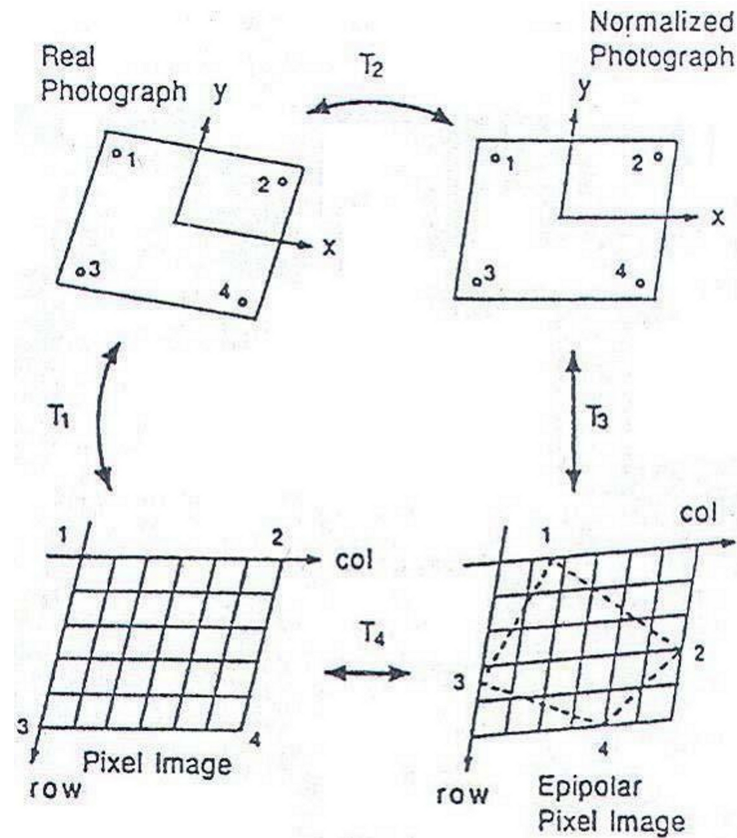


Figura 32 - Relação entre fotografia e imagem digitalizada



Fonte: (SCHENK; CHO, 1992)

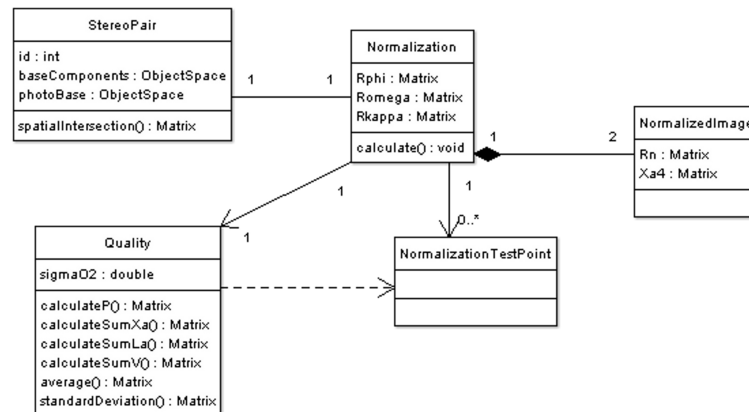
algoritmo de busca automática pelo homólogo (BRITO; COELHO, 2002b) mais eficiente, posto que diminui o tamanho da janela de procura do ponto homólogo.

A EFDE utiliza o método de normalização proposto por Schenk e Cho (1992). Os detalhes e as equações das respectivas transformações podem ser encontrados em Sokal et al. (2007).

A Figura 32 demonstra como utilizar os parâmetros calculados para montar as novas imagens digitais normalizadas. Para a obtenção de cada imagem normalizada são empregadas quatro transformações:  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  e  $T_4$ .  $T_1$  corresponde à transformação entre imagem digital e a analógica.  $T_2$  realiza a normalização da imagem analógica, ou seja, retificação aliada à eliminação dos componentes de base.  $T_3$  corresponde à definição do sistema de coordenadas que será utilizado na construção da imagem normalizada. Finalmente,  $T_4$  corresponde à transformação entre a imagem epipolar vazia e a imagem digital original, utilizada na reamostragem dos níveis de cinza. Esta etapa é equivalente à combinação das etapas  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$ .

A Figura 33 apresenta uma versão preliminar da modelagem conceitual da normalização. Conforme pode ser observado, a classe *Normalization*, que representa a nor-

Figura 33 - Classes da normalização



Fonte: O autor.

malização, está relacionada à classe *StereoPair*, que representa o par-estéreo. As responsabilidades do processo de normalização são divididas entre as classes *Normalization* e *NormalizedImage* (Imagem normalizada). A primeira se encarrega da eliminação dos componentes de base, enquanto a segunda combina a retificação à eliminação dos componentes de base a fim de gerar a imagem normalizada. Pode-se observar também a existência da classe *Quality* (Qualidade), que, com base em pontos de teste, representados pela classe *NormalizationTestPoint* (Pontos de Teste da Normalização), realiza a verificação da qualidade da normalização.

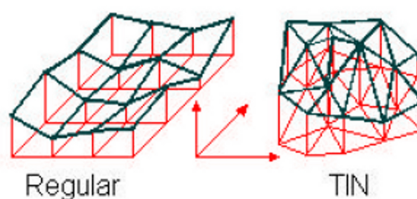
### 2.3.8 Extração do MNE

A partir desta etapa começam os produtos gerados pelo processo fotogramétrico. O primeiro a ser apresentado é a extração do Modelo Numérico de Elevações (MNE). De acordo com Brito e Coelho (2002b), MNE é a especialização dos Modelos Digital de Superfícies quando esse exprime altitudes. O MNE é um produto que nos fornece uma representação da superfície da Terra sem os recursos artificiais e vegetação.

A extração do MNE, na EFDE, será feita inicialmente de forma semi-automática, isto é, a uma parcela realizada automaticamente pelo computador e outra realizada pelo operador. As versões futuras incorporarão métodos automáticos que ora vêm sendo pesquisados (COELHO et al., 2008).

Para realizar a extração do MNE, deve-se criar uma malha de pontos, identificando os pontos homólogos em outras imagens, reforçando a importância da normalização para a o aumento do grau de automação neste processo. Após a criação da malha, realiza-se a interseção espacial em cada ponto, que fornece o valor da altitude.

Figura 34 - Tipos de malha de MDS



Fonte: (BRITO; COELHO, 2002b)

Existem, basicamente, duas formas para essa malha: regular e TIN<sup>21</sup>. A Figura 34 demonstra esses dois tipos.

Para realizar a extração do MNE, deve-se criar uma malha de pontos, identificando os pontos homólogos em outras imagens. Sendo assim, para o processo automático de busca de pontos homólogos e criação dessa malha, o processo de normalização se torna indispensável na medida que diminui bastante a complexidade desse algoritmo (BRITO; COELHO, 2002b).

Após a criação da malha, realiza-se a interseção espacial em cada ponto, obtendo o valor da altitude.

O modelo de classes para a extração do MNE apresenta as particularidades descritas acima. Observa-se na Figura 35 que a classe que representa o MNE (classe "DEM") é uma especialização da classe que representa o Modelo Digital do Terreno, *DTM*. Outra particularidade descrita no modelo é a hierarquia dos tipos de grade utilizados para a extração.

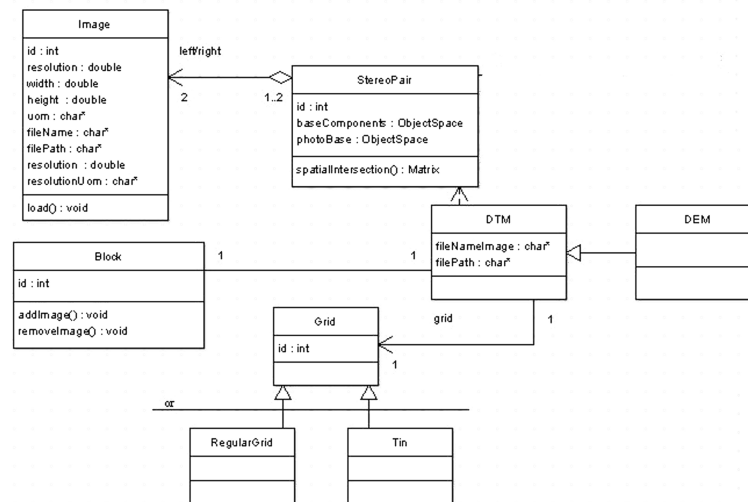
### 2.3.9 Ortorretificação

Outro importante produto do processo fotogramétrico advém do processo de ortorretificação do bloco de imagens, isto é, a alteração da perspectiva central para uma perspectiva ortogonal.

