

## Modelagem de um forno com sensores distribuídos no espaço

**Orientador: Prof. Dr. Valter Junior de Souza Leite**

**Coorientador: Prof. Dr. Emerson de Sousa Costa**

### Resumo

Esta é uma proposta para modelar uma planta existente no laboratório de Sinais e Sistemas do *campus V* — Divinópolis. Essa planta consiste de um forno aquecido por resistências elétricas, onde o ar circula por um caminho de acrílico. Ao longo do percurso há 9 sensores de temperatura em diferentes pontos, além de um *cooler* na entrada, para forçar a circulação do ar e um *dampers* para restringir sua passagem. Sistemas térmicos são comuns na indústria, e a dinâmica da distribuição de calor nessa planta se assemelha, por exemplo, à dinâmica de um altoforno. Essa planta tem sido utilizada para trabalhos de iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso, mestrado e doutorado. Sua modelagem tem o diferencial de ser uma modelagem tanto no tempo quanto no espaço (sistema a parâmetros distribuídos), o que torna difícil a obtenção de um modelo único que descreva o sistema. Propõe-se então que o bolsista faça o levantamento de vários modelos desse sistema, para vários pontos físicos pré-determinados (onde há sensores) e aberturas do *dampers*. Isso resultará em vários modelos diferentes, que variam apenas no tempo e são fixos no espaço e na abertura do *dampers*. Assim, o problema da obtenção de um modelo a parâmetros distribuídos se reduz a modelagem de vários sistemas a parâmetros concentrados. Essa abordagem permite ao aluno aprender a modelar e validar sistemas lineares, o que é de grande valia na indústria, além de vocacionar o bolsista para a graduação, antecipando conhecimentos e práticas.

**i. Palavras-chave:** (Modelagem de sistemas, sistemas lineares, forno)

**ii. Câmara Temática** (Marcar apenas uma opção):

- Engenharia Civil, Engenharia Ambiental, Engenharia de Materiais, Engenharia de Minas, Engenharia Mecânica e Engenharia Metalúrgica;
- Engenharia Elétrica, Engenharia da Computação, Ciência da Computação, Engenharia de Produção e Engenharia de Transportes;
- Matemática, Estatística, Física, Química e Biologia;
- Ciências Humanas, Ciências Sociais, Ciências Sociais Aplicadas, Educação, Linguística, Letras e Artes.

**iii. Modalidade de orientando(s):**

- Bolsista;
- Voluntário.

**iv. Este projeto está sendo enviado em substituição a uma proposta já submetida?**

- Sim. Nº de projeto a ser substituído: \_\_\_\_\_;
- Não.

Divinópolis, 19 de outubro de 2018.

# 1 Apresentação do Problema

A distribuição de temperatura em um processo do tipo forno não é constante em todo o espaço aquecido. A dinâmica da distribuição de calor faz com que o ar se aqueça mais em determinadas regiões, normalmente próximas à fonte de calor. Além disso, a temperatura varia no tempo. Assim, a temperatura em um determinado ponto do forno é dependente da localização desse ponto e do tempo.

No forno presente no Laboratório de Sinais e Sistemas do *campus V* a temperatura varia ao longo de um túnel de acrílico. A presença de resistências e de um *cooler* cria uma corrente de ar quente, de forma que haja uma variação de temperatura ao longo do túnel. Devido às dinâmicas normais de um forno, a temperatura também varia na seção transversal do túnel. Essa última variação é pequena e pode ser desprezada, mas a variação ao longo do túnel é muito significativa.

Vários métodos de modelagem podem ser utilizados para descrever um sistema desse tipo, como, por exemplo, a modelagem por sistemas a parâmetros distribuídos, por equações diferenciais parciais, por sistemas *LPV* (linear com parâmetros variantes) e até mesmo composições dessas. No entanto essas modelagens são complexas tanto em teoria quanto na sua execução. Propõe-se assim uma alternativa mais simples: a modelagem a parâmetros concentrados, muito comum na indústria, gerando vários modelos que são específicos para um determinado ponto pré-determinado (no caso, onde há sensores) e aberturas do *dampner*.

