

Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Engenharia  
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação



## **Controle e Classificação Automática da Dinâmica de Atomização por Electrospray (EHDA)**

João Pedro Miranda Marques

Orientador: Vitor Angelo  
Supervisor: Luewton L. Agostinho

Belo Horizonte, Julho de 2014



## **Monografia**

### **Controle e Classificação Automática da Dinâmica de Atomização por Electrospray (EHDA)**

Monografia submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado Didático do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para aprovação na atividade Projeto Final de Curso II.

Belo Horizonte, Julho de 2014

# Resumo

A Atomização Eletro-hidrodinâmica (EHDA), também chamada de electrospray, é uma técnica de atomização de líquidos que produz gotículas de dimensão micro e nanométricas, utilizando campos elétricos elevados (kV/cm). De acordo com Cloupeau e Prunet-Foch[1] (1994), os electrosprays podem gerar gotículas em diferentes dinâmicas, que os autores denominaram "modos de electrospray". Esses modos podem ser ajustados variando a força do campo elétrico e a vazão de líquido, mas também dependem da geometria e das propriedades físico químicas sistema. Em seu trabalho, os autores propuseram quatro possíveis modos EHDA: gotejamento, intermitente, jato cone e jato multi, que são geralmente distinguíveis visualmente. Verdoold et al.[2] (2014) sugeriram recentemente uma abordagem de classificação com base no comportamento da corrente elétrica do processo de electrospray.

Este projeto desenvolve um método de controle em malha fechada para dispositivos EHDA que utiliza classificação de modo de spray em tempo real com base em corrente elétrica (portanto, não visual). O projeto de sistema de electrospray é totalmente automático, onde todos os periféricos, como fonte de alimentação HV e bomba de seringa, são controlados por um computador que executa suas rotinas. O sistema classifica a dinâmica do modo de spray usando dados de corrente em tempo real e altera os parâmetros operacionais do EHDA, como vazão do líquido e tensão aplicada, para alcançar e manter o modo de spray escolhido. Os modos de electrospray são validados em tempo real usando uma câmera de alta velocidade. Em comparação com as abordagens manuais convencionais, o algoritmo de controle implementado alcança maior precisão e menor tempo de transição. Portanto, um sistema EHDA completamente autônomo abre portas para potenciais aplicações industriais. Além disso, o uso do sinal de corrente elétrica será útil para estudar mais a fundo os processos de electrospray, levando a um melhor controle na geração de gotículas (frequência, tamanho e carga). A incorporação de Aprendizado de Máquina para melhorar a categorização de modos será um desenvolvimento futuro.



# Abstract

Electrohydrodynamic Atomization (EHDA), also called electrospray, is a liquid atomization technique that produces micro- and nanometric charged droplets within a narrow size distribution by using high electric fields (kV/cm). According to Cloupeau and Prunet-Foch[1] (1994), electrosprays can generate droplets in different ways, which the authors named "electrospray modes". These modes may be adjusted by varying the strength of the electric field and flow rate, but also depend on liquid properties and system geometry. In their work, the authors proposed four possible EHDA modes: dripping, intermittent, cone-jet and multi-jet, which are generally distinguished visually. Verdoold et al.[2] (2014) recently suggested a classification approach based on the behavior of the electric current of the electrospray process.

This project develops a closed-loop control method for EHDA devices that uses real-time, electric current-based (hence non-visual) spray mode classification. The proposed electrospray system is entirely automatic, where all the peripherals, such as HV power supply and syringe pump, are controlled by a computer which executes their routines. The system classifies spray mode dynamics using real-time current data and changes EHDA operating parameters such as liquid flowrate and applied voltage to achieve and maintain the chosen spray mode. The electrospray modes are validated in real time by using a high-speed camera. As compared to conventional manual approaches, the implemented control algorithm achieves higher accuracy and lower transient time. Therefore, a completely autonomous EHDA system opens the door to potential industrial applications. In addition, the use of the electric current signal will be useful to further study electrospray processes, leading to better control on droplet generation (frequency, size and charge). The incorporation of Machine Learning to improve mode categorization will be a future development.



# Agradecimentos

Um Agradecimento a minha mãe que sempre me apoiou e me fez acreditar no meu potencial. Me ensinando dedicacao, paciencia e disciplina. Ao meu pai me que ensinou a não estar satisfeito e buscar sempre mais, isso que eu chamo de ambição e energia para sempre buscar sair da zona de conforto. Aos meus queridos amigos da República Casassanta por terem tornado a vida universitária esse momento tão único e inesquecível.