Durante a aquisição das imagens por câmaras fotogramétricas, todos os raios luminosos passam por um único ponto, denominado centro de perspectiva, localizado no sistema óptico da câmara (BRITO; COELHO, 2002b). Essa aquisição possui diversos inconvenientes para a realização de medições precisas, uma vez que possui erros devido

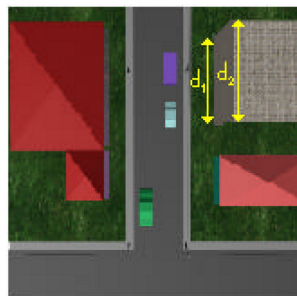
<sup>21</sup> TIN é um acrônimo para Triangular Irregular Network, que traduzindo significa rede triangular irregular

Figura 35 - Modelagem da extração do MNE



Fonte: O autor.

Figura 36 - Imagem em perspectiva central apresentando o deslocamento devido ao relevo (imagem dos prédios à direita da figura)



Fonte: (BRITO; COELHO, 2002b)

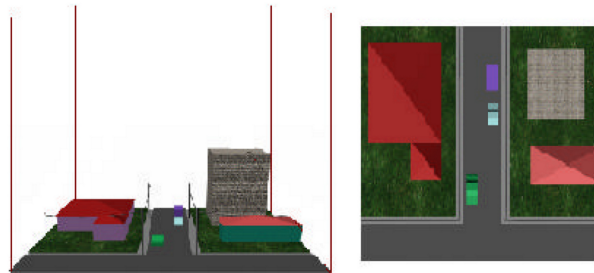
aos ângulos de atitude da câmara e deslocamento devido ao relevo (BRITO; COELHO, 2002b).

Observa-se na Figura 36 que as distâncias entre os lados do edifício da base e do topo aparecem, na perspectiva central, com tamanhos diferentes. Entretanto, na realidade, essas possuem tamanhos idênticos.

Por outro lado, a perspectiva ortogonal, criada artificialmente, apresenta os raios luminosos paralelos, não apresentando os problemas devido ao relevo. A Figura 37 demonstra uma imagem em projeção ortogonal, sem o problema causado pela perspectiva central.

A alteração do bloco de imagens em perspectiva central para ortogonal se faz através de uma transformação matemática que realiza, de uma única vez, procedimentos para corrigir os ângulos de atitude da câmara (processo conhecido como retificação) e o

Figura 37 - Imagem em perspectiva ortogonal, onde é eliminado o deslocamento devido ao relevo



Fonte: (BRITO; COELHO, 2002b)

problema de deslocamento devido ao relevo. No projeto da EFDE, utiliza-se o método denominado Retificação Diferencial (BRITO; COELHO, 2002b).

Conforme pode ser observado na Figura 39, o método de retificação diferencial define uma matriz vazia, denominada orto-matriz, e vai preenchendo-a com o nível de cinza correspondente.

A Figura 40 apresenta as etapas da retificação diferencial e suas respectivas descrições.

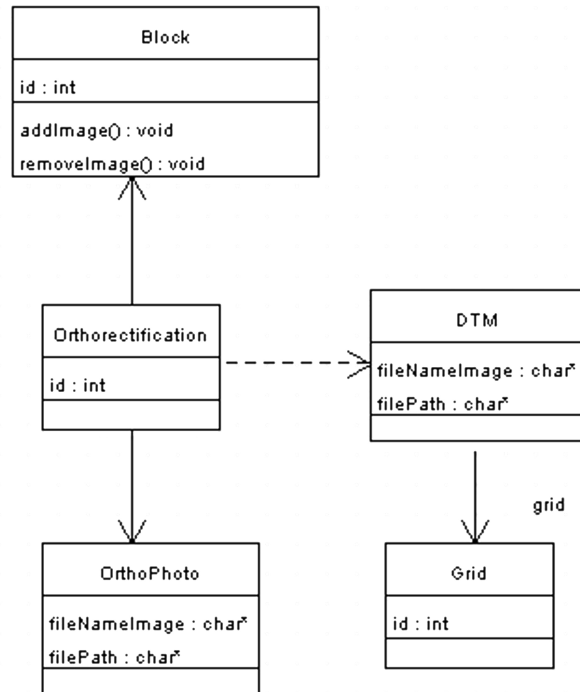
### 2.3.10 Restituição Digital

A restituição digital é definida em Brito e Coelho (2002b): "(...)A restituição objetiva a interpretação das diversas feições manifestas no terreno, extraíndo-as geograficamente referenciadas (coordenadas no espaço-objeto), de modo a compor a base cartográfica daquela região, em uma dada escala.". Neste processo, as diversas feições identificadas no terreno, são incluídas num cadastro de feições geograficamente referenciadas.

A Figura 41 exhibe a modelagem utilizada para representar as feições na EFDE, onde uma feição é um conjunto de *FeaturePoint*, *line* e *polygon*.

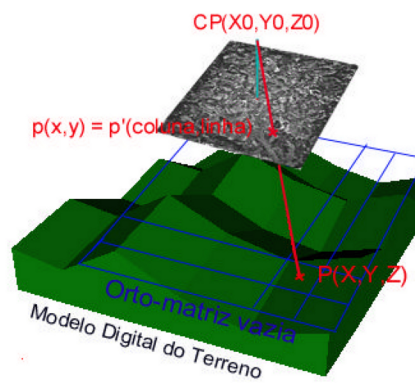
O presente capítulo apresentou, do ponto de vista da orientação a objetos, os principais conceitos da fotogrametria digital. O próximo capítulo aborda os projetos da EFDE.

Figura 38 - Modelagem da ortorretificação



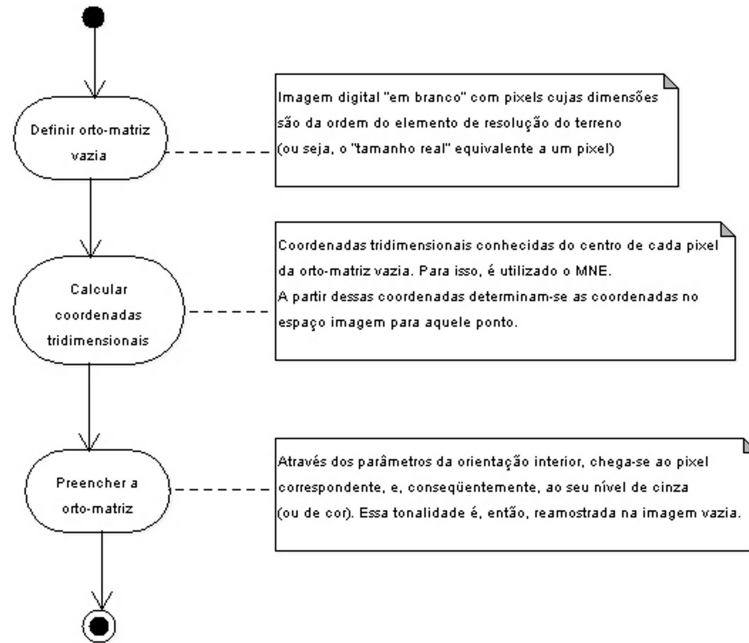
Fonte: O autor.

Figura 39 - Retificação diferencial - processo



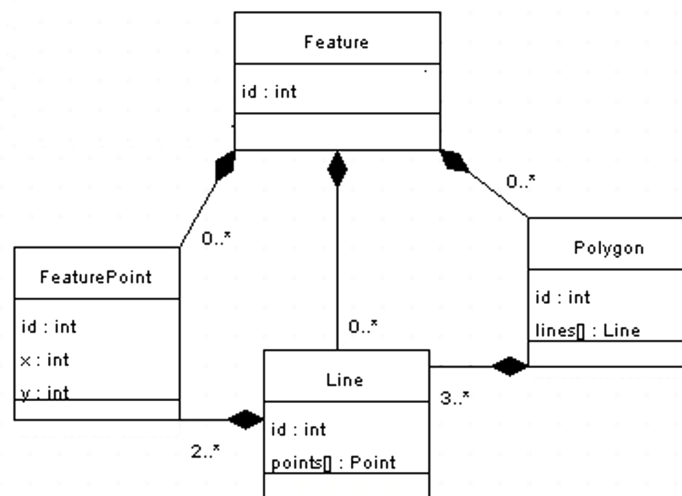
Fonte: (BRITO; COELHO, 2002b)

Figura 40 - Fluxo do método da Retificação diferencial



Fonte: O autor.

Figura 41 - Modelagem das classes da restituição digital



Fonte: O autor.

### 3 PROJETOS DA EFDE

Neste capítulo são descritos os procedimentos realizados para a modelagem conceitual da EFDE. Baseando-se no capítulo 1, foram montadas as bases conceituais para a implementação orientada a objetos da estação.

