

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
LABORATÓRIO DE ENGENHARIA E EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

PROJETO DE ENGENHARIA  
DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE  
AUTOMAÇÃO DA DEFINIÇÃO DO VOLUME ELEMENTAR  
REPRESENTATIVO  
TRABALHO DA DISCIPLINA METODOLOGIA CIENTÍFICA E  
PROJETO DE SOFTWARE APLICADOS

Versão 1:  
NATHAN RANGEL MAGALHÃES  
Prof. André Duarte Bueno

MACAÉ - RJ  
Novembro - 2023

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Escopo do problema . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	1
1.3	Metodologia utilizada . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Concepção</b>	<b>3</b>
2.1	Nome do sistema/produto . . . . .	3
2.2	Especificação . . . . .	3
2.2.1	Módulo de Pré-processamento de Imagens: . . . . .	4
2.2.2	Módulo de Segmentação: . . . . .	4
2.2.3	Módulo de Cálculo de Porosidade: . . . . .	4
2.2.4	Módulo de Análise Estatística: . . . . .	4
2.2.5	Módulo de Seleção e Trabalho com o REV: . . . . .	4
2.3	Requisitos . . . . .	4
2.3.1	Requisitos funcionais . . . . .	4
2.3.2	Requisitos não funcionais . . . . .	5
2.4	Casos de uso . . . . .	5
2.4.1	Diagrama de caso de uso geral . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Elaboração</b>	<b>7</b>
3.1	Análise de domínio . . . . .	7
3.2	Formulação teórica . . . . .	7
3.3	Identificação de pacotes – assuntos . . . . .	8
3.4	Diagrama de pacotes – assuntos . . . . .	9
<b>4</b>	<b>AOO – Análise Orientada a Objeto</b>	<b>11</b>
4.1	Diagramas de classes . . . . .	11
4.1.1	Dicionário de classes . . . . .	11
4.2	Diagrama de seqüência – eventos e mensagens . . . . .	13
4.2.1	Diagrama de seqüência geral . . . . .	13
4.3	Diagrama de estado . . . . .	14
4.4	Diagrama de atividades . . . . .	15

# Lista de Figuras

2.1	Diagrama de caso de uso – Caso de uso geral . . . . .	6
3.1	Diagrama de Pacotes . . . . .	10
4.1	Diagrama de classes . . . . .	12
4.2	Diagrama de seqüência . . . . .	14
4.3	Diagrama de máquina de estado . . . . .	15
4.4	Diagrama de atividades . . . . .	16

## Lista de Tabelas

# Listagens

# Capítulo 1

## Introdução

O presente projeto de engenharia, desenvolve-se o software PetroRev, uma aplicação direcionada à engenharia de petróleo que adota o paradigma da orientação a objetos.

O PetroRev surge como resposta à necessidade de automatização na análise do Volume Elementar Representativo (REV) em amostras petrofísicas, obtidas por microtomografia de raios X. Este software busca superar desafios inerentes à determinação precisa do REV, um fator crucial para estudos das propriedades petrofísicas, especialmente a porosidade, em escalas representativas.

### 1.1 Escopo do problema

O software PetroRev é desenvolvido para automatizar a análise do REV em amostras petrofísicas obtidas por microtomografia de raios X. Essa abordagem representa um avanço significativo, eliminando processos manuais e acelerando análises cruciais para estudos de reservatórios e extração de petróleo. O PetroRev destaca-se por sua relevância na engenharia de petróleo, oferecendo uma ferramenta indispensável para profissionais que buscam compreender as propriedades das rochas com precisão e agilidade.

### 1.2 Objetivos

Os objetivos deste projeto de engenharia são:

- Objetivo geral:

O PetroRev visa desenvolver um software capaz de automatizar a determinação do REV em amostras petrofísicas, agregando valor à engenharia de petróleo mediante a obtenção precisa e eficiente do volume estatisticamente representativo.

- Objetivos específicos:

- Modelagem física e matemática do problema.

- Desenvolvimento de modelagem estática e dinâmica do software.
- Cálculo preciso do REV e porosidade em múltiplas subamostras.
- Realização de simulações para teste e validação do software.
- Elaboração de um manual simplificado de utilização do PetroRev.

### 1.3 Metodologia utilizada

Para o desenvolvimento deste projeto, adotamos a metodologia de engenharia de software apresentada pelo Prof. André Bueno, complementada pela pesquisa realizada pelo doutorando André e pela Professora Roseane na análise do REV. Essa metodologia, centrada em ciclos de concepção e análise, planejamento/detalhamento e construção-implementação, é amplamente embasada na disciplina de Introdução a Projetos: Metodologia Científica e Projeto de Softwares (LEP01582), oferecendo uma base sólida para a criação do PetroRev.

# Capítulo 2

## Concepção

Apresenta-se neste capítulo do projeto de engenharia a concepção, a especificação do sistema a ser modelado e desenvolvido.