# Sumário

<b>Resumo</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimentos</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação e Justificativa . . . . .	1
1.2 Objetivos do Projeto . . . . .	2
1.3 Local de Realização . . . . .	2
1.4 Estrutura da Monografia . . . . .	2
<b>2 Descrição do Processo</b>	<b>3</b>
2.1 Processo de Fazer Alguma Coisa . . . . .	3
2.2 Instrumentação do Processo . . . . .	3
2.3 Situação Atual/Estado da Arte/Revisão da Literatura . . . . .	4
2.3.1 Como Elaborar uma Revisão da Literatura . . . . .	4
2.4 Resumo do Capítulo . . . . .	5
<b>3 Metodologia</b>	<b>7</b>
3.1 Técnica 1 - Organização do texto . . . . .	7
3.2 Técnica 2 - Estilo . . . . .	8
3.2.1 Precisão . . . . .	8
3.2.2 Clareza . . . . .	8
3.2.3 Ojetividade . . . . .	9
3.2.4 Concisão . . . . .	9
3.3 Vícios comuns . . . . .	10

3.4	Boas práticas . . . . .	10
3.5	Uso de referências . . . . .	11
3.6	Honestidade e Plágio . . . . .	11
3.7	Cuidado com a gramática . . . . .	11
3.8	Resumo do Capítulo . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>13</b>
4.1	Atividades do Projeto . . . . .	13
4.2	Requisitos do Sistema . . . . .	13
4.3	Desenvolvimeto e Implementação . . . . .	13
4.4	Testes . . . . .	13
4.5	Análise dos Resultados . . . . .	13
4.6	Resumo do Capítulo . . . . .	14
4.7	Formato, expressões matemáticas e o $\text{\LaTeX}$ . . . . .	14
4.7.1	O $\text{\LaTeX}$ . . . . .	14
4.7.2	Expressões Matemáticas . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	<b>19</b>
5.1	Considerações Finais . . . . .	19
5.2	Propostas de Continuidade . . . . .	19
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>20</b>
<b>A</b>	<b>O que ficou para depois</b>	<b>23</b>
<b>B</b>	<b>O que mais faltou</b>	<b>25</b>

# Lista de Figuras

2.1 Aqui escrevemos **toda** informação pertinente à figura. Ou seja, este texto deve ser uma descrição auto-contida da figura, não sendo necessário recorrer ao corpo de texto para saber detalhes sobre a mesma. *Fonte:* Citar fonte se figura não for elaborada pelo autor e **pedir permissão para usar!** . . . . . 4



# Lista de Tabelas

4.1	Exemplo de tabela - Coloque toda informação sobre a tabela aqui . . .	13
-----	---	----

# Capítulo 1

## Introdução

A atomização eletrohidrodinâmica (EHDA), também conhecida como eletrospray (ES), é uma maneira de desintegrar um líquido em gotículas, expondo-o a um forte campo elétrico.

### 1.1 Motivação e Justificativa

As pesquisas de EHDA têm contribuído como uma importante ferramenta para o desenvolvimento da tecnologia da água (dessalinização térmica e recuperação de metais), ciências dos materiais (nanofibras e fabricação de nanoesferas, recuperação de metal, membranas seletivas e baterias) e aplicação biomédica (encapsulamento). Além disso, o projeto está integrado à estratégia de Transição Energética e à Agenda de Inovação Agricultura, água e alimentos, tecnologias facilitadoras essenciais (KETs). Embora existam aplicações de EHDA em indústria, a estabilização do modo de pulverização de jato cônico é feita empiricamente e com base em medições de corrente média. A corrente elétrica que flui transportada pelo spray revela formas características para diferentes modos de atomização. Essas formas não podem ser simplesmente resumidas por seu valor médio. Na figura um podemos ver um exemplo de cone-jet modo eletrospray.

Figura 1: exemplo de EHDA

As técnicas de processamento de sinal podem permitir uma classificação não visual do modo de pulverização com base no elétrico forma atual. O processo de pulverização impõe ruídos e sequências aleatórias no sinal medido tornando-o classificação não é uma tarefa trivial. Aplicações industriais exigem estabilização automatizada de um modo de pulverização. Isso pode ser obtido por um sistema fechado sistema de controle de circuito. A classificação automatizada do modo de pulverização é uma parte crucial de um sistema de controle, assim como o desenvolvimento de um algoritmo de controle

apropriado.

## 1.2 Objetivos do Projeto

Tendo em vista o exposto acima, este projeto tem por objetivos:

- a) Item 1;
- b) Item 2;
- c) Etc.

O conteúdo desta seção pode se sobrepor um pouco com o da seção anterior, podendo ela ser um sumário dos pontos expostos anteriormente. A escolha do título da seção talvez seja mais apropriada para a fase de proposta do projeto. Afinal, nesta fase se conhecem os objetivos e não os resultados. Por outro lado, fará pouco sentido discutir objetivos quando o projeto está finalizado, especialmente se tais objetivos não foram alcançados.