Este capítulo revela uma estação fotogramétrica digital sob a ótica da Engenharia de Software, permitindo o livre acesso ao conhecimento explícito e tácito a cerca dos fundamentos conceituais da fotogrametria. Em virtude da ferramenta utilizada, a UML, ser fortemente tipificada por gráficos e semântica, espera-se que os diagramas apresentados sejam de fácil compreensão.

Procurou-se agregar os diversos conceitos da literatura atual sobre fotogrametria e espelhá-los em linguagem natural para facilitar a sua assimilação. Isso foi realizado através das especificações dos requisitos elicitados. Tais requisitos em conjunto com os diagramas formam uma análise conceitual consistente da EFDE.

Serão apresentados três modelos conceituais baseados em orientação a objetos: modelo UML, modelo baseado no paradigma da orientação a aspectos e o modelo UML com a utilização de Padrões de Projeto.

As duas próximas seções farão uma pequena introdução à Engenharia de Requisitos para que se possa compreender os passos necessários para a modelagem conceitual da EFDE.

#### 3.1 Requisitos da EFDE

Todo sistema de informação possui um conjunto de características, descritas através de dados e funcionalidades, que permitirão atingir seu objetivo principal. A modelagem de um sistema de informação, visando sua informatização, necessita, obrigatoriamente, conhecer profundamente tais informações e funcionalidades. A Engenharia de Software proporciona métodos e ferramentas para que o analista consiga extrair tais informações de seus usuários.

Durante o processo de obtenção dos requisitos da EFDE, foi utilizado um conjunto de boas práticas apresentadas por Wiegers (1999) formadas por: elicitar, analisar, documentar e validar. A fase de elicitação é onde se obtém, através de entrevistas, dos usuários os requisitos necessários ao sistema. Após isso, é feita uma análise, detalhando a compreensão dos requisitos transmitidos. Após compreendidos e analisados, os requisitos precisam ser documentados em linguagem natural ou outra ferramenta. No caso específico da EFDE, foi utilizada a UML para documentar. A última etapa é a validação, onde os requisitos compreendidos são colocados em contra-prova novamente com os usuários, vi-



Tabela 2 - Diferentes Níveis de Descrição dos Requisitos

Níveis	Descrição
Requisitos do usuário	Declarações, em linguagem natural e também em diagramas, sobre as funções e as restrições do sistema
Requisitos de sistema	Detalham as funções e restrições do sistema e também é conhecido por Especificação funcional
Especificação de projeto de software	Descrição abstrata do projeto de software que servirá como base para o projeto e a implementação mais detalhados.

sando liquidar dúvidas ou compreensões falhas.

Para Sommerville (2005) os requisitos possuem diferentes níveis de detalhamento, separando-os de acordo com maior ou menor abstração e detalhamento da informação. A tabela 2 mostra a classificação dada pelo autor citado.

Além dessa classificação, Sommerville (2005) ainda separa os requisitos em:

- Requisitos funcionais: “(...) declarações de funções que o sistema deve fornecer (...)”.
- Requisitos não funcionais: “(...) restrições sobre os serviços ou as funções oferecidos pelo sistema (...)”.
- Requisitos de domínio: “(...) se originam do domínio da aplicação do sistema (...)”.

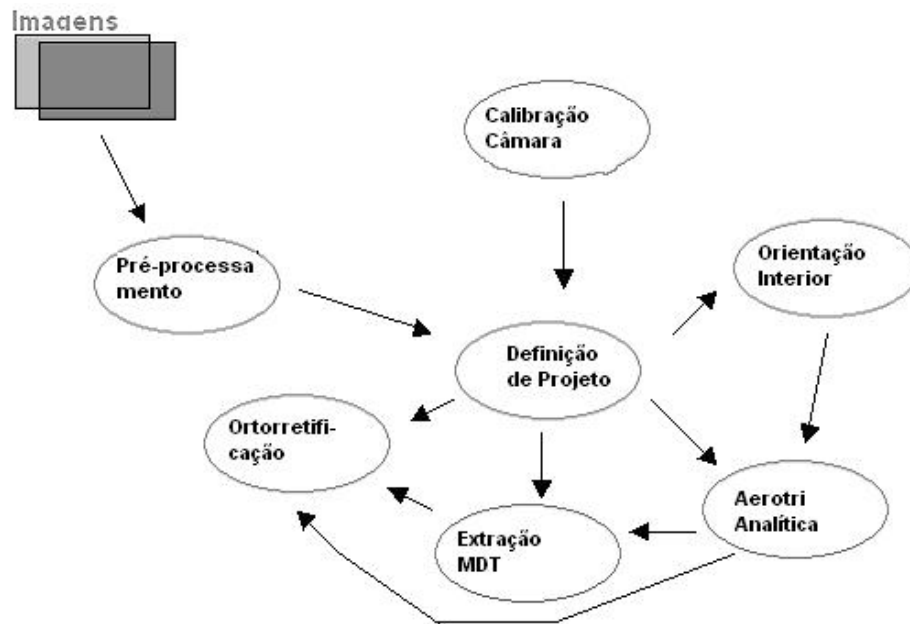
O processo de obtenção dos requisitos da EFDE partiu do trabalho que originou o Projeto E-FOTO (BRITO; COELHO, 2002a), buscando todas as informações relevantes para a implementação da estação. De certo, a fotogrametria apresenta processos bem documentados e segmentados, facilitando o trabalho de elicitação dos requisitos. A Figura 42 mostra um diagrama que foi utilizado como base para o levantamento dos requisitos.

Além desse diagrama e de entrevistas com os envolvidos no projeto E-FOTO, valeu-se também a estrutura sugerida pelo E-Book (BRITO; COELHO, 2002a), composta por: orientação interior, correlação de imagem, orientação exterior, fototriangulação, retificação e normalização de imagem, extração automática do DTM, ortorretificação e restituição digital. Com base nisso, os requisitos foram classificados de acordo com a definição de Sommerville (2005) e são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos da EFDE

Requisito	Classificação
Criar Projeto	Funcional
Cadastrar Pontos	Funcional
Carregar imagens	Funcional
Calcular orientação interior	Domínio Funcional
Medir qualidade da OI	Domínio Funcional
Calcular orientação exterior	Domínio Funcional
Medir qualidade da OE	Domínio Funcional
Montar o modelo digital do terreno	Domínio Funcional
Medir qualidade do MDT	Domínio Funcional
Montar o modelo ortorretificado	Domínio Funcional
Medir qualidade da ortorretificação	Domínio Funcional
Montar o modelo tridimensional	Domínio Funcional
Adicionar Feições	Funcional
Restituir Feições	Domínio Funcional
Normalizar imagens	Domínio Funcional
Desenvolvimento em módulos	Não funcional
Módulo <i>Controller</i>	Não funcional
Desenvolvimento com missão educacional	Não funcional
Desenvolvimento em software livre	Não Funcional
Desenvolvimento com Qt	Não funcional
Aplicativo para Linux e Windows	Não funcional
Desenvolvimento orientado a objetos	Não funcional
Desenvolvimento colaborativo	Não funcional
Dados do projeto armazenados em arquivo	Não funcional

Figura 42 - Diagrama inicial do E-FOTO



Fonte: (BRITO; COELHO, 2003)

Além dessa classificação, se faz necessário o completo entendimento dos processos fotogramétricos, elicitando-os, em linguagem natural e, posteriormente, traduzindo-os em diagramas da UML. Na seção seguinte encontram-se alguns dos requisitos elicitados. No **Apêndice A** encontram-se todos os demais requisitos apresentados na tabela 3.

### 3.2 Modelo de Casos de Uso

Os requisitos, uma vez identificados e analisados, precisam ser documentados. Para isso, utiliza-se a metodologia UML que prevê, para esses casos, o uso do diagrama de casos de uso. O diagrama preliminar partia basicamente da estrutura inicial do projeto E-FOTO e, com base nesse diagrama inicial, foi realizada uma análise mais detalhada de cada caso de uso, modelando suas classes e verificando as interações entre elas, através dos modelos de classe e sequência, respectivamente. Diversas iterações foram realizadas durante a fase de validação da Engenharia de Requisitos, até que o modelo final estivesse pronto. A Figura 43 mostra o diagrama de caso de uso final em sua versão geral. No **Apêndice B** são detalhados todos os diagramas de caso de uso do projeto E-FOTO. A seguir são apresentadas as principais características desse diagrama.

Figura 43 - Diagrama de caso de uso da EFDE



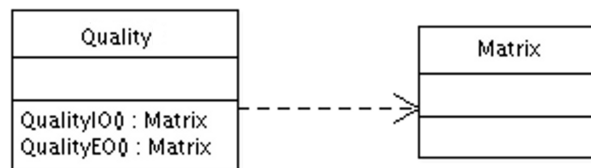
Fonte: O autor.

