

PUC

ISSN 0103-9741

Monografias em Ciência da Computação
n° 34/09

Plataforma GeoRisc – Engenharia da Computação Aplicada à Análise de Riscos Geo- Ambientais

**Sérgio Luiz Ruivace Cerqueira
Balduino Fonseca dos Santos Neto
Carlos José Pereira de Lucena
Tácio Mauro Pereira de Campos
Mônica Priscila Hernandez Moncada**

Departamento de Informática

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
RUA MARQUÊS DE SÃO VICENTE, 225 - CEP 22453-900
RIO DE JANEIRO - BRASIL**

Plataforma GeoRisc – Engenharia da Computação Aplicada à Análise de Riscos Geo-Ambientais

Sérgio Luiz Ruivace Cerqueira, Balduino Fonseca dos Santos Neto,
Carlos José Pereira de Lucena, Tácio Mauro Pereira de Campos, Mônica
Priscila Hernandez Moncada

scerqueira@inf.puc-rio.br, bneto@inf.puc-rio.br, lucena@nf.puc-rio.br, tacio@puc-rio.br,
mopri@civ.puc-rio.br

Abstract. This work describes the GeoRisc platform, such software manipulates the knowledge acquired by researchers and specialists on landslides in Rio de Janeiro, a city in Brazil. Such knowledge has been encapsulated into agents and from them, were generated models and *features* that compose a software product line. In this way, is possible to generate different types of products in response to the users necessities. Another important aspect of the platform is the flexibility of the architecture. The platform allows that different models and functionalities can be added.

Keywords:. Multiagent System, Landslides, Software Product Line, Architecture

Resumo. Este trabalho descreve a Plataforma GeoRisc, software que concentra conhecimento adquirido por pesquisadores e especialistas sobre movimento de massa na cidade do Rio de Janeiro. Esse conhecimento foi encapsulado em agentes especialistas e com esses agentes, foram gerados modelos e funcionalidades que se encaixam como *features* de uma linha de produtos de software. Dessa forma é possível gerar diferentes tipos de produtos de acordo com a necessidades do usuário. Outro aspecto importante da plataforma é a flexibilidade da arquitetura. A plataforma foi desenvolvida de forma que, outros modelos e funcionalidades possam ser adicionadas com facilidade, de modo que, mais conhecimento possa ser adicionado a plataforma sem a necessidade de uma reengenharia.

Palavras-chave:. Sistemas multi-agentes, movimento de massa, linha de produto de software, arquitetura.

Responsável por publicações:

Rosane Teles Lins Castilho
Assessoria de Biblioteca, Documentação e Informação
PUC-Rio Departamento de Informática
Rua Marquês de São Vicente, 225 - Gávea
22453-900 Rio de Janeiro RJ Brasil
Tel. +55 21 3114-1516 Fax: +55 21 3114-1530
E-mail: bib-di@inf.puc-rio.br

Sumário

1	Introdução	1
2	Fundamentos	1
2.1	Sistemas Multi-Agentes	1
2.2	Escorregamentos	2
3	Plataforma GeoRisc	3
3.1	Arquitetura	3
3.2	Agente especialista	4
3.2.1	Arquitetura	5
3.2.2	Ontologia	5
3.3	Agente de combinação qualitativa	7
3.3.1	Arquitetura	8
3.4	Agente fator de segurança	9
3.4.1	Arquitetura	11
3.5	Agente de precipitação	12
3.5.1	Arquitetura	13
3.6	Agente de Comparação de modelos	14
3.6.1	Arquitetura	14
4	Discussões finais e conclusão	15
	Referências	16

1 Introdução

Diferentes tipos de questões geo-ambientais afetam o Estado do Rio de Janeiro. Dentre todos estes tipos de problemas, o referente a movimentos de massas de solo e rocha em encostas é o de maior recorrência em diferentes municípios fluminenses. Esses movimentos acarretam em diversos prejuízos para a população do Estado, gerando perdas de vidas e danos materiais.

