto de estrat´egias de controle eficientes. Este relat´orio apresenta um modelo matem´atico baseado em balanc¸os de massa e energia para descrever a dinˆamica da caldeira a vapor, incluindo a vaz˜ao de entrada de ´agua, vaz˜ao de sa´ıda de vapor, n´ıvel de l´ıquido, press˜ao interna da caldeira e a relac¸˜ao com a taxa de queima de combust´ıvel, a velocidade da esteira de cavaco e a velocidade do ventilador de ar.

# Defini¸c˜ao das Vari´aveis

O sistema pode ser descrito pelas seguintes vari´aveis principais:

*Qagua*: Vaz˜ao de ´agua de alimentac¸˜ao (kg/s)

*Qvapor*: Vaz˜ao de vapor (kg/s)

*H*: N´ıvel de l´ıquido na caldeira (m)

*P* : Press˜ao do vapor na caldeira (Pa)

*qcalor*: Quantidade de calor fornecida (W)

*T* : Temperatura da ´agua/vapor (*◦*C)

*mf* : Taxa de queima de combust´ıvel (kg/s)

*Vesteira*: Velocidade da esteira de cavaco (m/s)

*Vvent*: Velocidade do ventilador de ar (m/s)

*LCV* : Poder calor´ıfico inferior do combust´ıvel (MJ/kg)

*C*: Capacidade t´ermica do sistema (J/K)

*k*: Constante de proporcionalidade para a velocidade da esteira de cavaco

*hv*: Entalpia do vapor (kJ/kg)

*A*: A´rea da sec¸˜ao transversal da caldeira (m2)

*λ*: Rela¸c˜ao ar/combust´ıvel (kg ar / kg combust´ıvel)

# Fun¸c˜oes de Transferˆencia

A taxa de queima de combust´ıvel (*mf* ) pode ser influenciada tanto pela veloci- dade da esteira de cavaco (*Vesteira*) quanto pela velocidade do ventilador de ar (*Vvent*), afetando a quantidade de calor gerada na combust˜ao.

A rela¸c˜ao entre a velocidade da esteira e a taxa de queima ´e dada por:

*mf* (*s*) *k*1

*G* (*s*) = =

(11)

*esteira*

*Vesteira*(*s*)

*s* + *α*1

A rela¸c˜ao entre a velocidade do ventilador e a combust˜ao ´e:

*Gvent*

*λ*(*s*)

(*s*) =

*Vvent*(*s*)

= *k*2

*s* + *α*2

(12)

A produ¸c˜ao de calor pode ser descrita como:

*qcalor*(*s*) = *η · mf* (*s*) *· LCV* (13)

Substituindo *mf* (*s*):

*qcalor*

(*s*) = *η · k*1 *V*

*s* + *α*1

*esteira*

(*s*) *· LCV* (14)

E a rela¸c˜ao entre o ventilador e a combust˜ao pode ser usada para estimar a mistura ideal de ar/combust´ıvel.

# Valores Sugeridos para Simula¸c˜ao

Para simulac¸˜ao dessas fun¸c˜oes de transferˆencia, podem ser utilizados os seguintes valores:

*η* = 0*.*85 (85% de eficiˆencia)

*LCV* = 42 MJ/kg

*C* = 1000 kJ/K

*k*1 = 0*.*5, *α*1 = 0*.*1

*k*2 = 0*.*3, *α*2 = 0*.*05

Rela¸c˜ao ar/combust´ıvel *λ* = 15

# Conclus˜ao

A modelagem matem´atica de uma caldeira e do sistema de esteira de cavaco permite entender sua dinˆamica e projetar sistemas de controle eficientes. Com os valores apresentados, ´e poss´ıvel simular diferentes cen´arios e otimizar a operac¸˜ao, tanto para a caldeira quanto para o controle da velocidade da es- teira de cavaco.