Figura 44 - Diagrama de componentes da interface com o arquivo XML



Fonte: O autor.

Figura 45 - Modelo de classes preliminar da medição de qualidade



Fonte: O autor.

### 3.2.1 Casos de uso com esteriótipo *include*

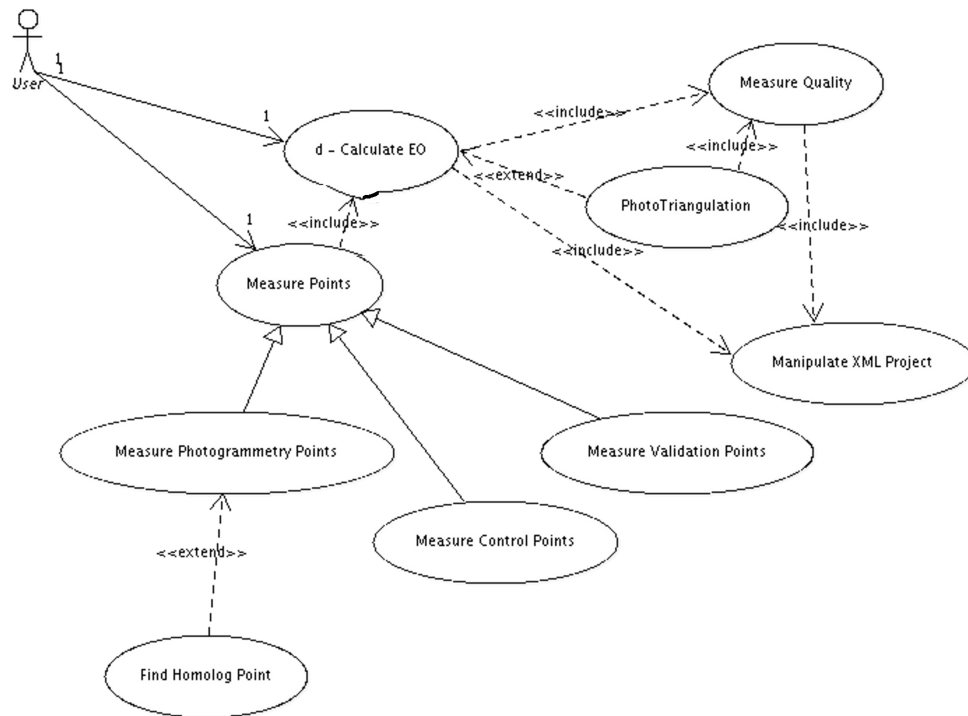
Foram identificados dois casos de uso que são utilizados por todos os demais e, por isso, foram adicionados ao diagrama através do esteriótipo **include**: *Manipulate XML Project* (Manipular XML do Projeto) e *Measure Quality* (Medir Qualidade). O primeiro realiza as operações necessárias para salvar e recuperar as informações do projeto que são armazenadas em disco em um arquivo no formato XML, conforme apresenta a Figura 44.

O segundo caso de uso representa os algoritmos estatísticos que são executados para o cálculo da qualidade das diversas operações da fotogrametria. A Figura 45 mostra uma modelagem conceitual preliminar do modelo de classes para esse caso de uso.

### 3.2.2 Caso de uso da Orientação Exterior

O caso de uso *Calculate EO* (Calcular Orientação Exterior) é utilizado para o cálculo da orientação exterior do processo fotogramétrico, realizado conforme descrito na seção 2.3.6. De acordo com Brito e Coelho (2002a), o cálculo da orientação exterior pode ser realizado através de ajustamentos envolvendo equações de colinearidade ou através de fototriangulação por ajustamento de feixes respectivos. Sendo assim, o caso de uso do cálculo da orientação exterior possui um relacionamento do tipo **extend** com o caso de uso *Phototriangulation* (Fototriangulação), indicando que essa operação pode também ser realizada para o cálculo da orientação exterior (Figura 46).

Figura 46 - Modelo de caso de uso para orientação exterior



Fonte: O autor.

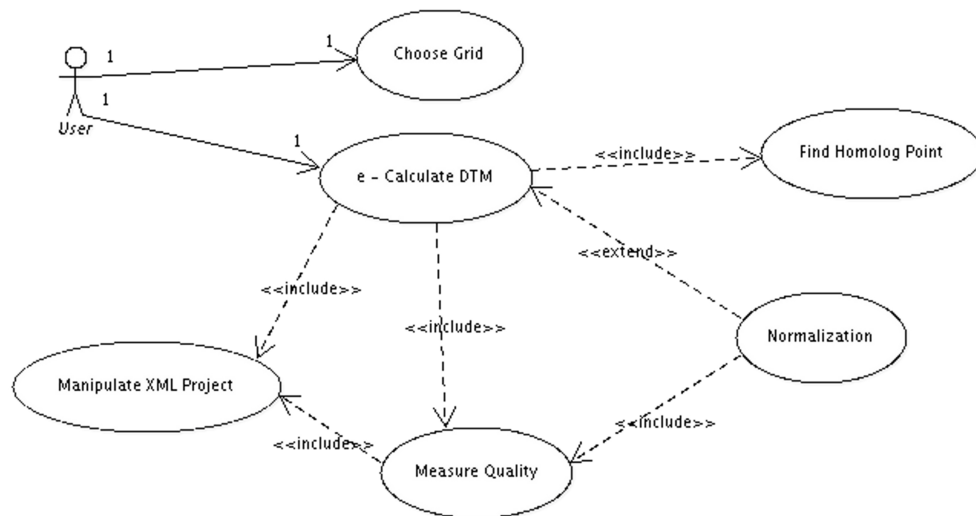
### 3.2.3 Caso de uso da Normalização

A normalização, por ser um processo que minimiza a complexidade do algoritmo de busca do ponto homólogo em duas imagens consecutivas, ou Par estéreo (*Stereo-pair*), pode ser uma funcionalidade extra do caso de uso *Calculate DTM* (Calcular Modelo Digital do Terreno), por esse necessitar de tal algoritmo de forma sistemática. Por isso, o caso de uso *Normalization* (Normalização) foi adicionado ao modelo através do esteriótipo **extend**, conforme pode ser observado na Figura 47.

### 3.2.4 Caso de Uso da Ortorretificação

Após o processo da geração do da orto-imagem, a estação digital pode oferece ao usuário dois processos com finalidades distintas. O primeiro foi denominado de caso de uso *Stereo Plotter* (Restituição Fotogramétrica) que fornece ao usuário uma interface amigável para a visualização tridimensional de um par estéreo, tendo em vista a extração de feições e medidas. Tal imagem possibilita ainda a obtenção de medidas bidimensionais, tridimensionais ou alturas (SILVEIRA, 2005). O segundo processo é o caso de uso *Add Features* (Adicionar Feição) que permite a inserção das feições do terreno (Figura

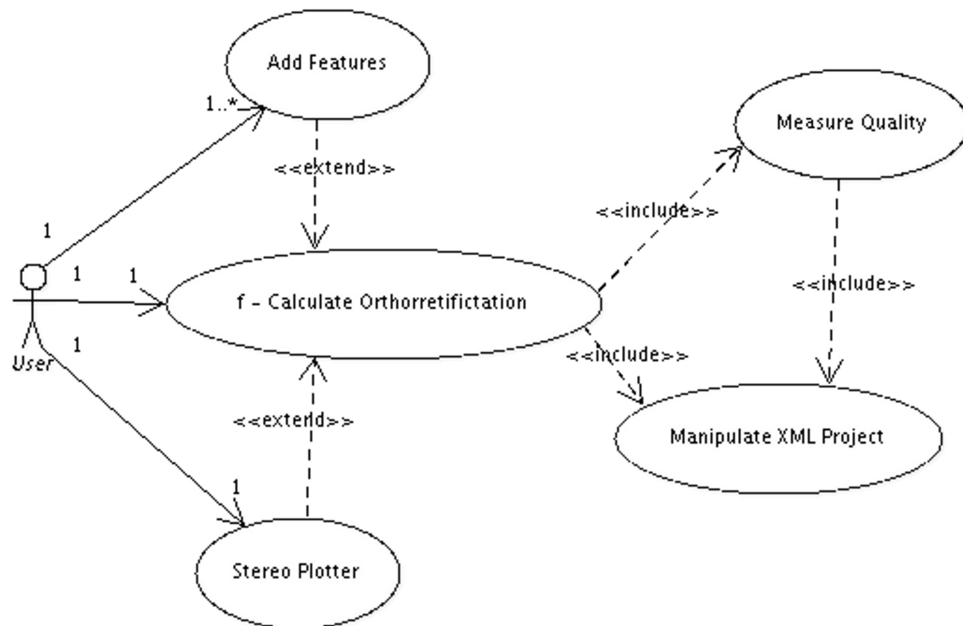
Figura 47 - Modelo de caso de uso para cálculo do MDT com normalização



Fonte: O autor.

