

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

1	Introdução	1
1.1	Escopo do problema	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia utilizada	2
2	Concepção	3
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 de áreas representativas:	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	5
2.3.2	Requisitos não funcionais	5
2.4	Casos de uso	5
2.4.1	Diagrama de caso de uso geral	5
3	Elaboração	7
3.1	Análise de domínio	7
3.2	Formulação teórica	8
3.3	Identificação de pacotes – assuntos	9
3.4	Diagrama de pacotes – assuntos	10
4	AOO – Análise Orientada a Objeto	12
4.1	Diagramas de classes	12
4.1.1	Dicionário de classes	12
4.2	Diagrama de seqüência – eventos e mensagens	14
4.2.1	Diagrama de seqüência geral	14
4.3	Diagrama de estado	15
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	13
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

No 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

A determinação das propriedades das rochas reservatório de petróleo tradicionalmente ocorre por meio da análise de amostras cilíndricas em laboratórios de petrofísica ou pela investigação de imagens de rochas obtidas por diferentes escalas de tomografia, como tomografia, microtomografia ou nanotomografia.

No caso específico das rochas do pré-sal, é observada uma notável heterogeneidade na distribuição dos tamanhos de poros, o que torna a identificação do Volume Elementar Representativo (REV) um desafio complexo e crucial para a precisão das simulações. Esse processo demanda extensivos estudos laboratoriais, envolvendo análises minuciosas das propriedades petrofísicas das amostras. Essa abordagem, além de ser morosa, frequentemente acarreta custos elevados, o que limita a agilidade e a eficiência na obtenção dessas propriedades representativas.

Nesse contexto, a utilização de técnicas de análise de imagens emerge como uma alternativa promissora e necessária. A exploração de imagens de rochas obtidas por meio de tomografias oferece a oportunidade de uma avaliação detalhada e tridimensional das características porosas das amostras. Isso permite a análise de uma quantidade substancial de dados, agilizando a identificação do REV e potencialmente reduzindo os custos e o tempo envolvidos nesse processo de determinação das propriedades petrofísicas.

A investigação mais aprofundada dessas técnicas de análise de imagens aplicadas às

rochas do pré-sal pode proporcionar avanços significativos na compreensão e na modelagem dos reservatórios de petróleo, oferecendo uma abordagem mais ágil e precisa na determinação do REV, elemento crucial para simulações realistas e eficazes.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste projeto de engenharia são:

- Objetivo geral:
 - Desenvolver um software capaz de automatizar a determinação do REV em imagens de 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, incluindo a definição das propriedades a serem medidas.
 - 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 e disponibilizada no github, a mesma será complementada pela pesquisa realizada pelo doutorando André Martins e pela Professora Roseane Misságia 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
Componentes principais	Módulos de Pré-processamento, Segmentação, Cálculo de porosidade, Análise Estatística e trabalho com o REV
Missão	A missão do PetroRev é fornecer uma solução eficiente e automatizada para a análise do Volume Elementar Representativo (REV) em amostras petrofísicas. 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 será desenvolvido para atender à demanda por uma análise automatizada do Volume Elementar Representativo (REV) em amostras petrofísicas obtidas por microtomografia de raios X. Este software integrará módulos especializados em pré-processamento, segmentação, cálculo de porosidade, análise estatística e uma interface gráfica intuitiva.

O objetivo futuro é agilizar e otimizar a identificação do REV, atendendo à complexidade das rochas do pré-sal, conhecidas pela variação heterogênea na distribuição dos tamanhos de poros. O PetroRev busca oferecer uma solução eficaz para a indústria petrolífera,

permitindo análises detalhadas das características porosas das amostras, aprimorando as simulações dos reservatórios de petróleo com dados mais precisos e representativos.

Componentes principais:

2.2.1 Módulo de pré-processamento de imagens:

- Carrega e prepara amostras obtidas por microtomografia de raios X, processando as imagens para análise posterior.
- Realiza a padronização de resolução e o aprimoramento de contraste das imagens, preparando-as para o processo de segmentação.

2.2.2 Módulo de segmentação de áreas representativas:

- Desenvolve algoritmos para identificar áreas representativas de poros e sólidos.
- Realiza a segmentação das áreas de interesse, distinguindo entre poros e sólidos na estrutura da amostra..
- Divide a amostra em múltiplas subamostras ao longo dos três eixos.