A formação do aluno no curso Técnico em Mecatrônica é bastante limitada no que diz respeito ao estudo de métodos para a obtenção de um modelo representativo da dinâmica de um processo. Esta proposta pretende ofertar ao aluno bolsista uma oportunidade para aprofundar seus estudos em métodos de identificação.

Para isso, será necessário que o aluno adquira noções de equações diferenciais, o que é feito via o conceito de variação. O bolsista deverá fazer simulações temporais com modelos teóricos (retirados de livros texto clássicos) para desenvolver uma percepção sobre grandezas fundamentais como ganho, constante de tempo, tempo de acomodação, sobressinal, etc. Em seguida o aluno estudará métodos clássicos para obtenção de modelos de ordem reduzida a partir da curva de reação do sistema a uma entrada em degrau.

Para a realização deste projeto o bolsista realizará estudos sobre modelagem, linearização, aquisição e tratamento de dados e programação (MATLAB e Python), o que o permitirá integrar várias áreas de conhecimento do curso de mecatrônica e adquirir competências que são úteis tanto no meio industrial quanto acadêmico.

Este projeto também se relaciona com um projeto de iniciação científica (PIBIC — FAPEMIG) 2017 e 2018, intitulados Plataformas de baixo custo para controle de processos (2017) e Plataformas para Controle de Processos: implementação de controle MPC (2018), ambos desenvolvidos por um graduando em Engenharia Mecatrônica. No primeiro projeto foi desenvolvida uma plataforma didática de controle e no segundo esta plataforma será utilizada para a síntese e teste de um controlador preditivo. Assim sendo, o bolsista trabalhará juntamente com o graduando para fazer o levantamento de características e validação dos modelos utilizando a plataforma.

## 2 Objetivos da Pesquisa

Esta proposta objetiva a formação do bolsista de nível médio em técnicas de modelagem e identificação de sistemas. Pretende-se assim preparar o bolsista para atuar em projetos de pesquisa no âmbito da graduação ou na indústria. Espera-se que isso motive o bolsista a continuar seus estudos na graduação.

### 3 Metodologia de Trabalho

A metodologia proposta para este trabalho consiste em realizar um levantamento bibliográfico, estudos individualizados, seminários periódicos, desenvolvimento e aplicação. Serão realizadas reuniões semanais com os orientadores. O bolsista terá de produzir um texto técnico sobre o assunto, visando, se possível, a publicação de um artigo. Cada um desses procedimentos é melhor detalhado na sequência.

#### *Estudo individual, acompanhamento e seminários*

A parte teórica do trabalho será acompanhada por seminários técnicos sobre os estudos que o bolsista realizar. Espera-se que o bolsista apresente seminários com intervalos típicos de 2 meses. Entre os seminários, é prevista a ocorrência de reuniões semanais de acompanhamento entre bolsista e orientadores.

#### *Desenvolvimento*

Vários pontos espaciais do forno serão modelados, sob diferentes aberturas do *dampers*. Entende-se por modelagem a obtenção da função de transferência que modela o sistema. A abordagem proposta baseia-se em técnicas clássicas bastante utilizadas no meio industrial, representando assim uma boa possibilidade para o bolsista aperfeiçoar e praticar suas competências na modelagem de sistemas.

As técnicas que serão utilizadas são baseadas na curva de reação do sistema a uma entrada em degrau e, por isso, são aplicadas em sistemas estáveis. Essa característica é adequada a grande maioria dos processos industriais. A obtenção de modelos é fundamental tanto para o entendimento do processo quanto para o procedimento de sintonização de controladores que controlam o processo. Nesta proposta, o foco dos trabalhos está na obtenção de modelos de ordem reduzida, portanto simplificados, visando a utilização desses em procedimentos de sintonia de controladores. Essa segunda parte, no entanto, relativa à sintonia de controladores não é objeto desta proposta.