## 1.3 Local de Realização

Implementações de processamento de sinal de projetos anteriores do grupo NHL Stenden Water Technology estão mostrando bons resultados de classificação. Mais pesquisas são necessário para melhorar a precisão da classificação e pesquisa e implementação de uma classificação adequada algoritmo. Por causa disso, o trabalho será feito pelo Water Technology Group da NHL Stenden University de Ciências Aplicadas e em combinação com empresas holandesas para combinar possibilidades de análise com conhecimento e disponibilidade de infraestrutura.

## 1.4 Estrutura da Monografia

O trabalho está dividido em quatro capítulos. Este capítulo apresentou uma introdução ao projeto a ser descrito nesta monografia e a empresa onde o trabalho foi realizado. O Capítulo 2 descreve os princípios básicos de um sistema ... (sistema onde se insere o trabalho) e abrange todos os conceitos necessários para um melhor entendimento do projeto. O Capítulo 3 aborda a metodologia de desenvolvimento, seguida pela implementação dos .... No Capítulo 4 tem-se a conclusão da monografia e algumas sugestões e dificuldades encontradas na realização do projeto.



## Capítulo 2

# Descrição do Problema/Processo ou O Processo de Fazer Alguma Coisa

Se desejar, uma visão geral do capítulo pode ser colocada antes da primeira seção. Este é o capítulo de descrição do processo e formulação do problema. Tendo em vista que se trata de uma monografia de engenharia de controle e automação, em muitos casos será fundamental a apresentação dos sensores e atuadores do processo.

### 2.1 Processo de Fazer Alguma Coisa

Cada seção inicia pela descrição do seu conteúdo e pode terminar com um parágrafo de conexão com a seção seguinte.

Antes de formular o problema, **não se esqueça de fazer todas as definições necessárias**. Também devem-se detalhar os aspectos complementares da abordagem: se estamos estudando um aspecto particular do problema, se a resposta encontrada é universal ou dependente de simplificações e hipóteses prévias.

### 2.2 Instrumentação do Processo

Descreva a aparelhagem e o equipamento utilizados bem como a ligação entre os diversos componentes. Nesta seção e, ao longo de todo o texto, você deve dar detalhes suficientes para que qualquer pessoa consiga reproduzir seus experimentos.

Contudo, **não disperse o leitor com detalhes irrelevantes** ou aspectos demasiado técnicos ou formais. Reserve tais detalhes para um apêndice.

Como uma imagem vale mais que mil palavras, e como usar mil palavras prejudicaria a clareza do texto, ilustramos o processo com a Figura 2.1. Lembrar que toda figura

deve ser comentada no texto, você nunca deve colocar figuras que fiquem “soltas” no texto.

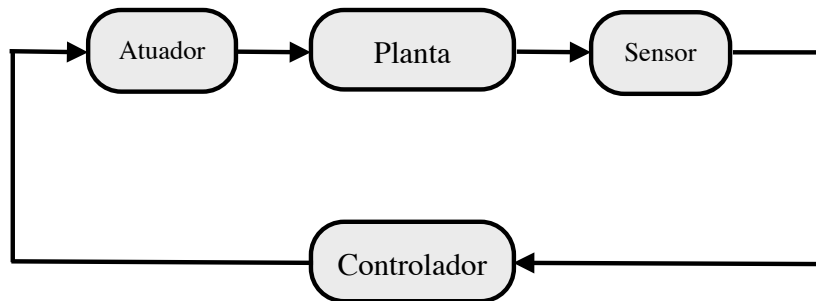


Figura 2.1: Aqui escrevemos **toda** informação pertinente à figura. Ou seja, este texto deve ser uma descrição auto-contida da figura, não sendo necessário recorrer ao corpo de texto para saber detalhes sobre a mesma. *Fonte:* Citar fonte se figura não for elaborada pelo autor e **pedir permissão para usar!**

## 2.3 Situação Atual/Estado da Arte/Revisão da Literatura

Este é o espaço para uma revisão detalhada do enquadramento do problema. Isso inclui descrever a situação atual do processo, aquilo que foi feito até então dentro da empresa/laboratório, e aquilo que se pode chamar de “Estado da Arte”, ou seja, uma apresentação do conhecimento preexistente sobre o tema do projeto.

A elaboração desta seção tipicamente demanda uma boa revisão da literatura. Deve haver, quando aplicável uma análise das soluções potencialmente concorrentes, elencando vantagens e desvantagens.