48). Desta forma, ambos os processos também foram adicionados ao modelo através do esteriótipo **extend**.

Figura 48 - Modelo de caso de uso para cálculo da ortorretificação



Fonte: O autor.

### 3.3 Modelos de Classe

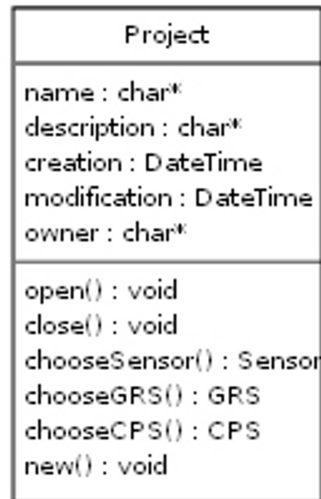
O desenvolvimento dos modelos de classe da EFDE seguiu o mesmo processo do modelo de casos de uso, isto é, partiu-se de um modelo preliminar e, através das diversas iterações, foi possível detalhá-lo e validá-lo. Para esta dissertação foram elaborados três modelos de classes, cada um com uma característica diferente, com a finalidade de se avaliar qual o melhor modelo a ser implementado para projetos da natureza do E-FOTO. O primeiro modelo utiliza UML, baseado nos conceitos definidos por OMG (2007). O segundo modelo apresenta algumas alterações com a introdução dos conceitos de orientação a aspectos (CATAJY, 2006). Por fim, no terceiro modelo, são apresentadas as alterações após a análise segundo a ótica de Padrões de Projeto (GAMMA; HELM et al., 2000).

Esta dissertação foi baseada na arquitetura MVC <sup>22</sup> (REENSKAUG, 1979), que pressupõe a separação do desenvolvimento em 3-camadas. O modelo conceitual apresentado representa a modelagem da camada de negócio, isto é, da camada Modelo da arquitetura citada.

<sup>22</sup> MVC é um acônimo para *Model-View-Controller*, que traduzido significa Modelo-Visão-Controle



Figura 49 - Classe Projeto -  
Modelo  
conceitual



Fonte: O autor.

### 3.3.1 Modelo de Classe com UML

Os modelos de classe apresentados nesta seção fazem parte do modelo conceitual geral da EFDE. Sua subdivisão foi feita para realçar os aspectos mais relevantes do modelo conceitual. Evitou-se apresentar o modelo de classe conceitual geral, considerando que esse seria pouco esclarecedor. No **Apêndice C** são apresentados todos os modelos de classe de cada caso de uso. Cabe salientar que este modelo de classe foi o ponto de partida para os demais modelos, conforme será visto mais adiante. Ao longo desta descrição, algumas considerações serão feitas sobre as decisões tomadas em relação ao modelo de classe e ao projeto E-FOTO.

#### 3.3.1.1 A classe Projeto

Foi definido que a classe *Project* (Figura 49) seria o ponto de partida do projeto E-FOTO. Esta classe representa um repositório de informações acerca do projeto fotogramétrico digital. A tabela 4 mostra o requisito elicitado para a funcionalidade **Cadastrar Projeto**. Os relacionamentos entre a classe *Project* e outras classes do requisito anteriormente mencionado, são os mesmos apresentados na Figura 23, página 42.

Tabela 4 - Descrição do Requisito Criar Projeto da EFDE

Descrição de Requisitos	
<b>Requisito</b>	Criar Projeto
<b>Descrição</b>	Criação do projeto fotogramétrico com as entradas das informações gerais como nome, contexto, responsável, dentre outros, com a finalidade de manter uma organização sobre os projetos. Nessa etapa se escolhe o Sistema Geodésico de Referência, o Sistema de Projeção Cartográfica e também são inseridas as informações sobre o terreno.
<b>Ator(es)</b>	Operador da EFDE.
<b>Pré-requisito</b>	-x- não existe -x-
<b>Pós-requisito</b>	Salvar o projeto em meio magnético, armazenando as datas de criação e alteração.
<b>Fluxo alternativo</b>	O projeto poderá ser carregado do meio magnético para o sistema, caso tenha sido criado anteriormente.
<b>Caso de Uso</b>	Use Case Project

### 3.3.1.2 A hierarquia de classes Sensor

Uma estação fotogramétrica digital deve possuir capacidade para trabalhar com diversos tipos de sensores. Apesar da EFDE ser originalmente voltada para sensores aéreos, pretende-se que, no futuro, possa receber imagens de sensores orbitais e até terrestres. Contudo, um projeto fotogramétrico trabalhará com apenas um tipo de sensor. A hierarquia de classes Sensor do modelo conceitual é apresentada na Figura 50.

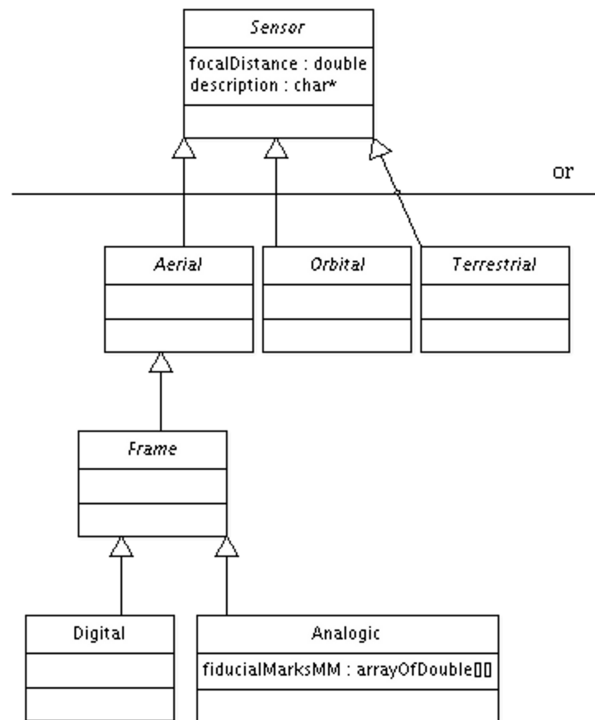
Para alcançar os objetivos anteriormente mencionados, a classe *Sensor* (Sensor) foi modelada como sendo abstrata, de forma que as classes herdadas *Aerial* (Aéreo), *Orbital* (Orbital) e *Terrestrial* (Terrestre) possuam as especializações necessárias. Dentre os sensores aéreos, os sensores óticos de *frame* têm importância especial e também são modelados por uma classe abstrata. Tais sensores podem ainda ser analógicos ou digitais e, somente, no último nível de herança, tem-se as implementações.

### 3.3.1.3 A classe Bloco de Imagem

Por definição do Projeto E-FOTO, um bloco de imagens é formado por duas ou mais imagens, conforme pode ser observado no diagrama de classes conceitual apresentado na Figura 51.

É preciso enfatizar que não foi criado um relacionamento do tipo herança para blocos e seus tipos *MatricialBlock* (Bloco Matricial) e *TransversalStrip* (Faixa Transversal).

Figura 50 - Classe Sensor - Modelo conceitual



Fonte: O autor.

Isto porque um bloco de imagens de uma estação fotogramétrica digital pode possuir um bloco matricial e uma ou mais faixas transversais no mesmo projeto, sendo esses dois tipos juntos denominados de bloco de imagem do projeto. Os tipos de blocos são herdados de uma classe abstrata *GeometricBlock* (Bloco Geométrico), que possui um relacionamento com a classe *Image* (Imagem). Tal relacionamento possui cardinalidade, explicitando o número mínimo de imagens em um bloco fotogramétrico. Pode-se observar, ainda, a classe *StereoPair* (Par estéreo) que possui relacionamento com *Image* e *MatricialBlock*.