### 2.1 Nome do sistema/produto

Nome	PetroRev
<b>Componentes principais</b>	Módulos de Pré-processamento, Segmentação, Cálculo de porosidade, Análise Estatística e trabalho com o REV
<b>Missão</b>	A missão do PetroRev é fornecer uma solução eficiente e precisa para a análise do Volume Elementar Representativo (REV) em amostras petrofísicas. Ao automatizar o processo de determinação do REV, o software busca oferecer uma ferramenta robusta para a engenharia de petróleo, permitindo estudos confiáveis das propriedades petrofísicas em escalas representativas.

### 2.2 Especificação

O software PetroRev é uma aplicação destinada à análise automatizada do Volume Elementar Representativo (REV) em amostras petrofísicas obtidas por microtomografia de raios X. O software é composto por diversos módulos interligados, cada um desempenhando funções específicas para alcançar a determinação precisa do REV e a análise das propriedades petrofísicas.

Componentes Principais:



### 2.2.1 Módulo de Pré-processamento de Imagens:

- Carrega e prepara as imagens da microtomografia para análise.
- Realiza a padronização e otimização das imagens para a segmentação.

### 2.2.2 Módulo de Segmentação:

- Desenvolve algoritmos para identificar áreas representativas de poros e sólidos
- Realiza a segmentação nos três eixos da amostra para detalhamento minucioso.

### 2.2.3 Módulo de Cálculo de Porosidade:

- Divide a amostra em múltiplas subamostras ao longo dos três eixos.
- Calcula a porosidade individualmente para cada subamostra identificada.

### 2.2.4 Módulo de Análise Estatística:

- Avalia estatisticamente as porosidades obtidas para determinar o REV mais representativo.
- Seleciona o volume estatisticamente relevante para análises posteriores.

### 2.2.5 Módulo de Seleção e Trabalho com o REV:

- Foca exclusivamente na subamostra identificada como REV.
- Permite análises detalhadas e extração de propriedades específicas da rocha a partir do REV selecionado.

## 2.3 Requisitos

Apresenta-se nesta seção os requisitos funcionais e não funcionais.

### 2.3.1 Requisitos funcionais

Apresenta-se a seguir os requisitos funcionais.

<b>RF-01</b>	O usuário deve conseguir carregar as imagens das lâminas da amostra.
<b>RF-02</b>	Realizar o pré-processamento das imagens.
<b>RF-03</b>	Realizar a segmentação das regiões de interesse.

<b>RF-04</b>	Realizar calculos de porosidades como na literatura.
--------------	--

<b>RF-05</b>	Realizar a análise estatística e identificação do REV
--------------	---

### 2.3.2 Requisitos não funcionais

<b>RNF-01</b>	Suas primeiras versões deve suportar apenas o SO Linux
---------------	--

<b>RNF-02</b>	Permitir plotagem de gráficos para representação de porosidade por volume.
---------------	--

<b>RNF-03</b>	Oferecer ao usuário liberdade de escolher entre diferentes fórmulas na segmentação.
---------------	---

<b>RNF-04</b>	Possibilitar a exportação de dados para o uso em outras ferramentas ou plataformas.
---------------	---

## 2.4 Casos de uso

### 2.4.1 Diagrama de caso de uso geral

O diagrama de caso de uso geral (2.1) do PetroRev agora reflete com mais precisão a interação entre o usuário e o sistema. O usuário carrega as imagens, enquanto o código executa as etapas de pré-processamento, segmentação, cálculo de porosidade e análise estatística. O usuário, então, pode selecionar o REV com base nos resultados apresentados.