### 2.3.1 Como Elaborar uma Revisão da Literatura

Ao selecionar referências, devem-se preferir referências de veículos confiáveis, que tenham por exemplo processo de revisão por pares. Portanto, dá-se preferência a artigos em periódicos e livros, em seguida teses e dissertações, artigos em anais de congresso e por fim relatórios. Evitar citar páginas da internet por oferecem menor garantia da informação nelas contida.

Pesquise sua bibliografia em bases confiáveis como o Web of Science, Scopus, ou o Google Scholar. **Não use uma ferramenta de busca comum!** (elas não foram feitas pensando no *ranking* de textos científicos) Use o número de citações de uma

dada referência como um indicador de sua qualidade. Explore os artigos que citam a referência estudada bem como os artigos que ela cita.

Prefira as referências mais recentes quando se tratar de um assunto na fronteira do conhecimento ou de tecnologia de ponta. Quando se tratar de um assunto já consolidado, prefira citar livros ou artigos com muitas citações.

Evite citar informações de segunda-mão e procure na medida do possível rastrear a fonte original. Contudo, em situações em que a fonte original é de acesso mais difícil, seja por ter tido publicação limitada como no caso de relatórios ou por não ser em língua inglesa ou portuguesa, é preferível a citação de segunda-mão em um veículo mais acessível.

Para gerenciar suas referências, use uma ferramenta de software como o **Mendeley**, que permite gerar arquivos .bib para uso em  $\text{\LaTeX}$  ou simplesmente gerar a lista de referências para uso direto em editores de texto. Em  $\text{\LaTeX}$ , mais especificamente  $\text{\BibTeX}$ , a lista de referências é criada a partir de um arquivo .bib, que é uma espécie de banco de informações bibliográficas em que cada entrada é uma referência associada a uma chave para citação. A lista criada incluirá apenas as referências citadas ao longo do texto, mesmo que haja mais referências no arquivo .bib. As informações bibliográficas no formato  $\text{\BibTeX}$  também podem ser obtidas para cada referência em ferramentas como o **Google Scholar** e então coladas no arquivo .bib.

Na Seção 3.5 discutiremos como e quando as citações devem ser usadas.

## 2.4 Resumo do Capítulo

Tente não terminar de forma abrupta. Se for escrever algo aqui, não seja genérico!



# Capítulo 3

## Metodologia

Este capítulo deve descrever os métodos utilizados no projeto. As teorias e ferramentas utilizadas, assim como as ações executadas, devem ser escritas de forma clara e precisa, sem deixar espaço para ambiguidades. Tenha em mente que **o objetivo aqui é dar credibilidade ao seu trabalho e permitir que ele possa ser reproduzido por quem tenha interesse (algumas vezes por você mesmo!)**.

É natural que este capítulo contenha uma revisão bibliográfica mais detalhada das técnicas utilizadas. O ideal é que o capítulo seja auto-contido, de modo que o leitor não necessite recorrer às referências para entender seu trabalho ou reproduzi-lo.

Ao apresentar os métodos, será importante justificar devidamente as opções tomadas e discutir as alternativas disponíveis e os critérios que o levaram à escolha do método.

No restante do capítulo, apresentamos um pequeno manual de escrita técnica.

### 3.1 Técnica 1 - Organização do texto

Procure **definir a estrutura** de seu texto **antes de começar a escrever**. Isso evitará que as ideias apareçam fora de ordem. A falta de organização é uma das características mais comuns de textos difíceis de ler.

Nunca invoque conceitos ou objetos antes de defini-los. Procure fornecer o máximo de informação *a priori* possível. Evite referências para frente no texto.

Para evitar que o leitor se perca, antes de iniciar um trecho longo de texto que contenha ideias diversas, **adiante para o leitor o que será feito**, aonde se quer chegar. Ao fim do trecho, declare explicitamente que chegou à conclusão que desejava. Esta técnica vale especialmente para seções e capítulos do texto.

## 3.2 Técnica 2 - Estilo

O texto técnico deve ser preciso, claro, sem ambiguidades, objetivo e conciso. Mesmo com esse rigor, não deixe de prender a atenção do leitor. Lembre-se de que o início e o fim de cada parágrafo, de cada frase, são as partes mais importantes e onde você deve colocar maior ênfase.

### 3.2.1 Precisão

Use as palavras corretas! Não escreva redondo se é esférico. Não escreva igual se é aproximado. Não escreva sistema se é função de transferência. Não escreva grande, pequeno, máximo, mínimo, ótimo, se não há uma escala que defina tais conceitos.

Prefira usar números que deem uma noção de escala a usar adjetivos difíceis de precisar.