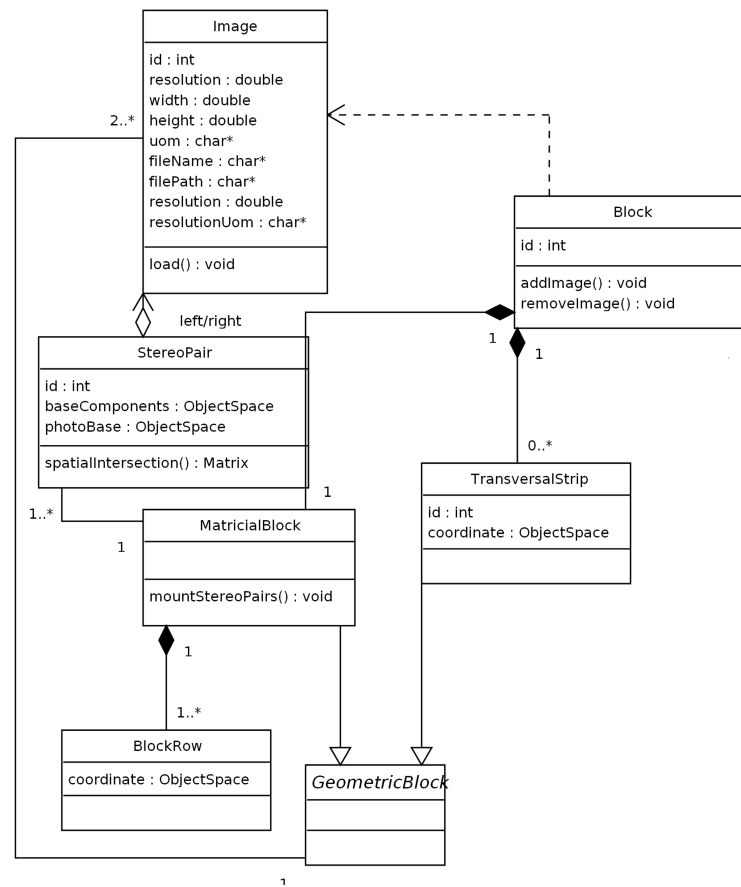
Este modelo de classes conceitual pode ser mais facilmente compreendido com a análise conjunta da especificação do requisito da tabela 5.

### 3.3.1.4 A hierarquia da classe Ponto

Certa complexidade reside na modelagem dos tipos de coordenadas utilizadas em uma estação fotogramétrica digital. Isso se deve à grande complexidade e variedade de coordenadas, tais como:

- uma coordenada pode ser de terreno, analógica ou digital;
- pontos podem ser de controle, fotogramétricos ou de validação;

Figura 51 - Classe Bloco - Modelo conceitual

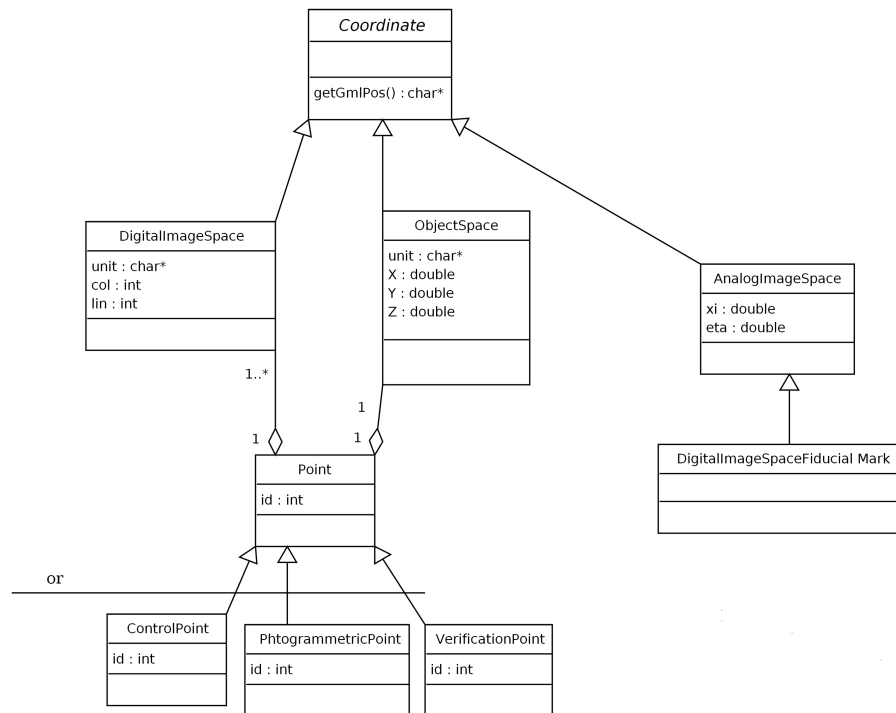


Fonte: O autor.

Tabela 5 - Requisito - Carregar Imagens

Descrição de Requisitos	
<b>Requisito</b>	Carregar Imagens
<b>Descrição</b>	O Operador pode incluir imagens digitais ou digitalizadas para dentro do projeto, criando-se o bloco de imagens e os pares de imagens. Deve ser permitido, também, a exclusão de uma imagem e a mudança na ordem das imagens, refazendo o bloco e os pares.
<b>Ator(es)</b>	Operador da EFDE
<b>Pré-requisito</b>	Projeto Criado
<b>Pós-requisito</b>	Salvar o projeto em meio magnético, armazenando os caminhos das imagens e a data de atualização.
<b>Fluxo Alternativo</b>	As imagens podem ter sido incluídas anteriormente, o sistema deve carregá-las para o projeto.
<b>Caso de Uso</b>	Use Case Image

Figura 52 - Classe Ponto - Modelo conceitual



Fonte: O autor.

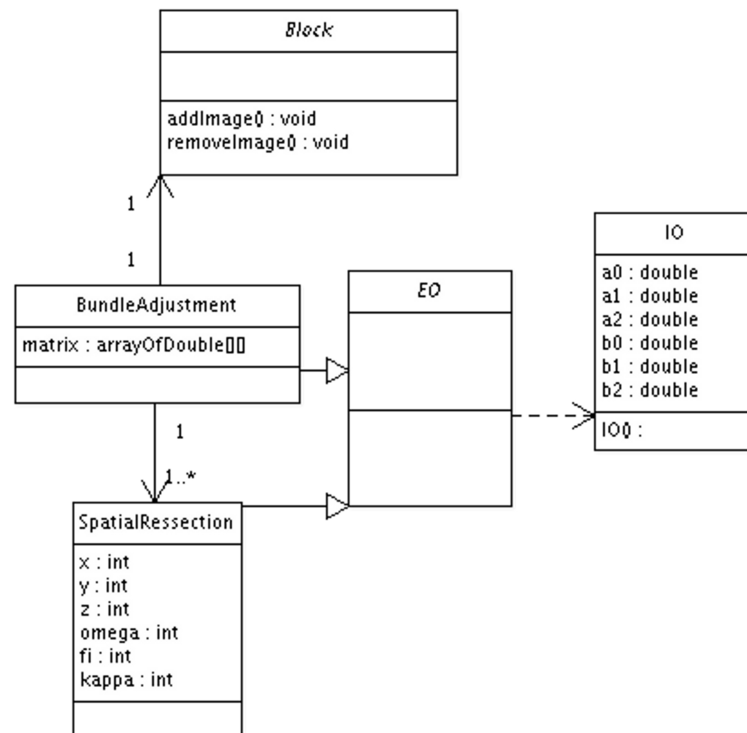
- combinações entre os dois itens acima mencionados.

Desta forma, há uma variedade de informações que são, em certa medida, interligadas. Diversas versões existiram até a modelagem revelada na Figura 52. Observe que tudo se inicia pela classe abstrata *Coordinate* que se especializa de acordo com o espaço observado: *DigitalImageSpace* (Espaço Imagem Digital), *ObjectSpace* (Espaço-objeto) ou *AnalogicImageSpace* (Espaço Imagem Analógico). A classe *Point* (Ponto) além de possuir suas especializações, ainda é uma composição de espaços, pois um ponto no espaço-objeto pode ser observado em uma ou mais imagens digitais.

### 3.3.1.5 A classe Ajustamento por Blocos

A orientação exterior, de acordo com o detalhamento apresentado na seção 2.3.6, pode ser realizada por duas formas diferentes. Portanto, ambas foram modeladas de maneira que essa separação ficasse explícita. A Figura 53 mostra como foi modelada tal situação. Pode-se observar que, apesar de diferentes formas de cálculos, a classe *BundleAdjustment* (Fototriangulação) utiliza a mesma classe *SpatialRessection* (Ressecção Espacial) que se baseia nas equações de colinearidade. Isso porque o método da foto-

Figura 53 - Classe Ajustamento por Bloco - Modelo conceitual



Fonte: O autor.

triangulação da classe *BundleAdjustment* realiza operações para cálculo dos parâmetros mantidos pela classe *SpatialResection*.

A tabela 6 exibe o requisito do cálculo da orientação exterior.