2.2.3 Módulo de cálculo de porosidade:

- Calcula a porosidade para cada subamostra .

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 do software.

2.3.1 Requisitos funcionais

Apresenta-se a seguir os requisitos funcionais

RF-01	O usuário deve conseguir carregar as imagens das lâminas da amostra.
RF-02	Realizar o pré-processamento das imagens com a aplicação de filtros.
RF-03	Realizar a segmentação das regiões de interesse.
RF-04	Realizar calculos de porosidades como na literatura.
RF-05	Realizar a análise estatística e identificação do REV

2.3.2 Requisitos não funcionais

RNF-01	Suas primeiras versões deve suportar apenas o SO Linux
RNF-02	Permitir plotagem de gráficos para representação de porosidade por volume.
RNF-03	Oferecer ao usuário liberdade de escolher entre diferentes fórmulas na segmentação.
RNF-04	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.

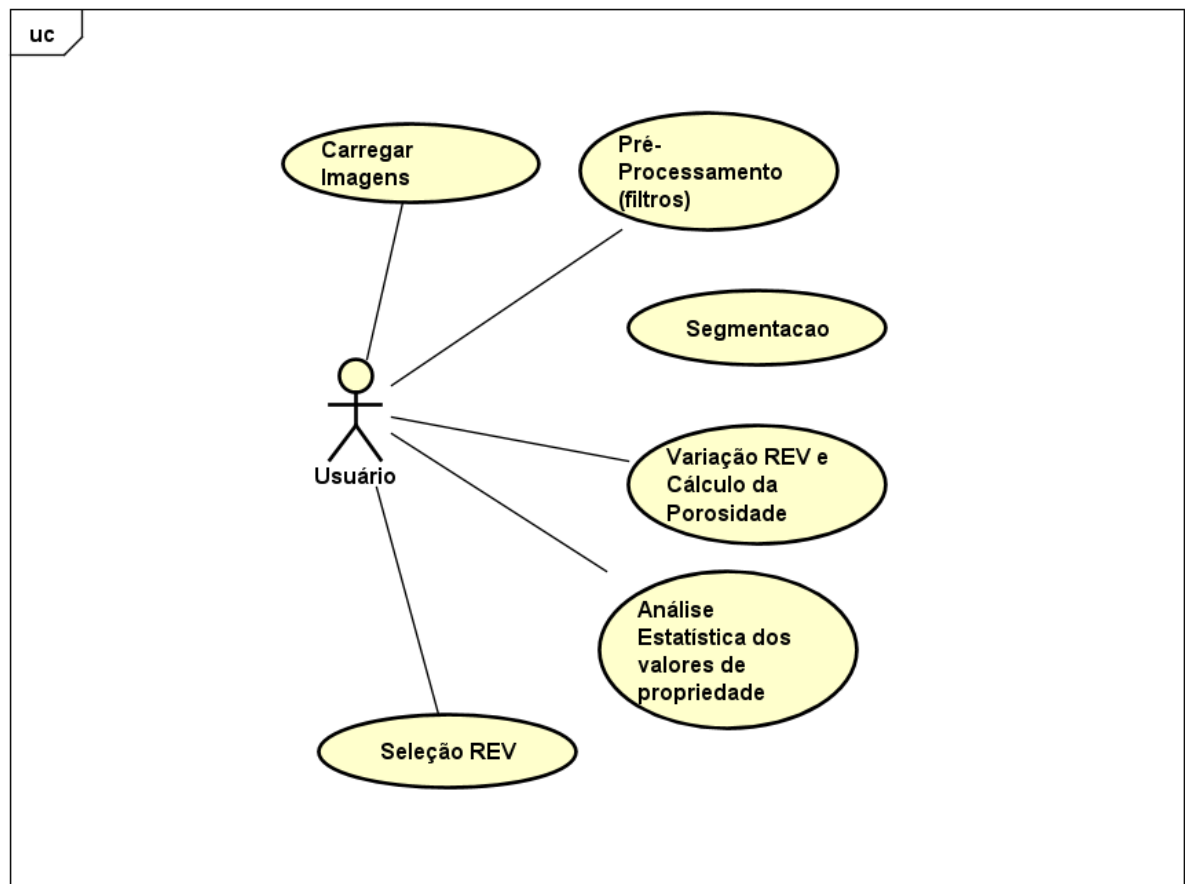


Figura 2.1: Diagrama de caso de uso – Caso de uso geral

Capítulo 3

Elaboração

3.1 Análise de domínio

- **Engenharia de Petróleo/Petrofísica:**

- 1.07.01.01-0 Mineralogia
- 1.07.01.01-0 Petrologia
- Compreensão das propriedades petrofísicas e sua relevância na indústria petrolífera.

- **Microtomografia de Raios X:**

- Técnica utilizada para a digitalização de amostras rochosas 3D em alta resolução.

- **Estatística Aplicada:**

- 1.02.02.00-5 Estatística
- 1.02.02.07-2 Planejamento de Experimentos
- 1.02.02.08-0 Análise de Dados
- 1.02.00.00-2 Probabilidade e Estatística
- Análise estatística para determinação do REV representativo.

- **Modelagem Computacional:**

- 1.03.03.00-6 Metodologia e Técnicas da Computação