Seja específico e evite generalidades. Por exemplo, em vez de dizer “O processo 1 é um processo de alto custo”, devemos ser mais precisos com relação à natureza do custo e dizer “O processo 1 possui custo operacional elevado com relação a processos tradicionais tais como o processo 2”.

### 3.2.2 Clareza

Não deixe margem para dúvidas! Para reduzir a possibilidade de confusão na leitura do seu texto, **evite frases longas**. Nunca escreva frases com mais de 20 palavras. Procure escrever na média 12 palavras por frase. Evite palavras compridas ou que possam ser consideradas difíceis.

Não deixe ideias subentendidas! Não assuma que seu leitor pensa como você e vai saber do que você está falando. Explícite todos os passos de seu raciocínio lógico. Pular passos de raciocínio é uma das causas mais comuns de confusão na leitura. Não seja preguiçoso neste quesito.

Novamente, defina todos os conceitos antes de fazer uso deles.

Não deixe o sujeito verbal subentendido. Para evitar ambiguidades, tome cuidado ao usar pronomes como “esse, este, isso, ele”. É preferível repetir um nome a deixar margem para dúvidas. Por exemplo, após a primeira frase deste parágrafo poderíamos dizer de forma não tão clara: “Esta é uma causa de confusão na escrita.”; ou poderíamos dizer de forma mais clara: “Essa falta de informação é uma causa de confusão na escrita.”

Não há problemas em haver repetições em textos técnicos. O mais importante é a clareza, a inexistência de ambiguidades, não a beleza. Se acha que uma determinada

frase pode ser confusa ou se alguma ideia parece difícil de explicar, repita a mesma ideia em outras palavras ou, melhor ainda, dê um exemplo.

Por fim, domine o significado das palavras utilizadas para evitar ambiguidades. Se uma palavra pode ter mais de um significado em determinada frase, tente trocá-la por outra que não deixe dúvidas. Mais importante ainda, não use palavras sobre cuja definição você não tem certeza.

### 3.2.3 Ojetividade

O texto técnico deve ser direto ao ponto, sem rodeios, e livre de opiniões. Evite apartes, evite divagações e discussões irrelevantes com relação ao tema principal.

**Nunca use hipérboles.** Cuidado com termos como “otimizar, muito grande, enorme, muito bom”. Usar números sempre que possível para quantificar conceitos, sejam eles precisos ou apenas uma estimativa. Em especial deve-se tomar cuidado com as palavras “muito” e “muitos”.

O tom deve ser impessoal, apresentando apenas fatos e não opiniões. Em português, a voz passiva é um instrumento comum para se obter um tom impessoal. Contudo, sempre que possível, tente usar a voz ativa ou a voz passiva sintética para deixar o texto mais fluido e claro.

Palavras abstratas deixam a escrita vaga. Prefira palavras concretas, fortes, isto é, palavras que tenham um único significado. Sempre que possível substitua múltiplas palavras por uma única. Por exemplo, na frase “A máquina processou as amostras” temos duas palavras genéricas: máquina e processar. A mesma ideia seria mais objetiva se expressa como “A centrífuga girou as amostras”.

Controle seu tom. **Não use linguagem coloquial.** **Não use clichês.** Não use de arrogância: “obviamente, como é sabido, é claro que”.

### 3.2.4 Concisão

O texto técnico deve ser tão curto quanto possível, sem prejuízo de sua clareza e precisão. Não use palavras a mais, não inclua expressões irrelevantes ou supérfluas. Não escreva simplesmente para encher as páginas. Se um assunto não é relevante para a compreensão do seu trabalho, corte-o, mova-o para um apêndice ou aponte uma referência.

Evite redundâncias como “opinião pessoal” e “garantia absoluta”.

### 3.3 Vícios comuns

- Estrangeirismos: “*performance*”, “*mutatis mutandis*”. Se necessário, coloque o termo estrangeiro em itálico e dê uma tradução entre parênteses.
- Usar linguagem rebuscada. Lembre-se de que a linguagem técnica deve ser clara, precisa e objetiva.
- Alternar o tempo verbal entre passado e presente. Seja consistente e escreva apenas no passado ou no presente.
- Iniciar uma frase com verbo porque o sujeito está implícito na frase anterior. Deixe sempre o sujeito explícito.
- Inserir referências no meio de uma frase. Isso quebra o fluxo da leitura. Coloque a citação no fim da frase.
- **Usar siglas sem antes defini-las.** Sempre escreva a sigla por extenso *na primeira vez* que ela aparece no texto. Por exemplo, “este é um texto de Projeto Final de Curso (PFC)”.
- Escrever “como sabemos”, “como é sabido”, “por razões óbvias”, “é evidente que”, “talvez seja verdade que”. Estes termos significam apenas que você não sabe explicar o que está afirmando.
- Usar definições *por exemplo*, isto é, apresentar a definição de um conceito ou termo por meio de um exemplo. Primeiro defina o conceito, depois exemplifique.