### 3.3.1.6 O modelo para restituição fotogramétrica, DEM e Ortorectificação

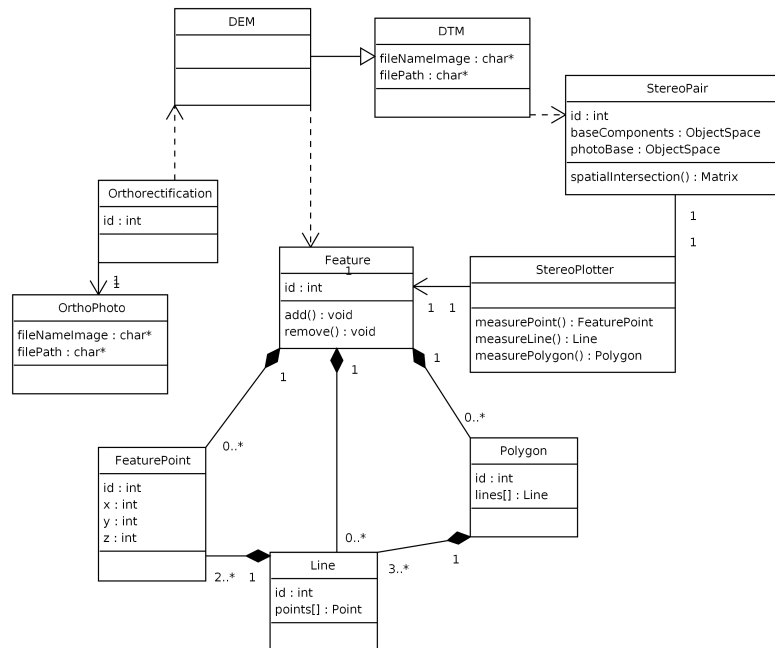
Na modelagem do caso de uso *StereoPlotter* foi acrescida a possibilidade do usuário incluir feições do terreno a partir do modelo tridimensional montado pela EFDE.

A Figura 54 mostra o modelo de classes conceitual explicitando a criação das feições. Pode-se observar que a restituição das feições, realizadas no modelo tridimensional, se baseia no par estéreo (presença da classe *StereoPlotter*). Além disso, a classe *DEM* (Modelo Digital de Elevação) é uma herança da classe *DTM* (Modelo Digital do Terreno) com a incorporação das feições, evidenciado pela presença do relacionamento de dependência entre as classes *DEM* e *Feature* (Feição). Por sua vez, a classe *Orthorectification* (Ortorectificação) também possui dependência da classe *DEM*, indicando que a classe *OrthoPhoto* (Ortofoto) pode gerar uma imagem da ortofoto com as feições restituídas. A classe *Feature* é composta pelas classes: *Line* (Linha), *FeaturePoint* (Ponto) e *Polygon*

Tabela 6 - Requisito - Calcular Orientação Exterior

Descrição de Requisitos	
<b>Requisito</b>	Orientação Exterior
<b>Descrição</b>	Realizar o cálculo da Orientação Exterior pelo método da Resseção Espacial ou Fototriangulação. O processo deverá calcular a qualidade da transformação, independente do método adotado.
<b>Ator(es)</b>	Operador da EFDE
<b>Pré-requisito</b>	Orientação Interior calculada
<b>Pós-requisito</b>	Salvar o projeto em meio magnético, armazenando os valores encontrados da transformação, os valores da qualidade e a data de atualização.
<b>Fluxo Alternativo</b>	A Orientação Exterior pode ter sido calculada anteriormente, o sistema deve carregar os valores para o projeto.
<b>Caso de Uso</b>	Use Case EO

Figura 54 - Restituição Fotogramétrica, DEM e Ortoretificação  
- Modelo conceitual



Fonte: O autor.

(Polígono). Essas, também formam composições entre si, exibindo uma hierarquia do tipo parte-todo, isto é, polígono é um conjunto de linhas, linha é um conjunto de pontos, sendo esse o elemento básico da feição.

### 3.3.2 Modelo Orientado a Aspectos

Conforme definido na seção 1.3, a orientação a aspectos pressupõe a existência de requisitos transversais. Desta forma, se faz necessário uma nova análise dos requisitos de maneira a identificar tal conceito e, somente após essa tarefa, os modelos de caso de uso e classes foram alterados. Verificou-se que no projeto E-FOTO existem poucos requisitos com as características de transversalidades, ou seja, que atravessem toda a aplicação.

Ao rever os modelos, identifica-se logo o caso de uso *Measure Quality* (Medir Qualidade) como sendo um requisito transversal, pois é utilizado por diversos outros casos de uso, através do esteriótipo **include**.

Nos modelos iniciais, ainda não se havia decidido qual seria a melhor estrutura para armazenar as informações do projeto. Na versão inicial da EFDE, utilizava-se arquivos do tipo texto puro, armazenado em disco. Cada módulo armazenava seu arquivo e podia carregar informações de outros módulos. Entretanto, essa estrutura ainda apresentava muitas falhas e não possibilitava a visualização todas as informações do projeto de uma única vez. Começou-se a trabalhar com arquivos XML (MOTA et al., 2007) e desta maneira, criou-se o caso de uso *Manipulate XML Project* (Manipular XML do Projeto), outro requisito transversal.

Nesta dissertação foram identificados apenas esses dois requisitos transversais. A seção a seguir apresenta os casos de uso orientados a aspecto.

#### 3.3.2.1 Modelo de caso de uso orientado a Aspectos

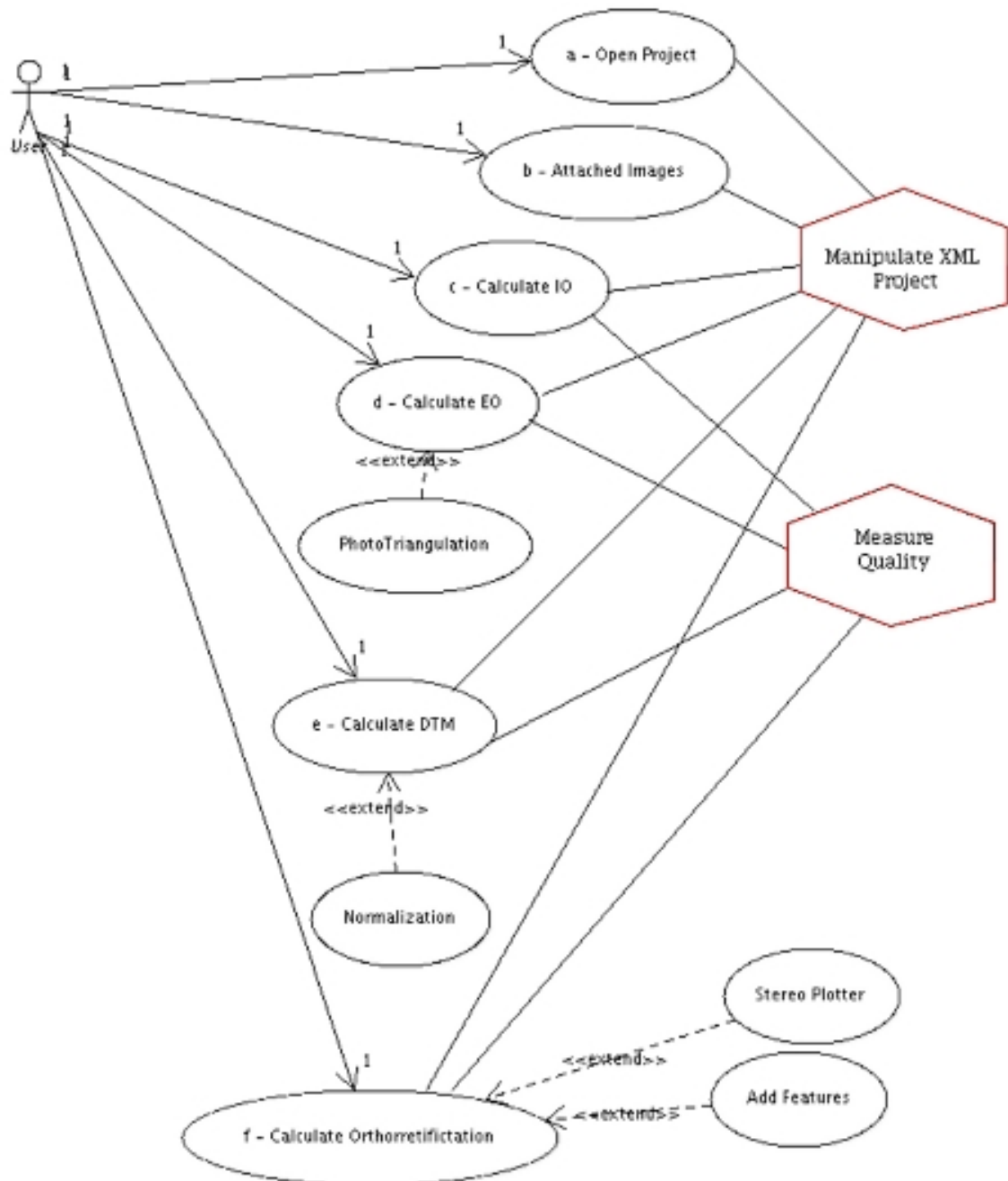
Poucas alterações foram necessárias no modelo de caso de uso (vide figura 43), visto que somente a substituição dos casos de uso pelo diagrama representativo do uso de Aspecto se fazia necessário. A Figura 55 mostra como o modelo de caso de uso ficou após a alteração.