- 1.03.03.01-4 Linguagens de Programação
 - * Desenvolvimento de códigos em C++
- 1.03.03.02-2 Engenharia de Software
 - * Modelagem UML do software

- 1.03.03.05-7 Processamento Gráfico (Graphics)
 - * Utilização dos dados obtidos para simulações numéricas em escala de poros.
 - * Processamento de imagens com a aplicação de filtros, métodos de segmentação e métodos de determinação de propriedades geométricas das imagens, por exemplo a porosidade das amostras.
- Desenvolvimento de algoritmo que varia o tamanho do REV e determina a porosidade.

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 (ϕ) 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}):

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

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:

- **Biblioteca de Processamento de Imagens:**

- Pacotes para manipulação, filtragem e preparação das imagens de microtomografia de raios X antes da análise.

- **Biblioteca de Visão Computacional:**

- Ferramentas para identificação e segmentação de poros e sólidos nas imagens.

- **Biblioteca de Segmentação:**

- Utilização de algoritmos para segmentação das imagens

- **Ferramentas de Estatística:**

- Pacotes estatísticos para avaliar tendências e estabilização da porosidade em função do volume.
- Utilização de pacotes para cálculos estatísticos e interpolações para análise de porosidade em relação ao volume das subamostras.

- **Interface Gráfica:**

- Desenvolvimento de interfaces para visualização de resultados, gráficos de porosidade versus volume e interação com o usuário.

- **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.