O Estado do rio de janeiro têm diversas instituições, desde órgãos governamentais à grupos de pesquisa, que lidam com esse tipo de problema e acumulam conhecimento nessa área. Dentro deste contexto, constata-se a existência de um desafio, que é o de transferir o conhecimento científico acumulado para a solução dos problemas de escorregamentos.

Para a solução desse problema foram feitas diversas pesquisas e entrevistas com especialistas e como resultado foram especificados alguns requisitos que a plataforma deveria abranger. O primeiro requisito é a criação de uma arquitetura que possa ser evoluída, visto que, o conhecimento não é estático e com o tempo ele evolui. Dessa forma a arquitetura da solução deveria suportar a adição de novos conhecimentos sem a necessidade de uma reengenharia.

Outro requisito era que em vista a grande quantidade de modelos existentes e a não relevância de alguns desses para algumas regiões e da relevância desses para outras regiões, seria necessário a construção de diferentes produtos a partir da solução. Para isso foi necessário a utilização de uma Linha de produto de software. Desse modo é possível criar produtos diferentes a partir da mesma linha de produtos, sem a necessidade da produção de um novo software a partir do zero.

Foi também identificada a necessidade da utilização da tecnologia de agentes como abstração para facilitar o desenvolvimento de modelos computacionais que promovem a compreensão do funcionamento de sistemas complexos, dependentes de um grande número de variáveis e de um conjunto considerável de informações.

Para a solução desse problema foi desenvolvida a Plataforma GeoRisc que é uma linha de produto que oferece um ferramental para cálculos de susceptibilidade e risco geoambiental. Essa plataforma abrange diversas *features*, que representam técnicas, modelos de cálculo para a geração de mapas de susceptibilidade. Esses modelos levam em consideração diferentes tipos de informações geomorfológicas em diferentes tipos de escalas. Todo esse ferramental foi desenvolvido com o auxílio de especialistas da área, que foram abstraídos como agentes especialistas na plataforma.

2 Fundamentos

Como dito anteriormente, foram feitas diversas pesquisas explanatórias para o desenvolvimento deste projeto. Com isso foram adquiridos conhecimentos básicos, nos quais alguns deles são apresentados neste capítulo.

2.1 Sistemas Multi-Agentes

O desenvolvimento de software está progressivamente se tornando uma tarefa mais complicada e árdua. Essa dificuldade é gerada pelo crescimento da complexidade dos problemas atuais. Segundo os autores de (Minsky and Ungureanu 2000) os sistemas estão passando por uma transição de sistemas indivisíveis, homogêneos, para conglomerados semi-autônomos e para subsistemas independentemente construídos. Sistemas de softwares complexos têm um grande número

ro de partes e essas realizam diversas interações. Muitos desses subsistemas podem ter sido acoplados de outros sistemas ou se comunicarem com softwares independentes.

De acordo com (Jennings 2001), mesmo com essas dificuldades, esse tipo de complexidade apresenta algumas regularidades. A primeira regularidade é a capacidade da complexidade assumir a forma de uma hierarquia. Outra regularidade é que sistemas hierárquicos evoluem mais rapidamente do que sistemas não hierárquicos de tamanho semelhante. Por fim, é possível diferenciar as interações que ocorrem entre os subsistemas e as interações que ocorrem dentro dos subsistemas.

Com essas informações, os engenheiros de software desenvolveram algumas técnicas para lidar com essa complexidade mais facilmente (Jennings 2001):

- Decomposição: A mais básica técnica para enfrentar grandes problemas é dividir-los em pedaços menores e mais gerenciáveis.
- Abstração: É o processo de definição de um modelo simplificado de um sistema, que enfatiza propriedades importantes para a resolução do problema.
- Organização: É o processo de definir e gerenciar os relacionamentos entre vários componentes que têm a capacidade de resolver problemas.

Com base nessas informações foram desenvolvidas diversas tecnologias, técnicas e ferramentas para lidar com a complexidade dos sistemas modernos. Alguns exemplos seriam: a programação orientada a objetos, a programação orientada a componentes, o conceito de reutilização de software, os *frameworks*. Uma dessas tecnologias é a orientação a agentes.

