



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

# FRAMEWORK PARA SERVIÇOS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA

PEDRO HOLLANDA BOUEKE

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Computação E Informação da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Flávio Luis de Mello

Rio de Janeiro  
Outubro de 2018

# FRAMEWORK PARA SERVIÇOS DE APRENDIZADO DE MÁQUINA

PEDRO HOLLANDA BOUEKE

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO  
DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO E INFORMAÇÃO DA ESCOLA PO-  
LITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO  
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE ENGENHEIRO ELETRÔNICO E DE COMPUTAÇÃO

Autor:

---

PEDRO HOLLANDA BOUEKE

Orientador:

---

Flávio Luis de Mello, Ph. D.

Examinador:

---

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Examinador:

---

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Rio de Janeiro  
Outubro de 2018

## Declaração de Autoria e de Direitos

Eu, *Pedro Hollanda Boueke* CPF 108.243.966.50, autor da monografia *Framework para Serviços de Aprendizado de Máquina*, subscrevo para os devidos fins, as seguintes informações:

1. O autor declara que o trabalho apresentado na disciplina de Projeto de Graduação da Escola Politécnica da UFRJ é de sua autoria, sendo original em forma e conteúdo.
2. Excetua-se do item 1. eventuais transcrições de texto, figuras, tabelas, conceitos e idéias, que identifiquem claramente a fonte original, explicitando as autorizações obtidas dos respectivos proprietários, quando necessárias.
3. O autor permite que a UFRJ, por um prazo indeterminado, efetue em qualquer mídia de divulgação, a publicação do trabalho acadêmico em sua totalidade, ou em parte. Essa autorização não envolve ônus de qualquer natureza à UFRJ, ou aos seus representantes.
4. O autor pode, excepcionalmente, encaminhar à Comissão de Projeto de Graduação, a não divulgação do material, por um prazo máximo de 01 (um) ano, improrrogável, a contar da data de defesa, desde que o pedido seja justificado, e solicitado antecipadamente, por escrito, à Congregação da Escola Politécnica.
5. O autor declara, ainda, ter a capacidade jurídica para a prática do presente ato, assim como ter conhecimento do teor da presente Declaração, estando ciente das sanções e punições legais, no que tange a cópia parcial, ou total, de obra intelectual, o que se configura como violação do direito autoral previsto no Código Penal Brasileiro no art.184 e art.299, bem como na Lei 9.610.
6. O autor é o único responsável pelo conteúdo apresentado nos trabalhos acadêmicos publicados, não cabendo à UFRJ, aos seus representantes, ou ao(s) orientador(es), qualquer responsabilização/ indenização nesse sentido.
7. Por ser verdade, firmo a presente declaração.

---

Pedro Hollanda Boueke

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Escola Politécnica - Departamento de Eletrônica e de Computação

Centro de Tecnologia, bloco H, sala H-217, Cidade Universitária

Rio de Janeiro - RJ CEP 21949-900

Este exemplar é de propriedade da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es).

## **AGRADECIMENTO**

Dedico este trabalho ao povo brasileiro que contribuiu de forma significativa à minha formação e estada nesta Universidade. Este projeto é uma pequena forma de retribuir o investimento e confiança em mim depositados.

## **RESUMO**

TODO

Palavras-Chave: aprendizado de máquina, django, agendador de tarefas.

## ABSTRACT

TODO

Key-words: machine learning, django, job sheduler.

## **SIGLAS**

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

MTV - Model Template View



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Tema . . . . .	1
1.2	Delimitação . . . . .	1
1.3	Justificativa . . . . .	2
1.4	Objetivos . . . . .	2
1.5	Metodologia . . . . .	3
1.6	Descrição . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>5</b>
2.1	Sistemas de Aprendizado de Máquina em Ambiente de Produção . . .	5
2.2	Agendadores de Tarefas . . . . .	6
2.2.1	Slurm . . . . .	6
2.2.2	crontab . . . . .	7
2.3	Desenvolvimento com Django . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Implementação</b>	<b>9</b>
3.1	Arquitetura . . . . .	9
3.1.1	Showroom . . . . .	9
3.1.2	Monitor . . . . .	11
3.2	Implantação . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>13</b>
4.1	TODO . . . . .	13
	<b>Bibliografia</b>	<b>14</b>
<b>A</b>	<b>O que é um apêndice</b>	<b>15</b>