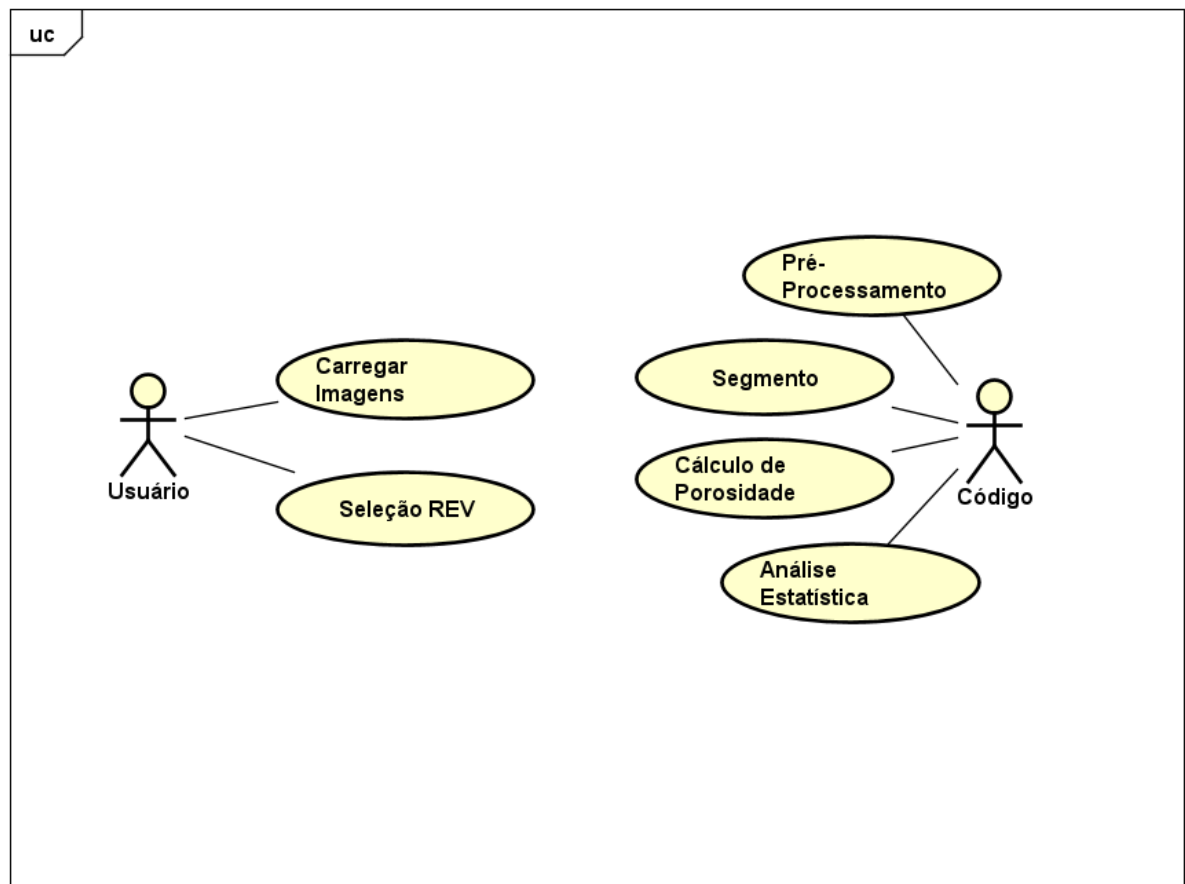


Figura 2.1: Diagrama de caso de uso – Caso de uso geral

# Capítulo 3

## Elaboração

### 3.1 Análise de domínio

- **Engenharia de Petróleo:** Compreensão das propriedades petrofísicas e sua relevância na indústria petrolífera.
- **Microtomografia de Raios X:** Técnica utilizada para a digitalização de amostras rochosas em alta resolução.
- **Análise de Imagens:** Processamento de imagens e algoritmos para identificação de porosidade e sólidos nas amostras.
- **Estatística Aplicada:** Análise estatística para determinação do REV representativo.
- **Modelagem Computacional:** Utilização dos dados obtidos para simulações numéricas em escala de poros.

### 3.2 Formulação teórica

A formulação teórica do PetroRev é fundamental para compreender as propriedades petrofísicas das amostras rochosas, especialmente a porosidade. A equação de porosidade ( $\phi$ ) é a base central para determinar o Volume Elementar Representativo (REV). Esta equação estabelece a relação entre o volume de poros ( $V_{poros}$ ) e o volume total da amostra ( $V_{total}$ ):

$$\phi = \frac{V_{poros}}{V_{total}}$$

Essa equação permite calcular a porosidade em subamostras diferentes, permitindo a identificação do REV mais representativo para análises petrofísicas em escala de poros.

Para chegar à determinação do REV, o PetroRev utiliza algoritmos avançados de segmentação de imagem. Esses algoritmos são essenciais para identificar poros e sólidos,

proporcionando uma representação detalhada e precisa das amostras rochosas digitalizadas por microtomografia de raios X.

Além da porosidade, A análise estatística desempenha um papel crucial na identificação do Volume Elementar Representativo (REV) no PetroRev. Utilizando dados de porosidade e volumes correspondentes em diferentes subamostras, é possível realizar uma análise estatística para determinar o volume que representa de maneira mais precisa as propriedades petrofísicas em uma escala de poros.

A representação gráfica da porosidade em relação ao volume das subamostras é fundamental nesse processo. Por meio de um gráfico que relaciona a porosidade com o volume de cada subamostra, é possível identificar tendências e padrões que ajudam a determinar o ponto em que a variação dos resultados de porosidade diminui consideravelmente. Esse ponto sugere o tamanho do REV, indicando um volume representativo o suficiente para refletir as propriedades petrofísicas em escala de poros.

As interpolações nesse gráfico são essenciais para encontrar um ponto de estabilização na variação da porosidade em relação ao volume. Geralmente, observa-se uma variação significativa da porosidade à medida que o volume das subamostras aumenta. No entanto, em um certo ponto, essa variação tende a se estabilizar. Essa estabilização sugere que o volume atingiu um tamanho estatisticamente representativo para as propriedades de interesse, indicando assim o REV.

A análise estatística desses dados, combinada com as interpolações no gráfico de porosidade em relação ao volume das subamostras, fornece uma abordagem robusta para identificar o REV de maneira estatisticamente significativa.