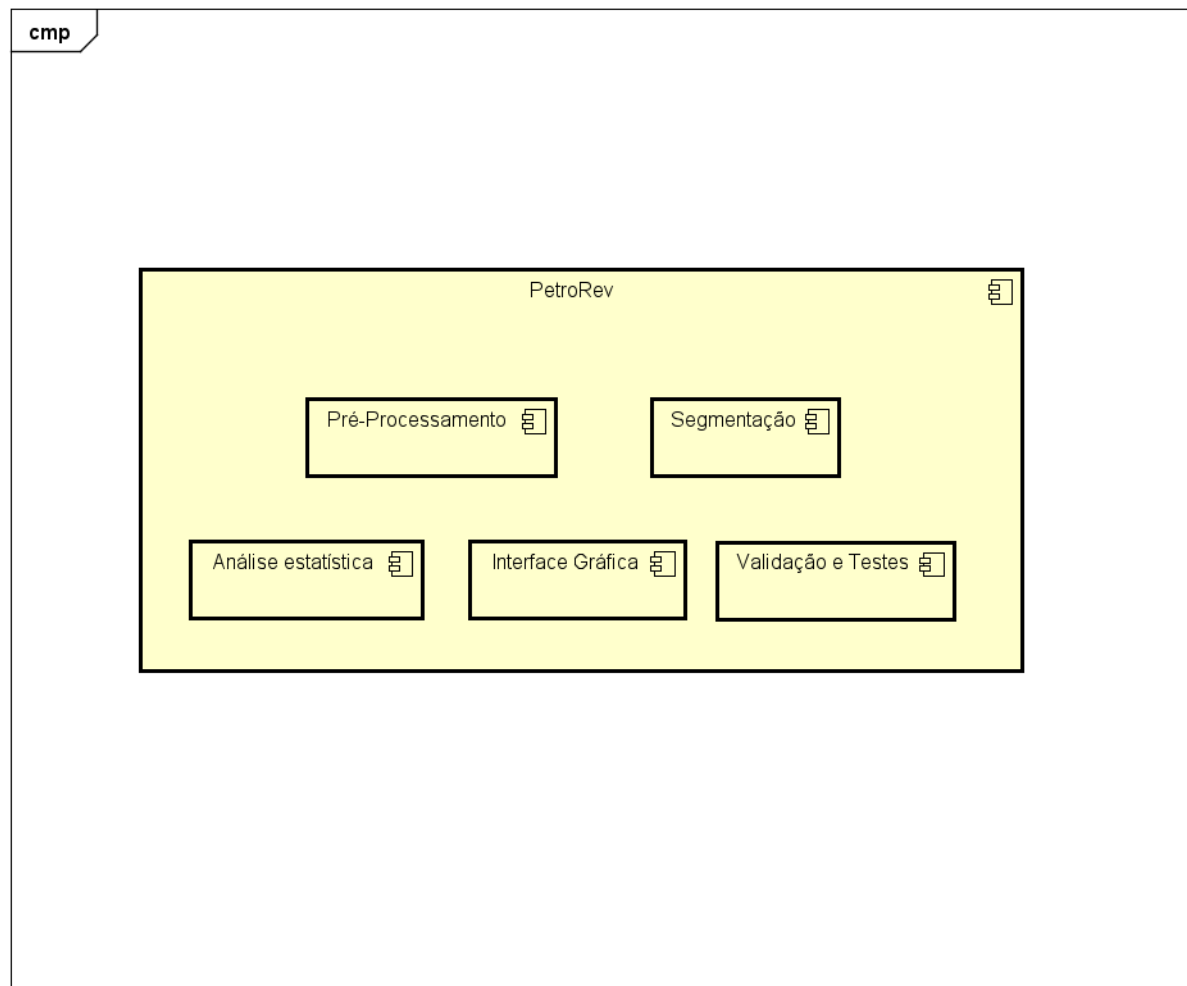


Figura 3.1: Diagrama de Pacotes

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 CImagemRocha: Representa as propriedades e características da imagem da lâmina de rocha a ser analisada.
- 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 CBinarização: Encarregada de executar os cálculos matemáticos essenciais para avaliar a porosidade das amostras segmentadas, empregando algoritmos específicos para determinar a porosidade em cada subamostra identificada.