<b>B</b>	<b>Encadernação do Projeto de Graduação</b>	<b>16</b>
<b>C</b>	<b>O que é um anexo</b>	<b>18</b>

# Lista de Figuras

3.1	Diagrama de componentes da aplicação. . . . .	10
3.2	Diagrama de classes da aplicação. . . . .	10
3.3	Diagrama Entidade-Relacionamento do banco. . . . .	10
3.4	Diagrama de sequência da <i>view Showroom</i> . . . . .	11
3.5	Diagrama de implantação. . . . .	11
B.1	Encadernação do projeto de graduação. . . . .	17

# Lista de Tabelas

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Tema

O trabalho apresenta uma solução para uma das questões comumente negligenciadas dentro da área de tecnologias de Aprendizado de Máquina: a implantação e uso de modelos em ambientes não acadêmicos. A proposta executada se reserva à criação de um *framework* para gerência e execução de modelos de Aprendizado de Máquina de forma a automatizar os processos relacionados ao uso de tais modelos, da coleta dos dados a serem analisados, passando por sua execução até a entrega dos resultados.

Nesse trabalho são abordados princípios de Engenharia de Software, algoritmos de Aprendizado de Máquina, *Job Schedulers* e desenvolvimento de aplicações *Web* com a plataforma de desenvolvimento *Django*. Objetiva-se a criação de uma plataforma genérica para a execução periódica de modelos de Aprendizado de Máquina que permita o acompanhamento da execução e resultados por diversos usuários, também facilitando a reconfiguração de agendas e gerência do *workflow* de processamento em ambientes de produção.

### 1.2 Delimitação

O trabalho apresentado se destina a atender as demandas de agentes de todas as esferas do círculo de usuários de modelos de Aprendizado de Máquina. Enquanto

necessárias execuções recorrentes de modelos, o *framework* desenvolvido apresenta uma solução compatível aos principais contextos em que tais modelos se apresentam. São exceções notáveis a esse conjunto de usuários parte dos desenvolvedores de modelos de Aprendizado de Máquina que, possivelmente, não estejam interessados em praticar execução de seus modelos em ambientes de produção. Também se excluem aqueles que não possuem requisitos técnicos para a execução dos componentes necessários ao sistema, como usuários do sistema operacional Windows, usuários de bancos de dados incompatíveis com a linguagem SQL e usuários impossibilitados de fazer uso da linguagem de programação *Python 3*.

### 1.3 Justificativa

Enquanto que algoritmos e modelos matemáticos são apresentados frequentemente pelo ambiente acadêmico como soluções aproximadas de problemas reais e complexos condizentes ao que se diz respeito da área de Aprendizado de Máquina, a sua implantação em ambientes não acadêmicos ou de produção poucas vezes é abordada. Dado esse cenário, nota-se que existe espaço e demanda para o estudo e desenvolvimento de novas metodologias e plataformas que ambicionem soluções para as dificuldades envolvidas em trazer um modelo de Aprendizado de Máquina para um ambiente não acadêmico, dentre as quais destacam-se: gerência de execuções e processamento, gerência de arquivos e modelos, visualização e acompanhamento de resultados.

### 1.4 Objetivos

Objetiva-se o desenvolvimento de um *framework* que permita o agendamento e acompanhamento de execuções de modelos de Aprendizado de Máquina. Uma execução caracteriza-se pela instanciação de um modelo, coleta dos dados a serem processados, execução do modelo sobre os dados coletados e persistência tanto dos resultados quanto das informações relativas à execução. Por acompanhamento, refere-se à possibilidade de usuários do *framework* visualizarem os resultados das execuções, bem como de configurarem todos os aspectos da execução, como a agenda, o modelo e as bases de persistência.