Esse método de análise estatística, apoiado por gráficos e interpolações, é uma das abordagens-chave no PetroRev para determinar o Volume Elementar Representativo (REV), proporcionando um embasamento estatístico sólido na escolha do volume representativo para simulações e estudos petrofísicos em escala de poros.

### 3.3 Identificação de pacotes – assuntos

No contexto do PetroRev, diversos pacotes são necessários para abordar as diferentes etapas do processamento e análise das amostras rochosas. Aqui estão alguns pacotes essenciais:

- **Bibliotecas de Processamento de Imagens:** Pacotes para manipulação, filtragem e preparação das imagens de microtomografia de raios X antes da análise.
- **Bibliotecas de Visão Computacional:** Ferramentas para identificação e segmentação de poros e sólidos nas imagens.
- **Algoritmos de Segmentação:** Desenvolvimento ou utilização de algoritmos para identificação precisa de áreas porosas e não porosas.

- **Bibliotecas de Análise Numérica:** Utilização de pacotes para cálculos estatísticos e interpolações para análise de porosidade em relação ao volume das subamostras.
- **Ferramentas de Estatística:** Pacotes estatísticos para avaliar tendências e estabilização da porosidade em função do volume.
- **Bibliotecas de Interface Gráfica:** Desenvolvimento de interfaces para visualização de resultados, gráficos de porosidade versus volume e interação com o usuário.
- **Ferramentas de Integração e Gerenciamento de Código:** Utilização de pacotes que facilitem a integração dos diferentes módulos e o gerenciamento do código fonte do software.
- **Bibliotecas de Testes:** Ferramentas para validação dos resultados, testes unitários e integração contínua do software.

Cada um desses pacotes desempenha um papel fundamental no desenvolvimento do PetroRev, desde o processamento inicial das imagens até a análise estatística para determinação do REV. A escolha e uso adequado desses pacotes são essenciais para o desenvolvimento eficiente e preciso do software.

### 3.4 Diagrama de pacotes – assuntos

Neste exemplo, 3.1, o pacote "PetroRev" representa o sistema como um todo e é composto por diferentes módulos ou pacotes que desempenham funções específicas no software. Cada pacote possui suas próprias funcionalidades, como pré-processamento, segmentação, cálculo de porosidade, entre outros.