De acordo com (Wooldridge and Jennings 1995), um agente tem as seguintes propriedades:

- Autonomia: agentes operam sem a intervenção direta de humanos ou outra entidade.
- Habilidade social: agentes têm a capacidade de interagir entre si.
- Reatividade: agentes podem reagir a um estímulo vindo do meio em que está imerso.
- Pró-atividade: agentes podem “tomar iniciativa” de acordo com uma crença ou objetivo, sem estímulo externo.

Uma segunda interpretação do Jennings (Jennings 2001) define agentes como entidades claramente identificáveis, com capacidade de resolver problemas, situados sobre um meio sobre o qual têm um controle parcial e uma habilidade de interação com esse ambiente.

No mesmo trabalho Jennings afirma que a adoção da visão orientada a agente para a maioria dos problemas requerem o envolvimento de múltiplos agentes. Esses agentes poderiam representar a natureza descentralizada do problema, os múltiplos locais de controle, as múltiplas perspectivas ou os interesses de competição. E além do mais, os agentes precisarão interagir um com o outro ou para atingir interesses individuais, ou para objetivos de grupos.

2.2 Escorregamentos

Esse trabalho, por ser multidisciplinar, abrange assuntos referentes à informática e à engenharia, em especial a engenharia civil. Neste item serão apresentados alguns aspectos geo-ambientais de importância para o domínio.

O propósito da plataforma é fornecer meios para análises de riscos geo-ambientais associados a escorregamentos. Os escorregamentos são movimentos de massa que podem ser classificados de acordo com o tipo da massa e a velocidade que ela percorre, alguns exemplos são a corrida de lama, a queda de rocha, a avalanche de rocha, o escorregamento de detritos...

caracterizar uma *feature* da plataforma. Existindo esses arquivos o componente instancia essas classes em tempo de execução e as adiciona na aplicação. Desse modo, a plataforma tem a capacidade de incorporar novos modelos bastando a adição de um JAR com a implementação desse modelo.

O módulo de Feature é um ponto de extensão que dá acesso para funcionalidades como a gerência de camadas e a visualização de mapas. O Layer Manager cuida da abertura e manutenção de mapas, que são considerados como camadas na aplicação. O Maps viewer fornece funcionalidades para a visualização dos mapas abertos, o zoom é um exemplo de funcionalidade.

O desenvolvedor de uma *feature* deve criar um módulo Feature GUI, que apresenta a interface para o usuário da plataforma. Para a comunicação desse componente da plataforma com o agente responsável pela *feature* foi utilizado o padrão Observer como visto em (NUNES et al., 2008a; NUNES et al., 2008b). Assim, o desenvolvedor deve criar um módulo Observable Action que representa uma ação lançada pela GUI. Essa ação é capturada pelo agente observador da plataforma e enviada em forma de mensagem para o agente desejado. O desenvolvedor pode criar agentes para a *feature* estendendo o Client Agent.

O GeoRisc serve de base para a implementação do agente proposto nesse trabalho. O Especialista em Recomendação é implementado como uma *feature* da plataforma.

3.2 Agente especialista

O agente é uma *feature* incorporada na plataforma GeoRisc. Essa *feature* tem o objetivo de fazer recomendações de modelos de susceptibilidade, que somente especialistas no domínio teriam conhecimento para fazê-lo. Para isso, o agente faz uso de diversas tecnologias e técnicas como a utilização e bases de conhecimento, ontologias e orientação a agentes.

O processo de recomendação do agente especialista é bem simples, como pode ser visto na Figura 2. Esse processo funciona como um ciclo no qual o especialista envia uma pergunta para o usuário fundamentada na própria base de conhecimento e na base dos modelos, essa pergunta pode ser a respeito da região a ser analisada ou dos dados que o usuário possui. Após o recebimento da pergunta, o usuário informa a resposta. Essa resposta é processada pelo especialista, que pode atualizar ou fazer inferências na base de conhecimento. Caso não haja nenhuma pergunta adicional o especialista informa o modelo ideal para a região escolhida.