O acima descrito será alcançado com a implementação bem sucedida de um *framework* que permita que todos os detalhes descritos sejam executados, fazendo uso de um sistema de agendamento de tarefas para agendamento de execuções do modelo; uma plataforma de desenvolvimento de aplicações *Web* para permitir o acompanhamento e gerência das execuções; bases de dados que contenham as informações dos usuários do sistema, registros detalhando as etapas das execuções do modelo e os dados a serem processados. Dessa forma, serão objetivos parciais para se alcançar o fim desejado:

1. Desenvolvimento de uma aplicação *Web* caracterizada por:
  - (a) Permitir agendamento de execuções de programas para processamento de modelos de Aprendizado de Máquina.
  - (b) Permitir a visualização de resultados e eventos gerados pelos processos agendados.
  - (c) Permitir a execução de modelos de Aprendizado de Máquina, com a visualização dos resultados em tempo real.
  - (d) Se comunicar com bases de dados externas para coleta e persistência de dados.
  - (e) Ser reconfigurável a fim de atender ambientes diversos.
2. Desenvolvimento de uma base de dados relacionais para armazenamento de eventos do *framework*.
3. Desenvolvimento de um programa para execução de modelos de Aprendizado de Máquina.

## 1.5 Metodologia

Atendendo às expectativas de um projeto de *Software*, iniciou-se o projeto a partir de diagramas e modelos de Engenharia de Software que definem o funcionamento do sistema projetado. Foram elaborados: um diagrama de casos de uso, um diagrama de sequência, cinco diagramas de atividade e um diagrama de relacionamento de entidades.

Com o planejamento teórico concluído, foram definidas as ferramentas de desenvolvimento do sistema. Para controle de versão foi utilizada a ferramenta *Git*, com a manutenção de um repositório para todo o código produzido. Como linguagem de desenvolvimento, foi escolhida a linguagem *Python 3*, que se destaca por ser uma das principais linguagens de programação dentro da comunidade de praticantes de tecnologias de Aprendizado de Máquina [1]. Quanto ao desenvolvimento da aplicação *Web*, foi selecionada a plataforma *Django*, que é caracterizada por depender da mesma linguagem de programação que a escolhida para o *framework* e possuir um sistema de autenticação de usuários embutido. Por fim, quanto aos bancos de dados, foram selecionados: o *SQLite3* para controle de acesso dos usuários, em uma cópia local à aplicação *Web*, o *MySQL* para armazenamento dos eventos produzidos pelo *framework* e, para o banco de coleta e persistência dos dados necessários aos modelos de Aprendizado de Máquina, um banco qualquer que possua compatibilidade com o conector genérico *ODBC*, permitindo consultas *SQL* genéricas.

O desenvolvimento do projeto e artefatos de software relacionados se deu de maneira incremental ao longo de um período de pouco mais de dois meses, sendo guiado por reuniões e revisões frequentes entre os colaboradores envolvidos para discussão de detalhes técnicos. A validação dos resultados foi feita por meio de inspeção dos artefatos produzidos.

## 1.6 Descrição

No segundo capítulo será abordada a fundamentação teórica do trabalho desenvolvido, com a elaboração em cima das funções e histórico das ferramentas desenvolvidas. Serão abordados os temas: sistemas de aprendizado de máquina em ambiente de produção, ferramentas para agendamento de tarefas e desenvolvimento de software na plataforma *Django*.

A arquitetura, as ferramentas de desenvolvimento, os resultados obtidos e sua análise serão elaborados no terceiro capítulo, enquanto que o quarto capítulo se dedicará à conclusão e trabalhos futuros.



# Capítulo 2

## Fundamentação Teórica

### 2.1 Sistemas de Aprendizado de Máquina em Ambiente de Produção

Sistemas de Aprendizado de Máquina são sistemas que combinam algoritmos e modelos matemáticos da área de Aprendizado de Máquina em soluções que visam a implantação do uso de tais algoritmos e modelos em ambientes reais. Aprendizado de máquina, por sua vez, se refere a área de estudos voltada ao desenvolvimento e compreensão de modelos matemáticos caracterizados pelo aprimoramento de seus resultados por meio da ingestão de dados de treino, de forma que esses modelos possam realizar previsões e decisões sem que sejam explicitamente programados para o fazerem, como aponta Christopher Bishop [2].