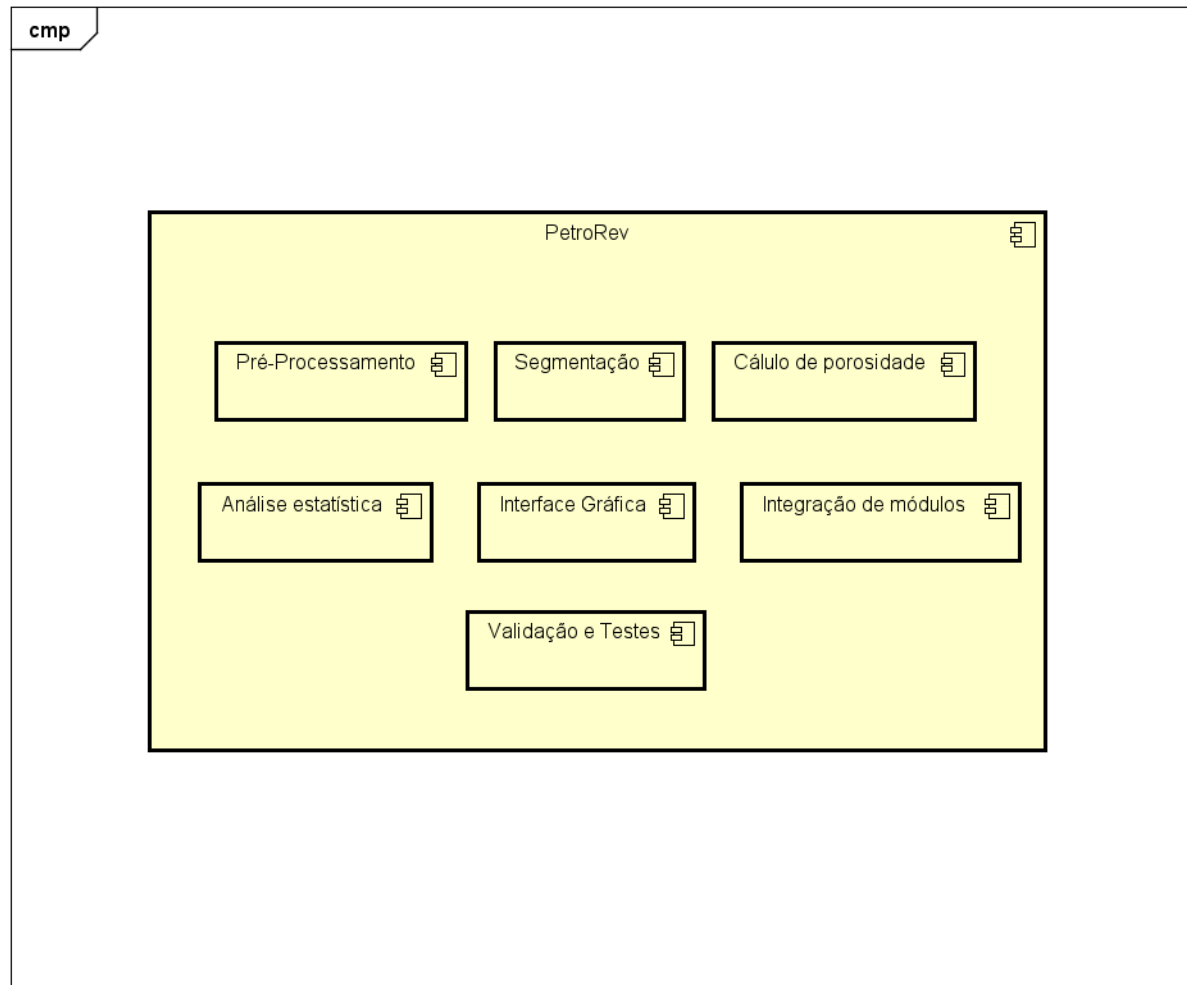


Figura 3.1: Diagrama de Pacotes

**Nota:**

Não perca de vista a visão do todo; do projeto de engenharia como um todo. Cada capítulo, cada seção, cada parágrafo deve se encaixar. Este é um diferencial fundamental do engenheiro em relação ao técnico, a capacidade de desenvolver projetos, de ver o todo e suas diferentes partes, de modelar processos/sistemas/produtos de engenharia.

# Capítulo 4

## AOO – Análise Orientada a Objeto

A terceira etapa do desenvolvimento de um projeto de engenharia, no nosso caso um software aplicado a engenharia de petróleo, é a AOO – Análise Orientada a Objeto. A AOO utiliza algumas regras para identificar os objetos de interesse, as relações entre os pacotes, as classes, os atributos, os métodos, as heranças, as associações, as agregações, as composições e as dependências.

O modelo de análise deve ser conciso, simplificado e deve mostrar o que deve ser feito, não se preocupando como isso será realizado.

O resultado da análise é um conjunto de diagramas que identificam os objetos e seus relacionamentos.

### 4.1 Diagramas de classes

O diagrama de classes é apresentado na Figura 4.1.

Nota:

deve ocupar toda a página impressa! se necessário rotacionar 90 graus; SE NECESSÁRIO DIVIDIR EM 2 PÁGINAS; o importante é que toda figura/tabela deve ser bem legível (fonte mínima = 10).

#### 4.1.1 Dicionário de classes

- Classe Rocha: Representa as propriedades e características da amostra de rocha a ser analisada. Pode conter informações como tipo de rocha, densidade, porosidade inicial, entre outros atributos físicos.
- Classe PreProcessamento: Responsável por preparar as imagens digitais da amostra de rocha para análise. Realiza operações como normalização, redução de ruídos e otimização das imagens de microtomografia para facilitar a segmentação.
- Classe CalculoPorosidade: Realiza os cálculos matemáticos necessários para determinar a porosidade das amostras segmentadas. Utiliza algoritmos específicos para