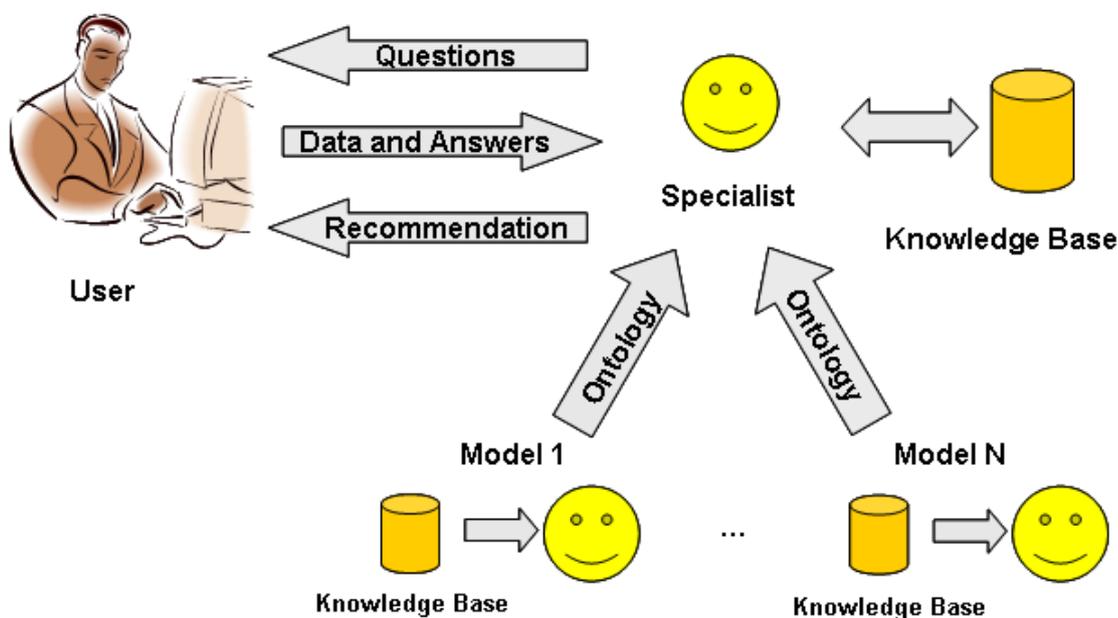


Figura 2 – Funcionamento

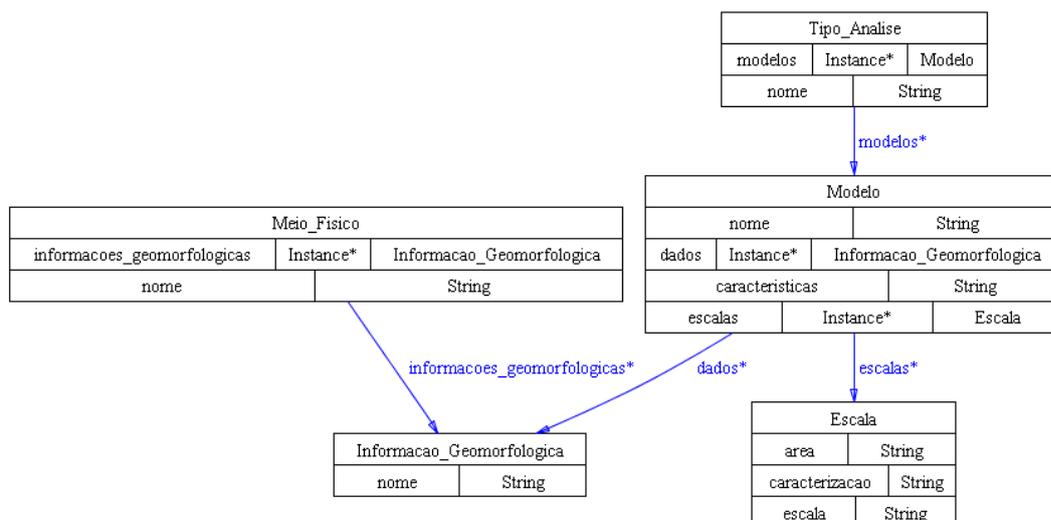


Figura 4 - Ontologia do domínio do Especialista

Os elementos da ontologia são descritos a seguir (informação verbal) 1.