Com o surgimento de equipamentos de alto poder computacional a preços acessíveis, o campo de Aprendizado de Máquina foi capaz de ser remodelado a partir de princípios e modelos que anteriormente não eram praticáveis por conta das limitações técnicas da época. Com essa mudança, o campo se tornou um foco para o surgimento de novas tecnologias que se apresentam, em grande parte, como inovações da academia e de núcleos de pesquisa. O surgimento de novos paradigmas no campo não se viu acompanhado, em mesma escala, pelo surgimento de novos sistemas e metodologias de implantação das novas tecnologias em ambientes não acadêmicos.

Enquanto que modelos tomadores de decisões dominam a área, sistemas que permitiriam a implantação de tais modelos em ambientes de produção se encontram pouco difundidos. Atualmente, os principais sistemas desse tipo se encontram hospedados em soluções prontas por provedores de infra-estrutura gerenciada, como é o caso do *Amazon SageMaker* e do *Machine Learning Studio*, soluções pagas providenciadas pela *AWS* e pela *Azure*. Em contrapartida, soluções abertas e gratuitas ainda dependem de um grande trabalho de desenvolvimento por parte dos responsáveis pela implantação, requerendo um esforço similar ao desenvolvido no trabalho aqui exposto.

## 2.2 Agendadores de Tarefas

Para a implantação de um sistema de *stream* de dados para processamento constante, é necessária uma forma para a inicialização da execução de programas e tarefas correlatas ao trabalho sendo executado. Nesse sentido, considera-se úteis ferramentas agendadoras de tarefas, ou *job schedulers*. Essas são ferramentas responsáveis pela execução agendada de programas, viabilizando metas de frequência de processamento e execução.

### 2.2.1 Slurm

Uma dessas ferramentas é o programa conhecido por *slurm* [3], um *workload manager* capaz de realizar o agendamento de tarefas. Essa é uma das principais ferramentas de código aberto utilizada em sistemas *Unix-like*, capaz de funcionar em *clusters* computacionais de forma distribuída ou baseada em apenas uma instância. O Slurm não requer modificações no *kernel* do sistema operacional e é relativamente auto contido.

As três principais funções do *slurm* são a alocação de recursos de maneira exclusiva e não exclusiva a usuários por um período de tempo; prover um *framework* para iniciar, executar e monitorar tarefas paralelas em um conjunto de nós computacionais; arbitrar a contenção de recursos gerenciando filas de trabalhos pendentes. Sua

arquitetura consiste de um daemon rodando em cada nó e um daemon central no nó principal. Os daemons provém comunicação hierárquica tolerante a falhas.

Os nós da rede se dividem em partições, cada uma sendo uma fila de tarefas, cada tarefa é subdividida em subtarefas, que podem ser processadas pela partição em paralelo. Uma vez alocada a um conjunto de nós, o usuário é capaz de iniciar o trabalho em paralelo no forma de subtarefas em qualquer configuração dentro da alocação de nós.

### 2.2.2 crontab

Outra ferramenta dessa categoria, a utilizada nesse trabalho, é o *crontab*. O nome é uma abreviação de *cron table*, pois se refere ao arquivo *cron file* utilizado internamente para agendamento e execução de tarefas. Esse programa consiste de um arquivo no sistema operacional que periodicamente é lido pelo *cron* daemon, fazendo uso de expressões *CRON*, e suas linhas são interpretadas como entradas de uma tabela contendo em uma coluna a expressão que define sua agenda de execução e em outra coluna o comando a ser executado como um programa de linha de comando. Seu diferencial está no fato de ser extremamente simples e possuir suporte para manipulação por meio de diversas linguagens de programação, incluindo *Python 3*, a linguagem escolhida para o desenvolvimento do sistema aqui detalhado.