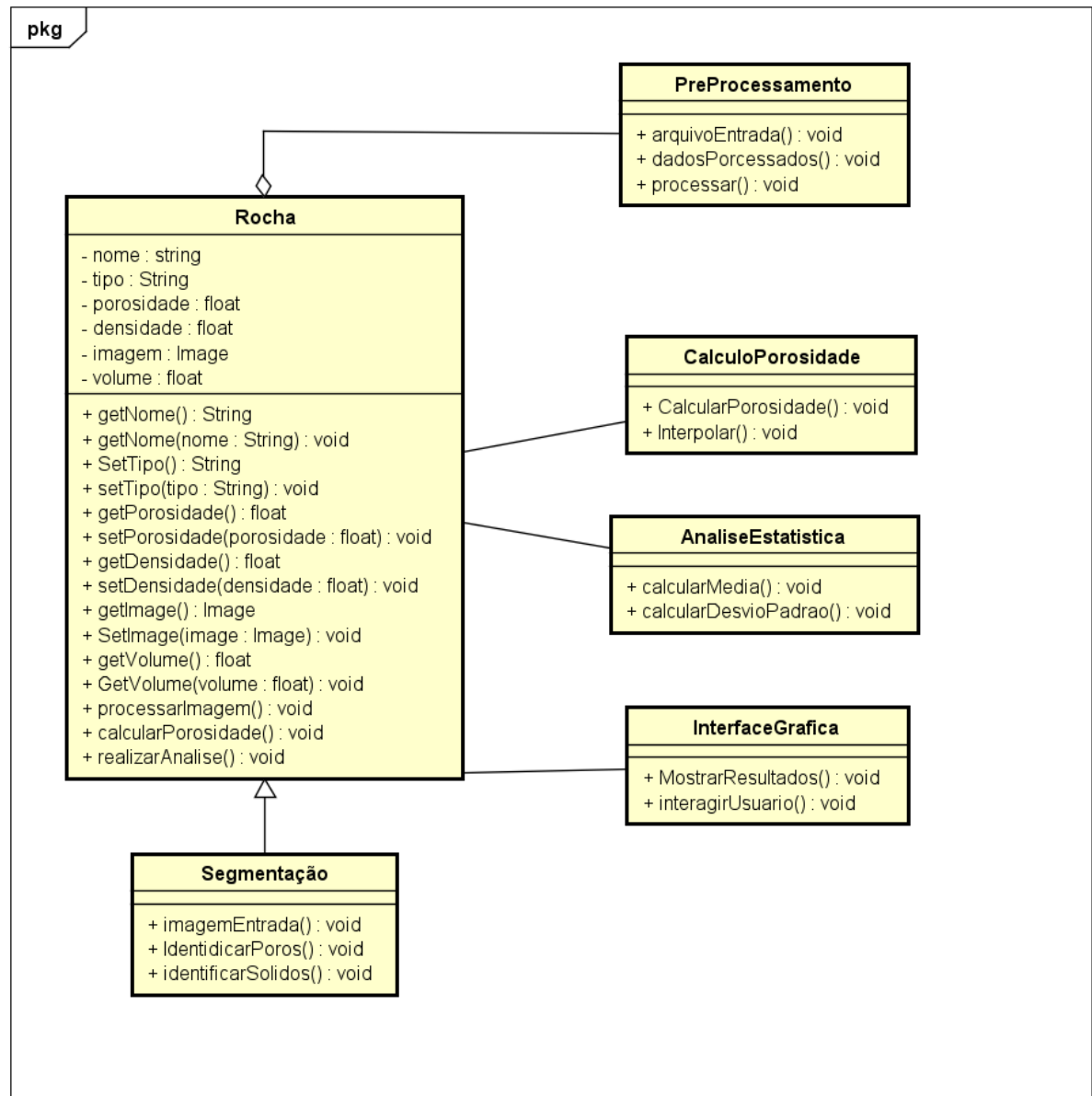


Figura 4.1: Diagrama de classes

calcular a porosidade em cada subamostra identificada.

- Classe `AnaliseEstatistica`: Efetua a análise estatística dos dados de porosidade obtidos, buscando identificar o Volume Elementar Representativo (REV). Realiza comparações estatísticas entre as subamostras para encontrar a representatividade estatística para futuras simulações.
- Classe `InterfaceGrafica`: Oferece uma interação intuitiva entre o usuário e o sistema `PetroRev`. Permite o carregamento de imagens, visualização dos resultados, interação com as funcionalidades do software e a seleção do REV identificado.
- classe `Segmentação`: Implementa algoritmos e métodos para identificar e separar regiões de interesse, como poros e sólidos, nas imagens da amostra de rocha. Divide a amostra em áreas distintas para permitir análises posteriores.

## 4.2 Diagrama de seqüência – eventos e mensagens

O diagrama de seqüência enfatiza a troca de eventos e mensagens e sua ordem temporal. Contém informações sobre o fluxo de controle do software. Costuma ser montado a partir de um diagrama de caso de uso e estabelece o relacionamento dos atores (usuários e sistemas externos) com alguns objetos do sistema.

### 4.2.1 Diagrama de seqüência geral

Veja o diagrama de seqüência na Figura 4.2. Esse diagrama ilustra a interação entre as classes durante um processo simplificado. A interface carrega as imagens, iniciando uma seqüência de eventos que envolvem o pré-processamento, segmentação, cálculo de porosidade, análise estatística e a interação com a classe `Rocha` para obter os dados necessários.