O Tipo de Análise representa a abordagem utilizada nos tratamentos dos dados (geomorfológicos e humanos) e nas análises de susceptibilidade, a escolha da metodologia dependerá do tipo e da quantidade de dados disponíveis assim como da escala de trabalho escolhida. Alguns dos tipos de análise são as de inventário e as estatísticas.

O Modelo combina atributos das informações geomorfológicas e os fatores que afetam o ambiente a fim de gerar a probabilidade do escorregamento do solo desse meio. Cada modelo funciona com determinados tipos de escalas, caso seja utilizado em uma escala diferente o resultado não seria válido. Alguns dos modelos são o de Combinação Qualitativa e o de Fator de Segurança.

A Escala apresenta uma relação de tamanho ou proporção com o dado representado, dependendo da análise a escala de trabalho escolhida pode ser caracterizada com regional (área de interesse), nacional (na escala do estado), local (escala de bairro), entre outras. As escalas também são associadas com a área mínima de estudo que são informadas em quilômetros quadrados. Além disso, elas informam propriamente a escala que é um tipo de proporção como em 1:5.000 a 1:15.000.

O Meio físico é o ambiente que sofre ações de agentes naturais e humanos é onde as pessoas constroem e tiram as matérias para construir alguns exemplos de meios físicos são: a geomorfologia, a hidrografia, a ocupação humana.

A Informação Geomorfológica se refere às formas da superfície terrestre, e aos dados relativos ao meio físico, algumas informações dessas são a unidade de terreno, o mapa de declividades, a litologia e o mapa de uso do solo.

Com as classes e suas propriedades e relacionamentos definidos foram criadas instâncias dos conceitos apresentados. Essas instâncias representam dados reais da base de conhecimento, ou seja, os dados mencionados como exemplo em cada conceito seriam instâncias do conceito.

1 Informação fornecida por Monica Moncada, no Rio de Janeiro, em julho de 2009

3.3 Agente de combinação qualitativa

O agente de combinação qualitativa é uma das *features* da plataforma GeoRisc. Esse agente tem como objetivo dar suporte e fazer cálculos necessários ao modelo de combinação qualitativa. Basicamente, esse modelo recebe como entrada diferentes tipos de mapas. Cada mapa recebe um peso e tem seus dados classificados. Com o peso e os dados classificados é feito o cálculo da susceptibilidade.

A Figura 5 ilustra o processo de cálculo o qual o agente de combinação qualitativa realiza. Inicialmente o usuário informa os planos de informação, mapas, que ele deseja combinar, no exemplo são considerados a declividade e o uso e ocupação do solo. Cada mapa tem informações georeferenciadas associadas ao tema do mapa, ou seja, o mapa de uso e ocupação do solo tem informações referentes à vegetação de cada ponto do mapa.

Após a adição dos planos de informação, o usuário deve informar as escalas dos mapas. As escalas são distribuições das informações contidas nos mapas em classes, de acordo com um sistema de classificação. Na Figura 5 a vegetação teve um mapeamento direto: Mata vale 0.85 e Solo descoberto vale 0.00, já a declividade recebeu classes de valores: De 0 a 3% de declividade vale 0.85 e 45 a 75% de declividade vale 0.20.

Em seguida, o usuário deve informar o peso que o plano de informação tem na combinação, esse peso indica a importância que o mapa terá no cálculo da susceptibilidade. No exemplo dado a declividade teve um peso, importância, maior que o uso e a ocupação do solo.