#### *Produção técnica*

O bolsista deverá produzir um material escrito à parte do relatório de projeto, que aqui denominamos relatório técnico. A depender do desenvolvimento realizado, esse relatório poderá ser convertido em um artigo para congresso nacional. O bolsista também escreverá o relatório final sobre o desenvolvimento da iniciação proposta.

Nessa abordagem deverão ser utilizadas ferramentas já conhecidas da álgebra linear. Com essa metodologia o bolsista trabalhará no Laboratório de Sinais e Sistemas do *campus* Divinópolis e terá contato significativo com alunos da graduação e pós-graduação atualmente orientados no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (CEFET-MG/UFSJ). Os trabalhos desses alunos versam sobre o controle robusto de sistemas o que permite uma interação significativa com os graduandos e pós-graduandos que trabalham nesse mesmo laboratório.

#### *Aplicação*

Desenvolvimento de um banco de modelos que permita aos graduandos e pós-graduandos realizar mais e melhores testes em seus controladores no Laboratório de Sinais e Sistemas do *campus* Divinópolis. Nessa atividade o bolsista terá de integrar conhecimentos de seu curso de origem (Técnico em Mecatrônica) tais como análise de sistemas lineares, fenômenos de transporte, programação e matemática para obter os modelos e validá-los.

## 4 Resultados e Impactos Esperados

Espera-se que ao final do processo o bolsista compreenda os principais conceitos ligados à modelagem de sistemas lineares e levantamento de parâmetros. Espera-se obter também um conjunto de modelos que auxiliem os graduandos e pós-graduandos a realizar mais e melhores testes em seus controladores.

Espera-se produzir ao final desse processo um relatório técnico. A depender do desenvolvimento do trabalho, esse relatório poderá ser convertido em um artigo de congresso nacional.

Espera-se que o bolsista encontre motivação e um volume equilibrado entre teoria e aplicações que o permita formar novas competências que atualmente não são trabalhadas no curso técnico de eletromecânica. Os modelos construídos pelo bolsista servirão de subsídio a trabalhos de conclusão de curso e de trabalhos de alunos de mestrado que atuam no mesmo laboratório com os mesmos protótipos. Acredita-se que a iteração daí advinda favorece em muito o amadurecimento do bolsista, motivando e vocacionando-o à área de estudos em questão.

## 5 Recursos Necessários

São necessários um computador, impressora, acesso à internet, software *LATEX*, Python, Lachesis e moirai. Será necessário o acesso a uma das plantas do Laboratório de Sinais e Sistemas do campus Divinópolis. Todos os softwares utilizados são gratuitos e todos os outros recursos necessários estão disponíveis no Laboratório de Sinais e Sistemas para a realização deste projeto.

## Referências Bibliográficas

- [1] K. Ogata, *Modern control engineering*, 3. Pearson, 1972, vol. 17, pp. 419–419, ISBN: 0136156738. DOI: 10.1109/TAC.1972.1100013. arXiv: 0605511 [cond-mat]. endereço: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1100013/>.
- [2] R. C. Dorf e R. H. Bishop, *Modern Control Systems*. Pearson, 2010, p. 1104, ISBN: 9780136024583. endereço: <https://goo.gl/kKU1vj>.
- [3] Y. Nishikawa, N. Sannomiya, T. Ohta e H. Tanaka, “A method for auto-tuning of PID control parameters”, *Automatica*, v. 20, n. 3, pp. 321–332, 1984, ISSN: 00051098. DOI: 10.1016/0005-1098(84)90047-5.
- [4] N. F. Barroso, “Estratégia de monitoramento de sistemas distribuídos baseada em observadores do tipo Kalman”, Master Thesis, CEFET-MG, 2017. endereço: <https://goo.gl/oDYCdB>.
- [5] Á. C. Sousa, *Lachesis*, 2017. endereço: <https://github.com/acristoffers/lachesis> (acesso em 23/05/2018).
- [6] —, *Moirai*, 2017. endereço: <https://github.com/acristoffers/moirai> (acesso em 23/05/2018).