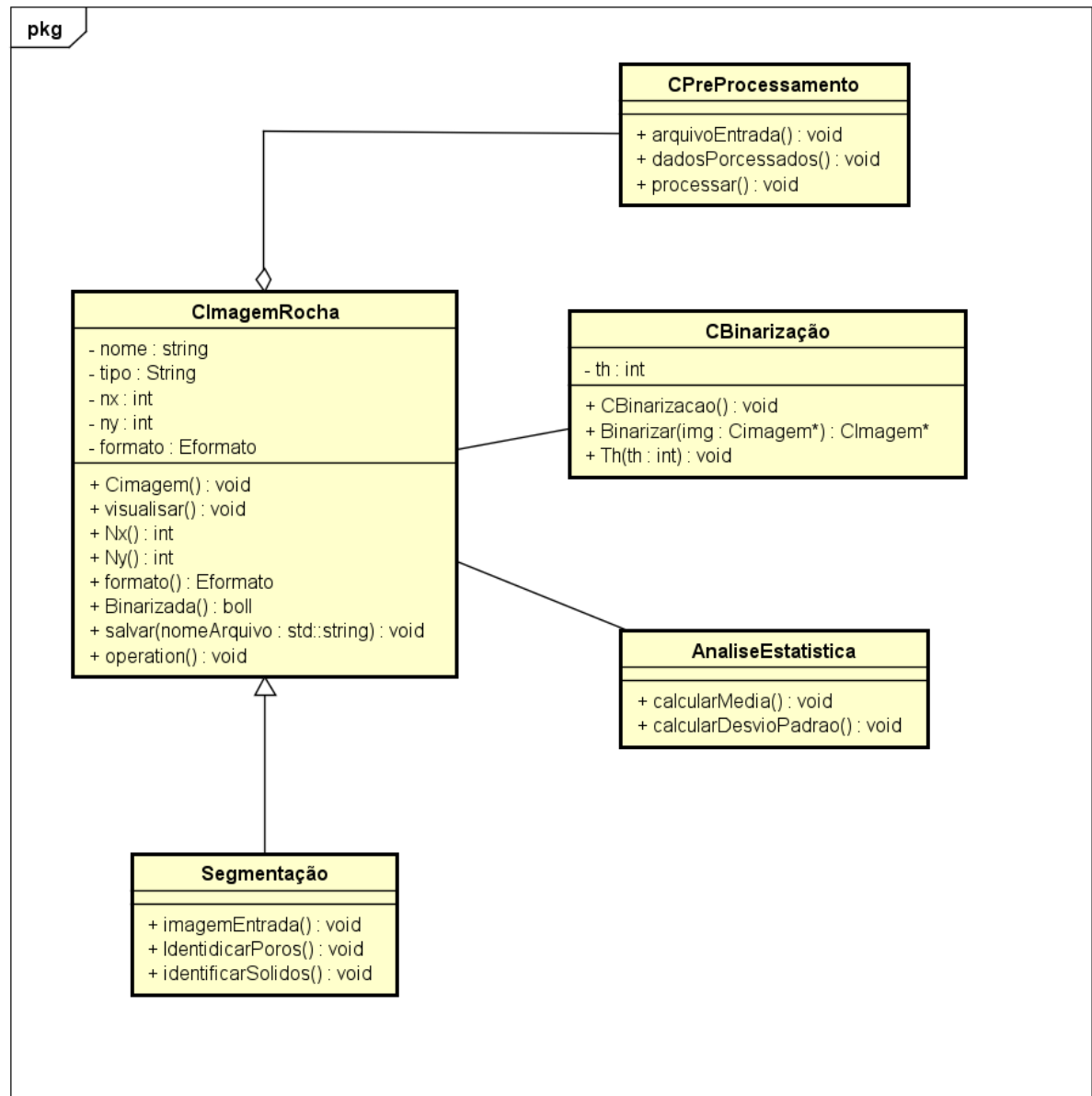


Figura 4.1: Diagrama de classes

- 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 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 sequência – eventos e mensagens

O diagrama de sequência 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 sequência geral

Veja o diagrama de sequência na Figura 4.2. Esse diagrama ilustra a interação entre as classes durante um processo simplificado. A interface carrega as imagens, iniciando uma sequência 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.