### 3.4 Boas práticas

- Sempre que introduzir novos termos e conceitos, destaque-os em itálico para que o leitor saiba que se trata de uma definição e para que ele ache a definição com facilidade quando for necessário rastreá-la no texto.
- Releia o que escreve a cada parágrafo. Releia rapidamente cada seção para verificar o encadeamento de ideias.
- Corte palavras sempre que possível.
- Nunca assumo que o leitor entenderá o que você escrever. Esforce-se para fazê-lo entender.
- Use um corretor ortográfico.



- Peça que alguém leia seu texto.

## 3.5 Uso de referências

Uma afirmação incluída num texto técnico se enquadra em um de três casos: a) seu conteúdo é de conhecimento geral dentro da área do texto; b) seu conteúdo é original e resulta do trabalho do autor; c) seu conteúdo tem origem em outro trabalho (ainda que seja do mesmo autor, não é original).

Toda afirmação enquadrada na categoria c) deve ser acompanhada de uma citação. Para afirmações da categoria b), deixe claro que se trata de ideia original do autor. Isso evita que o leitor se confunda ao pensar que possa se tratar de a) ou c).

No caso a), pode ser um tanto mais sutil determinar o que deve ser de conhecimento geral. Procure evitar o excesso de citações. Se todo um parágrafo se baseia em ideias de uma certa referência, em geral basta que ela seja citada no seu início.

**Atenção:** Não copie frases das referências usadas. Reescreva as ideias com suas próprias palavras e não deixe de citar a fonte. Se for necessário manter as palavras do original, cite a frase entre aspas e em itálico.

## 3.6 Honestidade e Plágio

Seja honesto ao escrever. **Não “maqueie” seus resultados.** Não apresente apenas as melhores amostras dos seus resultados para dar a impressão de que foi bem sucedido. Não escreva aquilo que não entende. Não escreva de forma vaga para mascarar o fato de que não entende algo.

Dê crédito a quem o merece. Inclua referências sempre que usar o trabalho de outros. Seja sempre claro para não dar a impressão de que fez algo feito por outrem. **Não assumo crédito pelo trabalho dos outros.** Isso pode ter implicações legais e acadêmicas.

## 3.7 Cuidado com a gramática

- Erros gramaticais deixam uma **impressão ruim** e podem alterar a disposição do leitor para com o texto.
- Use a vírgula corretamente. Seu uso incorreto confunde o leitor. Nunca use a vírgula porque acha que a frase precisa de uma pausa. Não separe sujeito e verbo.

Quando há inversão da ordem natural em uma frase, *toda* a parte movida deve estar entre vírgulas.

- Cuidado com a concordância da voz passiva sintética. Lembre-se de que o correto é “Vendem-se ovos” e não “Vende-se ovos”.
- Use a crase corretamente. Faça sempre o exercício de substituir o nome que sucede o “à” por um nome no masculino. Se o correto for usar “ao” com o nome masculino, então deve haver crase. Nunca use crase antes de nomes no masculino!
- Escreva “em que” em vez de “onde” quando não houver indicação de lugar.
- Não se escreve “o fato **dela** ser” ou “a razão **do** texto ser escrito”. Escreve-se “o fato **de ela** ser” e “a razão **de o** texto ser escrito”.
- Releia o que escreve e na dúvida busque ajuda.

## 3.8 Resumo do Capítulo

Tente não terminar de forma abrupta. Se for escrever algo aqui, não seja genérico!

# Capítulo 4

## Resultados

Para a execução do projeto, algumas etapas de desenvolvimento tiveram de ser seguidas: familiarização com o sistema, estudo dos módulos envolvidos, leitura dos requisitos, elaboração de documento descrevendo todo o processo de implementação e relacionamento com os diversos módulos, implementação e testes.

### 4.1 Atividades do Projeto

### 4.2 Requisitos do Sistema

### 4.3 Desenvolvimento e Implementação

A Tabela 4.1 apresenta as atividades executadas.

### 4.4 Testes

### 4.5 Análise dos Resultados

Apresente os resultados sem adulterações e faça análises objetivas. Pense na melhor maneira de apresentar os resultados graficamente. Se os gráficos são difíceis de inter-

Atividade 1	aa a	ab b
Ativ. 2	aa a	ab b

Tabela 4.1: Exemplo de tabela - Coloque toda informação sobre a tabela aqui

pretar, talvez tabelas sejam uma forma melhor de apresentar resultados. Não apresente dados (gráficos e tabelas) se não há uma conclusão interessante a ser tirada. Lembre-se de ser conciso.