#### 3.3.2.2 Modelo de classes orientado a Aspectos

De forma semelhante ao modelo de caso de uso, o modelo de classes conceitual pouco se altera com a introdução das classes de aspectos. Tal introdução se dá através

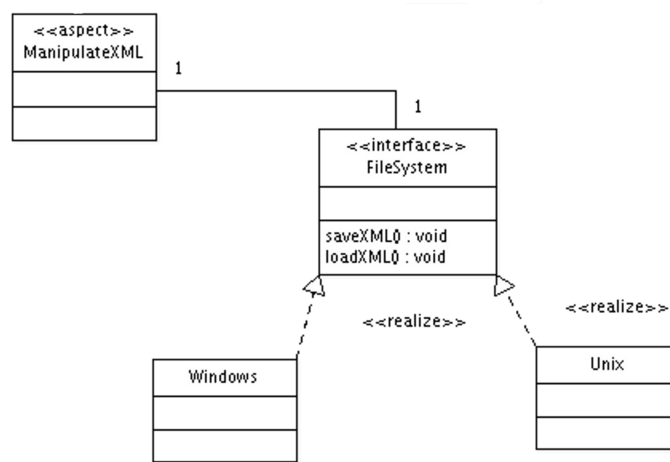


Figura 55 - Modelo de Caso de Uso com Aspectos



Fonte: O autor.

Figura 56 - Modelagem de um Aspecto



Fonte: O autor.

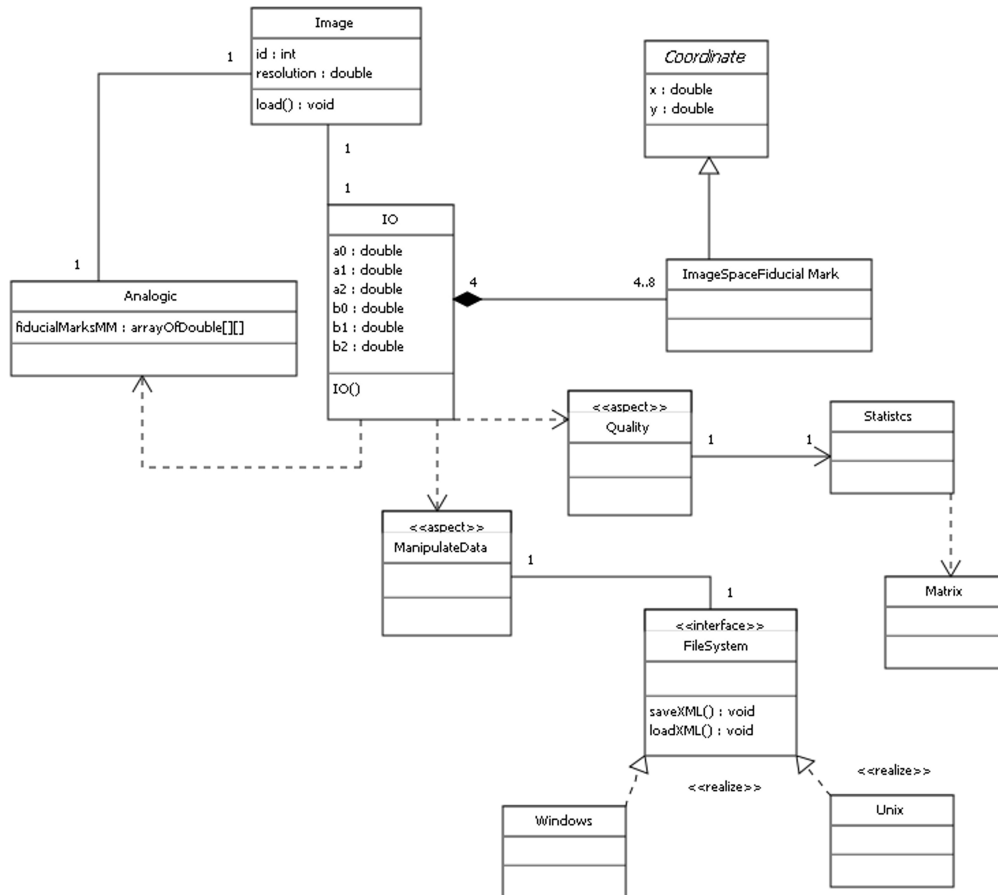
do uso de esteriótipos `<<aspect>>`. Essa alteração pequena é em função do Aspecto ser mais voltado à implementação do que propriamente a análise e modelagem. Entretanto, o uso de aspectos favorece uma ligação menos estreita entre as classes de negócio propriamente dita, com as classes de apoio a algum requisito.

Por exemplo, o aspecto *ManipulateXML* (Manipular Projeto XML) irá se preocupar com toda implementação necessária a gravação e recuperação das informações armazenadas em disco, independentemente do sistema operacional que se estiver utilizando. As classes que interagem com tal aspecto não precisarão se preocupar com essa implementação e tão pouco com as especificidades de cada sistema operacional. Esse aspecto substitui a classe *ManipulateXML* do modelo UML.

Na Figura 56 pode-se verificar as facilidades implementadas pelo aspecto. A classe de aspecto *ManipulateXML* possui um relacionamento com a classe de interface *FileSystem* (Sistema de Arquivos) e essa é que realiza todas as operações de salvamento e recuperação das informações do projeto fotogramétrico. Por exemplo, pode-se supor que uma nova versão do Projeto E-FOTO esteja sendo implementada e nela, as informações passarão a ser salvas em um banco de dados e não mais em arquivo do tipo XML. Nesse caso, os desenvolvedores terão apenas que alterar a classe de interface *FileSystem* e suas classes de implementação. Isso porque o aspecto define apenas os pontos de corte, nos quais serão chamadas as funções que irão implementar o salvamento ou recuperação das informações. Caso não existesse o aspecto, o modelo até poderia suportar tal definição. Entretanto, esse modelo de classes precisaria ser muito bem detalhado e ficaria a cargo da equipe de modelagem tal solução. Com o aspecto isso é obrigatório. A própria modelagem se encarrega de obrigar a equipe de analistas a modelar dessa forma.

Da mesma maneira, o aspecto *Quality* (Qualidade) não precisa ter implementações

Figura 57 - Modelagem da Orientação Exterior, segundo Aspectos



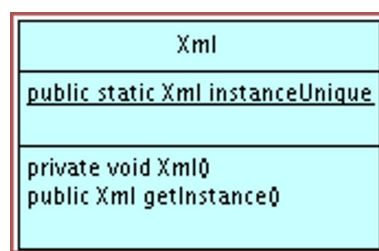
Fonte: O autor.

de modelos estatísticos. Ao invés disso, ele dispara uma chamada a classe *Statistics* (Estatística) que fará todas as operações necessárias para as medidas de qualidade dos processos fotogramétricos.

Veja abaixo, na Figura 57, a modelagem conceitual completa da Orientação Interior.

De forma similar, realizou-se as alterações de todos os outros modelos de classes. No **Apêndice C** podem ser observados todos os modelos adaptados para Aspectos.

Figura 58 - Classe XML com  
Padrão Singleton



Fonte: O autor.

### 3.3.3 Modelo de Classe com Padrões de Projeto

Conforme descrito na seção 1.4, Padrões de Projeto fornecem um núcleo para solução de diversos problemas encontrados na fase de modelagem. Para a adaptação do modelo de classes à padrões, foi preciso realizar um trabalho de reengenharia sobre o modelo original. Esse trabalho é fundamental para a identificação do conjunto de classes que poderão ser alteradas, utilizando os padrões definidos pelo GoF<sup>23</sup> (GAMMA; HELM et al., 2000).

É fundamental salientar que para a montagem do modelo de classe utilizando Padrões de Projeto, nenhuma alteração nos requisitos foi necessária e, conseqüentemente, o modelo de casos de uso permaneceu inalterado.

#### 3.3.3.1 A classe XML

A classe *XML* do modelo original se encarrega de gravar, manter e recuperar as informações do projeto fotogramétrico durante todo o tempo de utilização na EFDE. Portanto, é fundamental que se possa garantir que tais informações sejam armazenadas a cada passo, a cada função executada, independentemente da ação do usuário. Por exemplo, durante o cálculo da orientação exterior se faz necessário que os parâmetros calculados sejam armazenados no arquivo, bem como a matriz variância-covariância indicadora da qualidade dessa operação.

Em função disso, essa classe foi modelada com o padrão **Singleton** (Figura 58), que garante que essa classe será única durante todo o tempo de vida do projeto. Isso permitirá que não ocorram outras instâncias dessa classe concorrendo pelo dispositivo de

<sup>23</sup> GoF é um acrônimo para *Gang of Four* que significa, em português, Gangue dos Quatro, em referência os quatro autores do livro.