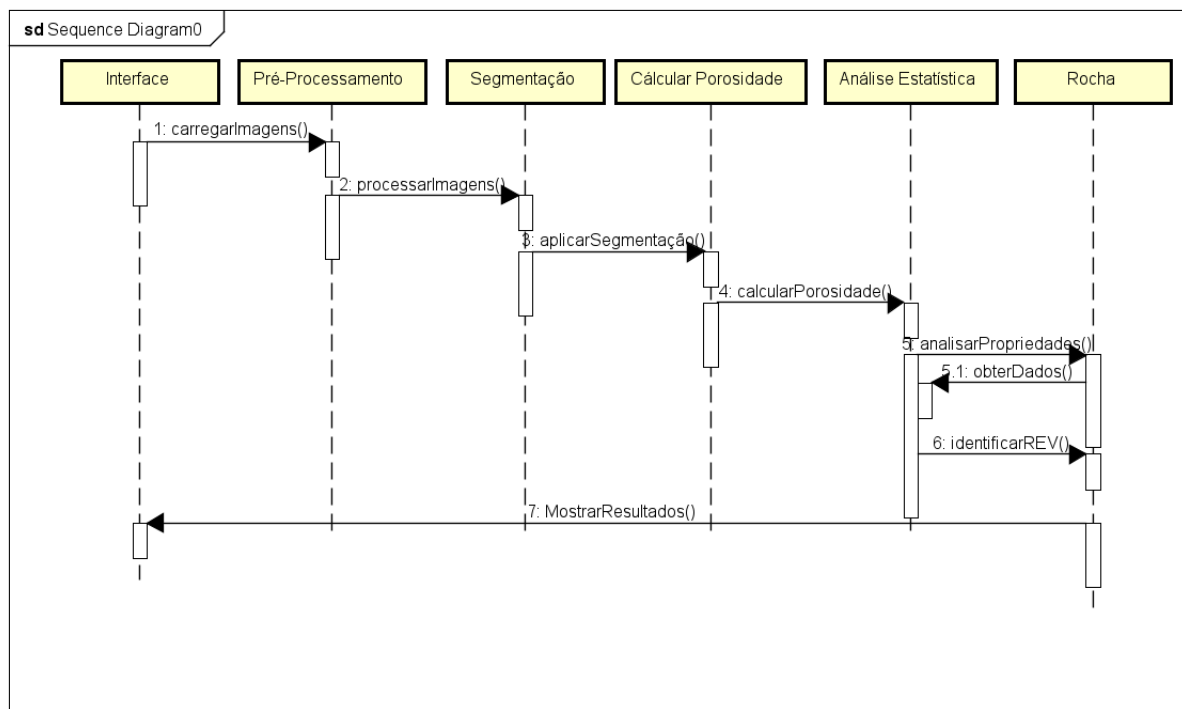


Figura 4.2: Diagrama de sequência

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.

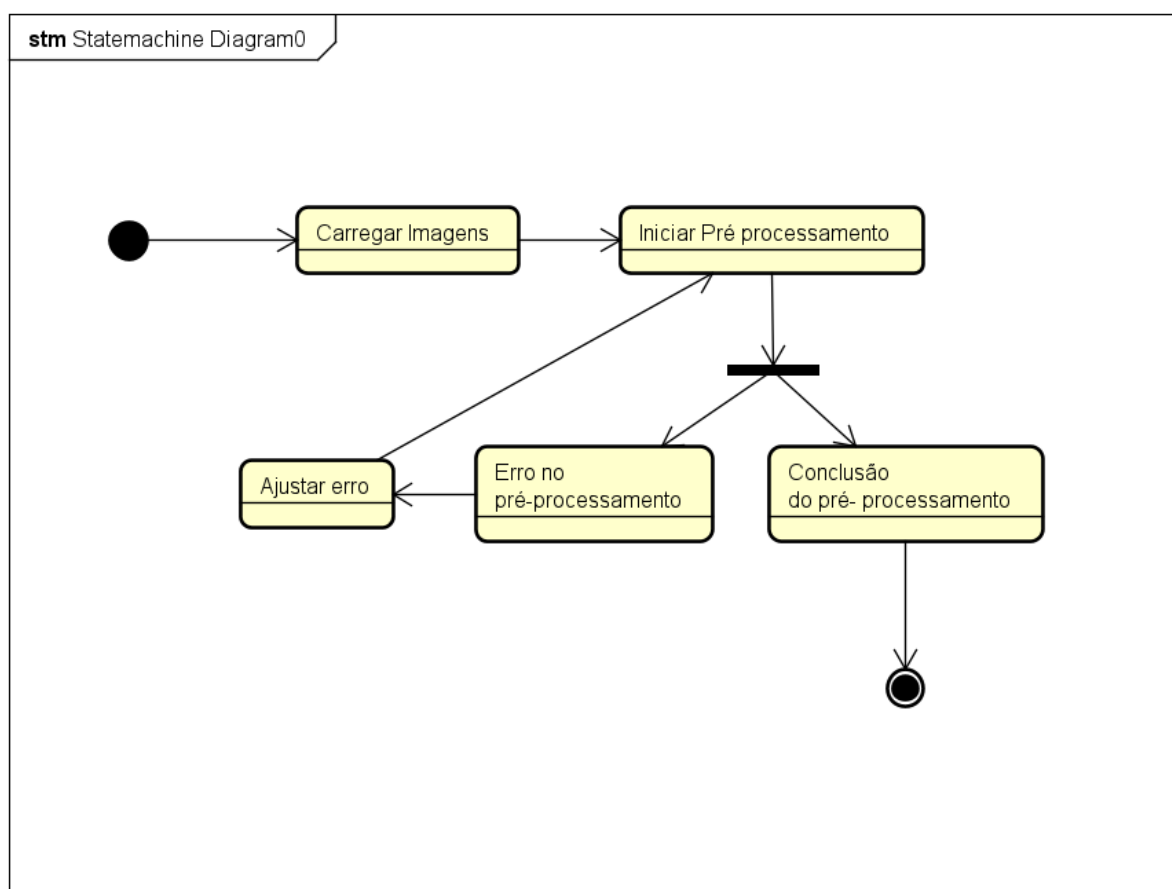


Figura 4.3: Diagrama de máquina de estado

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.