## 2.3 Desenvolvimento com Django

O *Django* [4] é um *framework* de desenvolvimento de aplicações e serviços *web* disponível nas linguagens de programação *Python 2 e 3*, gratuito e de código aberto. Sua estrutura interna é baseada no paradigma MTV, particularmente caracterizada por uma forte e nativa integração com bancos de dados a partir de uma interface própria. Todos os componentes de uma aplicação *web* são reproduzidos por meio de convenções próprias ao *framework*, baseados na reusabilidade de código e orientado à integração nativa com bancos de dados diversos.

O desenvolvimento com o *framework* é marcado pela pouca quantidade de código produzido e pelas diversas interfaces de programação providas pela plataforma.

Também se destacam a a integração nativa com um sistema de administração embutido nas aplicações produzidas que fornecem, sem custos adicionais de desenvolvimento, uma aplicação e interface de autenticação de usuários também utilizável em todas as camadas de serviço contruídas paralelamente no mesmo ambiente.

O *framework* disponibiliza ao desenvolvedor interfaces próprias para o acesso a bancos de dados, templates para renderização de HTML, classes extensíveis para programação orientada a objetos, encaminhamento de requisições configurável, dentre outras facilidades.

# Capítulo 3

## Implementação

### 3.1 Arquitetura

O projeto desenvolvido se trata de uma aplicação *Django* que conta com duas interfaces, uma para execução de um modelo preditivo em ocorrências controladas e outra para monitoramento do banco de dados, chamadas, respectivamente, de *Showroom* e *Monitor*. Essas duas interfaces são controladas pela aplicação por meio de duas classes de mesmo nome, vistas na figura 3.2. Os componentes da aplicação podem ser visualizados na figura 3.1, onde se observa a existência de um arquivo *config.yaml*, responsável por agregar todos os parâmetros e configurações da aplicação.

#### 3.1.1 Showroom

A *view Showroom* é caracterizada pela existência de casos sobre os quais serão inferidas classificações a partir do modelo de aprendizado de máquina carregado na aplicação. Toda execução gerada a partir dessa *view* segue os passos vistos no diagrama de sequência apresentado na figura 3.4. Os dados para a predição são coletados, o evento é registrado na tabela de log de eventos, o resultado é computado e a *view* é atualizada com os resultados da predição. A tabela de log de eventos, por sua vez, é populada por eventos relacionados a cada execução, representados pelas colunas da entidade *ShowroomDispatch* na figura 3.3.

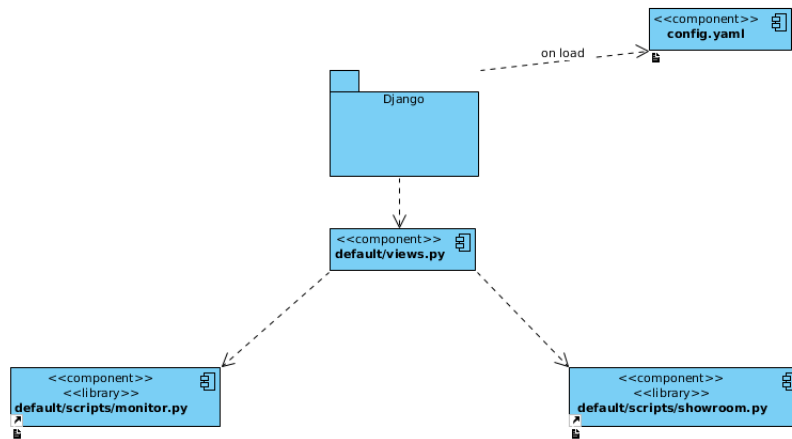


Figura 3.1: Diagrama de componentes da aplicação.

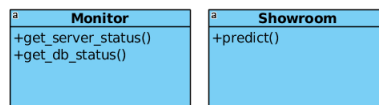


Figura 3.2: Diagrama de classes da aplicação.