*Não se esqueça das unidades!* Pense que *a priori* todo número deve ter uma unidade. Não escreva as unidades em itálico (no ambiente matemático) e tome cuidado para diferenciar maiúsculas e minúsculas. Um exemplo é escrever 22 [kN] e não 22KN (Kelvin vezes Newton!).

Ao apresentar resultados experimentais, tome o cuidado para também apresentar o cálculo das incertezas sempre que forem significativas. Ao fazer conclusões, sempre considere se o tamanho da sua amostra é grande o suficiente do ponto de vista estatístico. Lembre que a média empírica  $\hat{\mu}_X$  de  $N$  observações independentes da variável  $X_i$  possui variância

$$\hat{\sigma}_\mu^2 = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (X_i - \hat{\mu}_X)^2 ,$$

onde se assume que as variáveis  $X_i$  possuem uma mesma distribuição e que essa distribuição possui segundo momento finito.

## 4.6 Resumo do Capítulo

Tente não terminar de forma abrupta. Se for escrever algo aqui, não seja genérico!

## 4.7 Formato, expressões matemáticas e o L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

### 4.7.1 O L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

O L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X é o método preferencial de preparação de documentos para textos técnicos nas ciências exatas. O L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X permite não só lidar com equações de uma forma mais prática que em editores de texto, mas também facilita a formatação de documentos e tem um desempenho marcadamente superior a editores de texto na preparação de documentos longos como monografias.

Documentos em L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X são escritos em um ou mais arquivos de texto com extensão .tex. Após a escrita, o .tex é *compilado* para gerar arquivos nos formatos .pdf, .dvi ou .ps. Hoje há duas distribuições padrão para o L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. Sistemas Windows usam o MikT<sub>E</sub>X e sistemas Unix usam o T<sub>E</sub>XLive. Além das distribuições, muitos usuários utilizam *front-ends* que facilitam a edição do texto, a compilação e a instalação de pacotes.

Os pacotes necessários para compilar o presente documento devem ser encontrados

numa instalação completa dessas distribuições. Se tiver dificuldades com os pacotes, você pode instalá-los manualmente ou tentar alterar o código para usar versões antigas dos mesmos.

A compilação pode ser feita pelos comandos `latex` ou `pdflatex`, invocados pela linha de comando ou pelo *front-end*. Note que será necessário empregar o comando **mais de uma vez** para que as referências cruzadas saiam corretas.

Como discutido na Seção 2.3, uma ferramenta útil para gerenciar as citações em L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X é o BibT<sub>E</sub>X. Para gerar uma lista bibliográfica a partir do arquivo `.bib`, este arquivo deve ser indicado no arquivo `.tex`. Em seguida devem-se executar os comandos `pdflatex`, `bibtex` e `pdflatex` novamente sempre usando o `.tex` como argumento. Note que os comandos são executados nesta ordem e de forma repetida para que as referências cruzadas sejam geradas corretamente.

Nesta seção você deve encontrar exemplos dos comandos mais usados em L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. Outros exemplos e manuais podem ser encontrados na internet com facilidade.

### 4.7.2 Expressões Matemáticas

Ao escrever expressões matemáticas, defina todas as variáveis antes de usá-las ou imediatamente depois da expressão. Deixar de fazê-lo torna seu texto **ilegível**. Segue um exemplo.

Seja o par  $(a_1, a_2) \in \mathbb{R}^2$ . Para  $s \in \mathbb{C}$ , definimos a função  $f(s)$  como

$$f(s) \triangleq \frac{a_1 s + a_2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \ ,$$

onde os escalares  $\zeta, \omega_n > 0$  são constantes.

Note que não foi necessário atribuir valores às variáveis neste momento. Repare também como devemos **usar pontuação** (vírgula) nas equações, tratando-as como parte da frase. Usamos o símbolo  $\triangleq$  ou  $:=$  para deixar explícito que se trata de uma definição. Ser claro nesse aspecto facilita o entendimento do leitor.

A equação acima não foi numerada porque não será citada no texto. Vejamos um exemplo com numeração.

A função  $f(\cdot)$  possui um zero em  $-a_2/a_1$  (ou  $-\frac{a_2}{a_1}$ ) e, para  $\zeta < 1$ , possui polos complexos  $p_{1,2}$  dados por

$$p_{1,2} = \omega_n \left( -\zeta \pm j\sqrt{1 - \zeta^2} \right) \ . \quad (4.1)$$

Agora podemos citar os polos dados pela Equação (4.1) (aqui adotamos a convenção de citar sempre com o número entre parênteses precedido da palavra Equação). Note

como usamos um comando especial na Equação 4.1 para garantir o ajuste automático do tamanho dos parênteses.