# Plano de Trabalho do Bolsista 1

**Modalidade do Orientando:** Bolsista

## 1. Objetivos das Atividades:

Esta proposta objetiva a formação do bolsista na modelagem e identificação de sistemas lineares.

## 2. Descrição das Atividades:

São propostas as seguintes atividades principais que serão desempenhadas pelo bolsista:

1. *Desenvolvimento:* Estudos sobre modelagem e sistemas lineares.
2. *Implementação:* Identificação do sistema de forno usando modelos SPC para várias aberturas do *damper* e vários pontos ao longo do túnel de vento. Será utilizado o método das respostas complementares para a obtenção do modelo.
3. *Aplicação* Validação dos modelos.
4. *Relatório técnico:* Escrita de relatório e apresentação dos resultados em seminário.
5. *Relatório final:* Elaboração do relatório final de prestação de contas desta proposta.

O aluno deverá estudar os conceitos básicos referentes ao projeto. Assim, ele terá a base necessária para o desenvolvimento do projeto. A seguir está apresentado o cronograma de atividades a serem executadas pelo bolsista.

## 3. Local de Desenvolvimento das Atividades:

Laboratório de Sinais e Sistemas do *campus V* — Divinópolis.

## 4. Cronograma de Atividades:

Atividade (↓) Mês.(→)	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º
1	√	√	√	√								
2				√	√	√	√	√				
3						√	√	√	√	√		
4								√	√	√	√	
5												√

## 5. Metodologia de Acompanhamento:

O bolsista será acompanhado semanalmente, por meio de reunião com os orientadores e fará seminários periódicos, espaçados entre 15 e 20 dias, para apresentação dos estudos. O conteúdo dos seminários será o assunto estudado pelo bolsista no período.

## Plano de Trabalho do Bolsista 2

**Modalidade do Orientando:** Bolsista

### 1. Objetivos das Atividades:

Esta proposta objetiva a formação do bolsista na modelagem e identificação de sistemas lineares.

### 2. Descrição das Atividades:

São propostas as seguintes atividades principais que serão desempenhadas pelo bolsista:

1. *Desenvolvimento:* Estudos sobre modelagem e sistemas lineares.
2. *Implementação:* Identificação do sistema de forno usando modelos SPC para várias aberturas do *dampers* e vários pontos ao longo do túnel de vento. Será utilizado o método de Nishikawa para a obtenção do modelo.
3. *Aplicação* Validação dos modelos.
4. *Relatório técnico:* Escrita de relatório e apresentação dos resultados em seminário.
5. *Relatório final:* Elaboração do relatório final de prestação de contas desta proposta.

O aluno deverá estudar os conceitos básicos referentes ao projeto. Assim, ele terá a base necessária para o desenvolvimento do projeto. A seguir está apresentado o cronograma de atividades a serem executadas pelo bolsista.

### 3. Local de Desenvolvimento das Atividades:

Laboratório de Sinais e Sistemas do *campus V* — Divinópolis.

### 4. Cronograma de Atividades:

Atividade (↓) Mês.(→)	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º
1	√	√	√	√								
2				√	√	√	√	√				
3						√	√	√	√	√		
4								√	√	√	√	
5												√

### 5. Metodologia de Acompanhamento:

O bolsista será acompanhado semanalmente, por meio de reunião com os orientadores e fará seminários periódicos, espaçados entre 15 e 20 dias, para apresentação dos estudos. O conteúdo dos seminários será o assunto estudado pelo bolsista no período.