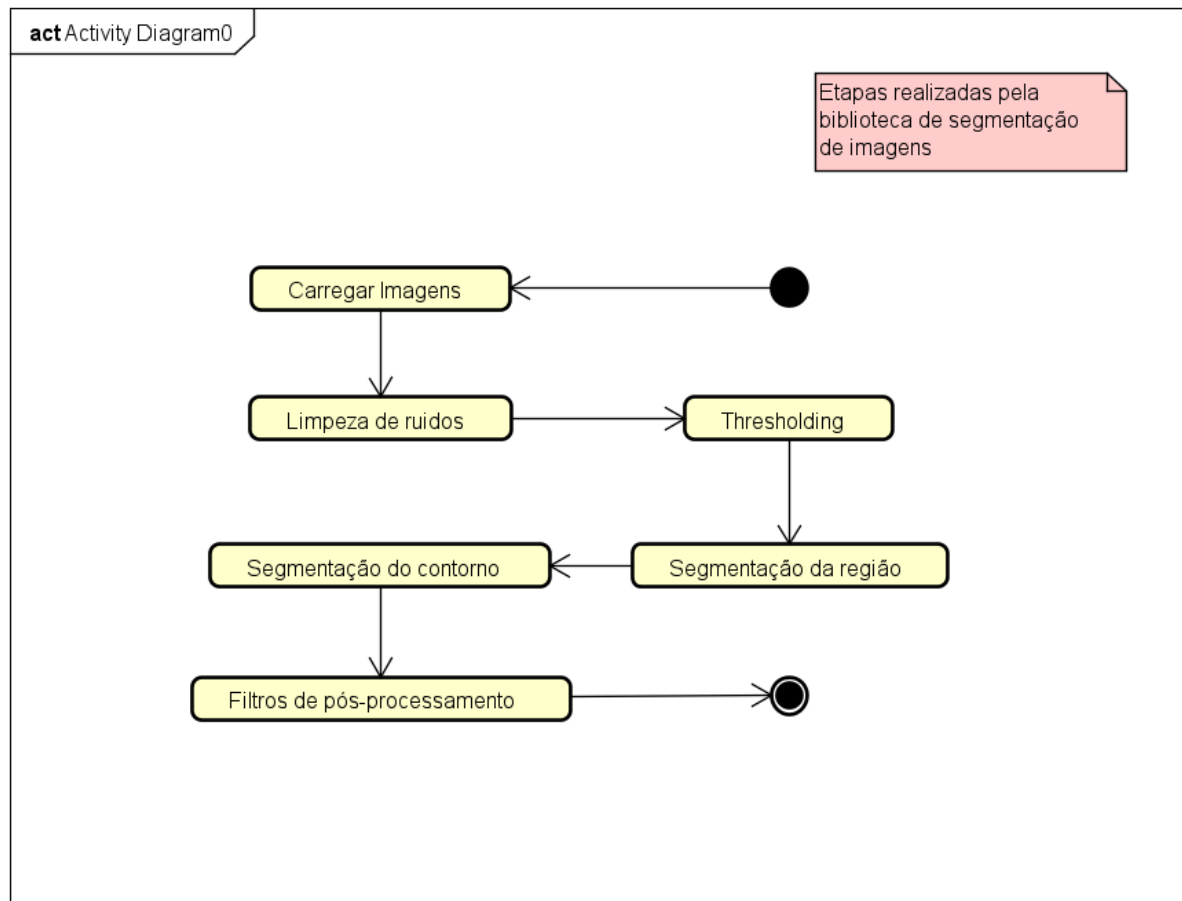


Figura 4.4: Diagrama de atividades

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.