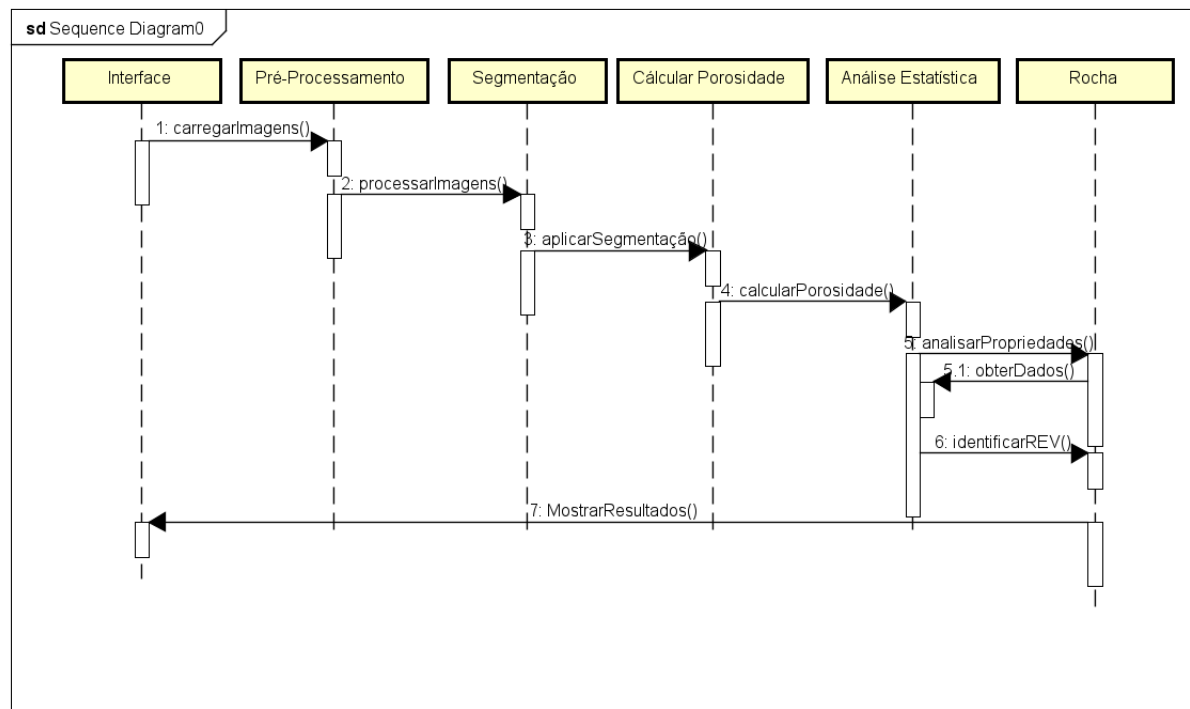


Figura 4.2: Diagrama de seqüência

### 4.3 Diagrama de estado

Um diagrama de máquina de estado representa os diversos estados que o objeto assume e os eventos que ocorrem ao longo de sua vida ou mesmo ao longo de um processo (histórico do objeto). É usado para modelar aspectos dinâmicos do objeto.

Veja na Figura 4.3, este diagrama de estado representa o fluxo de estados durante a etapa de pré-processamento no PetroRev. Começando com o início do pré-processamento após o carregamento das imagens, passando para o estado de processamento em andamento e finalizando com a notificação de conclusão. Caso ocorra algum erro durante o pré-processamento, o sistema transita para o estado de erro, notificando o usuário e sugerindo possíveis alternativas.