Vejamos agora como criar equações alinhadas. Considere o sistema dinâmico dado pelas equações diferenciais:

$$\dot{x}_1 = \cos(x_2) \cdot \ln(1/x_1) + \tan(u) \quad (4.2)$$

$$\dot{x}_2 = e^{-x_1-x_2}$$

$$y = \min\{x_1, x_2\} \quad , \quad (4.3)$$

onde  $x(t) = [x_1(t) \ x_2(t)]'$ ,  $t > 0$ , é a variável de estado do sistema,  $u(t)$  é o sinal de entrada e  $y(t)$  é o sinal de saída do sistema. Note no .tex que o caracter de tabulação & foi usado para indicar o ponto de alinhamento horizontal das equações. Além disso, para ilustrar o uso do L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, retiramos a numeração da segunda equação e citamos as equações separadamente.

Nas Equações (4.2) e (4.3), aparecem operadores como min, ln, cos e tan. A convenção aqui é que **variáveis devem ser escritas em itálico e operadores não**. Por essa razão todas as expressões matemáticas devem ser escritas no ambiente matemático (entre cifrão) mesmo quando for possível usar texto comum. Isso garante a consistência das fontes utilizadas (nem sempre a fonte do ambiente matemático é a mesma fonte do texto).

Para escrever matrizes, podemos fazer por exemplo:

$$\sum_{n=0}^{\infty} z^{-n} \begin{bmatrix} \lambda & 1 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix}^n = \begin{bmatrix} \frac{z}{z-\lambda} & \frac{z}{(z-\lambda)^2} \\ 0 & \frac{z}{z-\lambda} \end{bmatrix}, \quad \forall \lambda < |z| \quad .$$

Para escrever uma expressão com múltiplos casos, podemos fazer, para um inteiro  $N$  positivo,

$$g[n] = \begin{cases} 0, & \text{se } n \leq 0 \\ n, & \text{se } n = 1, 2, \dots, N-1 \\ N, & \text{se } n \bmod N = 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} .$$

**Nunca reaproveite símbolos** matemáticos, isto é, nunca use o mesmo símbolo para designar variáveis diferentes.

Para um exemplo com múltiplas linhas de expressão matemática: tem-se que, para  $a \neq 0$ ,

$$\begin{aligned} ax^2 + bx + c &= 0 \\ \Rightarrow a(x^2 + bx/a + c/a) &= 0 \Rightarrow a((x + b/(2a))^2 + c/a - b^2/(4a^2)) = 0 \\ \Rightarrow (x + b/(2a))^2 &= (b^2 - 4ac)/(4a^2) \\ \Rightarrow (x + b/(2a)) &= \pm\sqrt{b^2 - 4ac}/(2a) \\ \Rightarrow x &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} . \end{aligned} \tag{4.4}$$

Note a argumentação lógica aqui. Não estamos dizendo que o valor de  $x$  é dado pela última linha. Estamos dizendo que a hipótese da primeira linha juntamente com a hipótese  $a \neq 0$  implicam os referidos valores de  $x$ . **Um erro comum dos alunos ao escrever é não distinguir a veracidade das implicações com a veracidade das hipóteses.**





# Capítulo 5

## Conclusões

Novamente, este será um dos trechos que o leitor experiente lerá antes de decidir se vale a pena ler o texto integral. Seja convincente.

### 5.1 Considerações Finais

Reitere o que de mais importante foi feito, qual era o objetivo inicial e qual o resultado obtido. Se houve requisitos ou especificações de projeto, discuta se foram atingidos. Se os resultados não foram conclusivos ou contrariam o que se esperava, seja honesto e diga-o explicitamente. Busque explicar os insucessos com argumentos sólidos e plausíveis.

### 5.2 Propostas de Continuidade

Se houve questões ainda não respondidas ou resultados insatisfatórios, aponte direções de continuação.



# Referências Bibliográficas

- [1] CLOUPEAU, M.; PRUNET-FOCH, B. Electrohydrodynamic spraying functioning modes: a critical review. *Journal of Aerosol Science*, v. 25, n. 6, p. 1021–1036, 1994.
- [2] VERDOOLD, S. et al. A generic electrospray classification. *Journal of Aerosol Science*, Elsevier, v. 67, p. 87–103, 2014. ISSN 18791964. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaerosci.2013.09.008>>.



# Apêndice A

## O que ficou para depois

Inclua aqui informações que não sejam tão relevantes para o entendimento do projeto mas que ainda sejam importantes para documentá-lo.



# Apêndice B

## O que mais faltou

Inclua aqui informações que não sejam tão relevantes para o entendimento do projeto mas que ainda sejam importantes para documentá-lo.