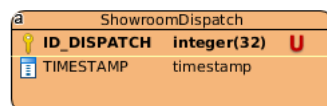


Figura 3.3: Diagrama Entidade-Relacionamento do banco.

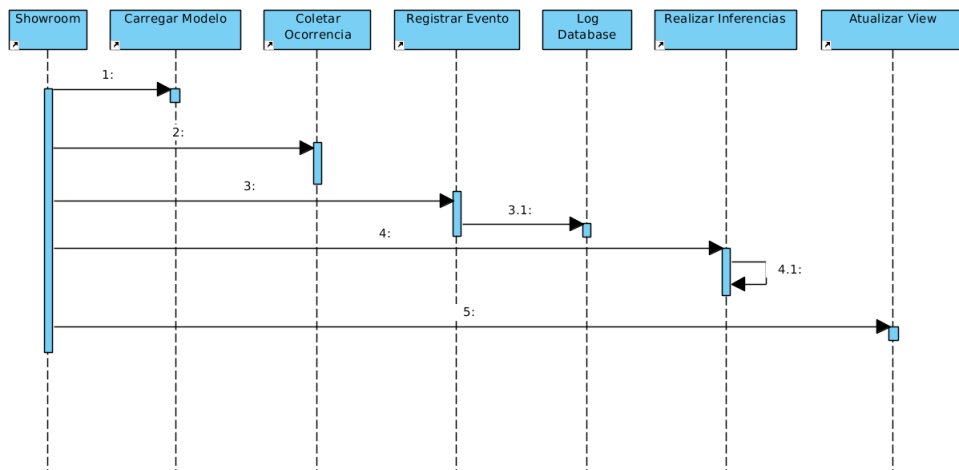


Figura 3.4: Diagrama de sequência da *view Showroom*.



Figura 3.5: Diagrama de implantação

### 3.1.2 Monitor

A *view Monitor* é responsável por monitorar o estado do banco de dados usado pela aplicação e disponibilizar essa informação ao usuário. Em intervalos periódicos de tempo a *view* é atualizada trazendo informações recentes do estado do banco para a interface.

## 3.2 Implantação

A implantação do sistema depende de um servidor de aplicação e um servidor para o banco de dados, como visto na figura 3.5. A aplicação *Django* será hospedada

no servidor de aplicação enquanto que o banco de dados será hospedado em uma máquina que permita o acesso da máquina da aplicação ao serviço de banco de dados hospedado.



# Capítulo 4

## Conclusões

### 4.1 TODO

# Bibliografia

- [1] THE STACK OVERFLOW NETWORK, “Stack Overflow Annual Developer Survey”, <https://insights.stackoverflow.com/survey>, 2018, [Data File].
- [2] BISHOP, C. M., “Pattern Recognition and Machine Learning”, *Springer*, v. ISBN 978-0-387-31073-2, 2006.
- [3] “Slurm Workload Manager”, <https://slurm.schedmd.com/>, 2018, [Software].
- [4] “Django”, <https://www.djangoproject.com/>, 2018, [Software].

# Apêndice A

## O que é um apêndice

Elemento que consiste em um texto ou documento elaborado pelo autor, com o intuito de complementar sua argumentação, sem prejuízo do trabalho. São identificados por letras maiúsculas consecutivas e pelos respectivos títulos.

## Apêndice B

# Encadernação do Projeto de Graduação

Número	<p><b>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO</b></p> <p><b>Escola Politécnica</b></p> <p><b>Departamento de Eletrônica e de Computação</b></p>
Nome do Aluno	
Título do Projeto*	<p><b>Título do Projeto</b></p> <p><b>Nome do Aluno</b></p>
Ano	<p><b>Projeto de Graduação</b></p> <p><b>Mês / Ano</b></p>

**\* Título resumido caso necessário**  
**Capa na cor preta, inscrições em dourado**

Figura B.1: Encadernação do projeto de graduação.

# Apêndice C

## O que é um anexo

Documentação não elaborada pelo autor, ou elaborada pelo autor mas constituindo parte de outro projeto.