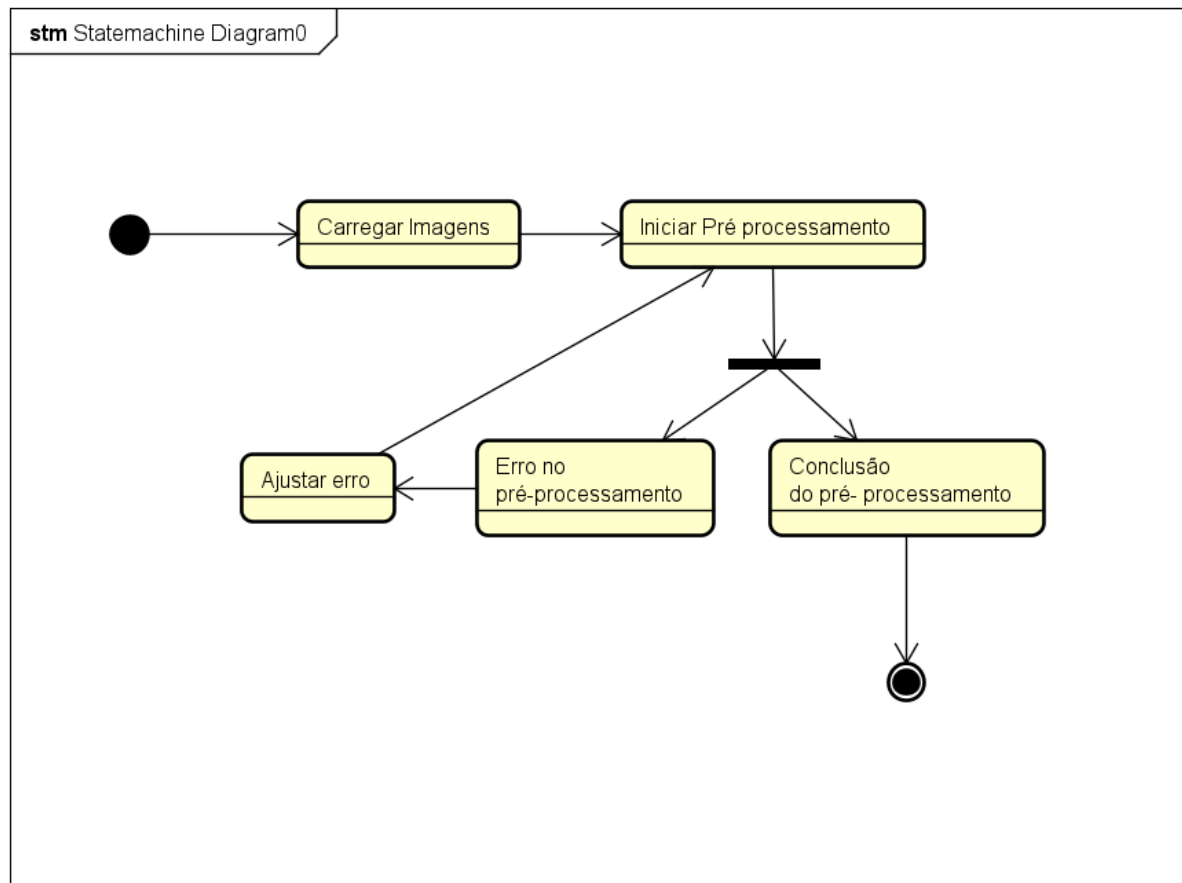


Figura 4.3: Diagrama de máquina de estado

## 4.4 Diagrama de atividades

Veja na Figura 4.4 o diagrama de atividade do PetroRev descreve as diferentes atividades executadas pelo sistema em uma sequência linear. Cada atividade representa uma etapa do processo de análise do REV, desde o carregamento das imagens até a seleção final do volume representativo.

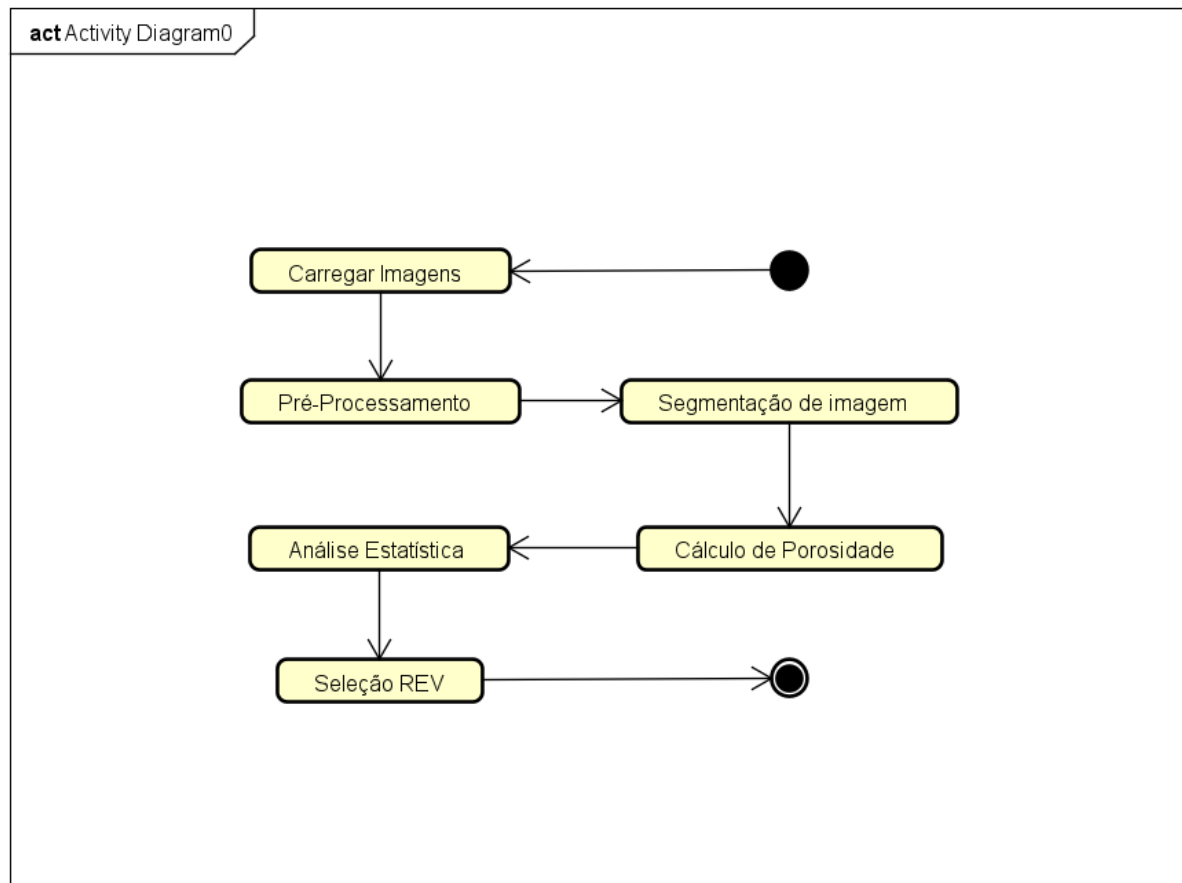


Figura 4.4: Diagrama de atividades

**Nota:**

Não perca de vista a visão do todo; do projeto de engenharia como um todo. Cada capítulo, cada seção, cada parágrafo deve se encaixar. Este é um diferencial fundamental do engenheiro em relação ao técnico, a capacidade de desenvolver projetos, de ver o todo e suas diferentes partes, de modelar processos/sistemas/produtos de engenharia.



## Referências Bibliográficas