De posse de todos os dados o agente pode realizar o processamento que consiste no cálculo da fórmula presente na Figura 5. Ou seja, o agente multiplica o peso do mapa por cada informação presente nos pontos dos mapas e soma as mesmas áreas de cada mapa. O resultado desse cálculo gera um número que é subtraído de um. Essa operação gera um novo mapa com valores diferentes, porém, com as mesmas coordenadas.

O novo mapa é chamado de mapa de susceptibilidade, no qual os pontos que estiverem com valores próximos de um indicam que há uma alta probabilidade de ocorrerem deslizamentos e valores próximos de zero indicam baixa probabilidade. Os valores informados no exemplo são meramente ilustrativos e não indicam números obrigatórios. Além disso, esses dados não são fixos e podem variar de região para região

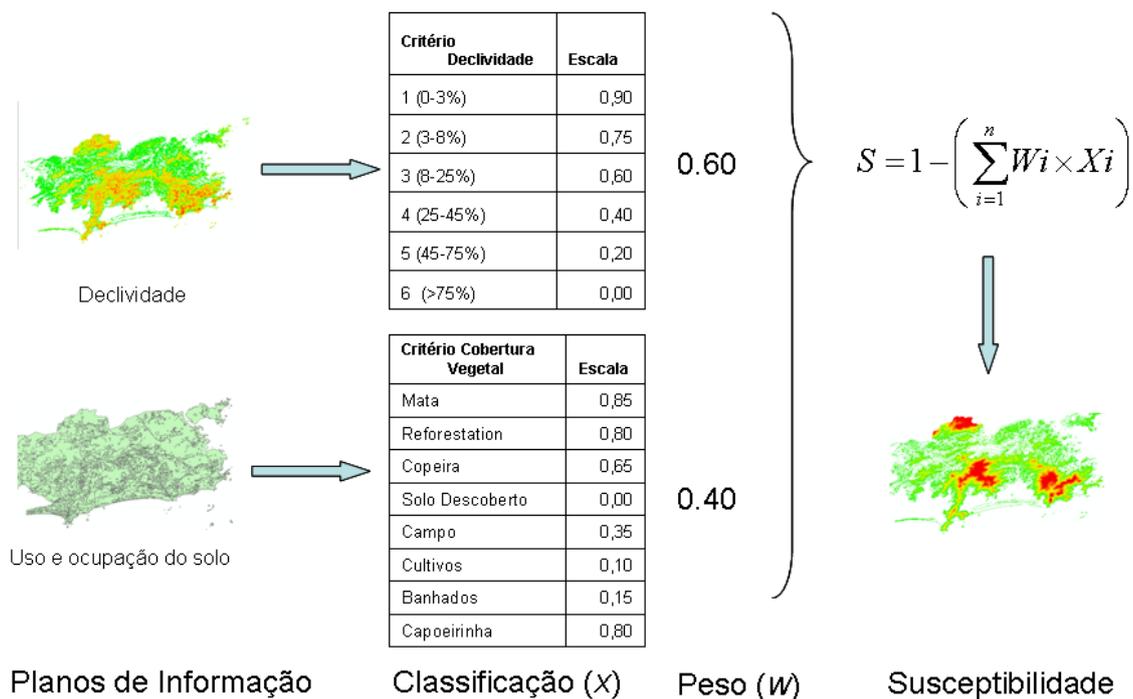


Figura 5 - Cálculo da combinação qualitativa

3.3.1 Arquitetura

Como pode ser visto na Figura 6, a arquitetura da *feature* de combinação qualitativa segue o padrão da plataforma, sendo instanciados os elementos Qualitative CombinationGUI da Feature, Qualitative Combination Action do Observable Action e o Qualitative Combination Agent do Client Agent.

O módulo de Startup é responsável pela inicialização da *feature*. O elemento Qualitative Combination GUI cuida da criação da interface com usuário da *feature*. Esse elemento também utiliza o componente de gerenciamento da camadas de forma que possam ser adicionados múltiplas camadas no modelo. O Layer Manager cuida também do armazenamento de dados relativos a camada, como o peso do plano de informação e a escala do mapa. O elemento de interface também se comunica com o módulo de visualização de mapas, de modo que os múltiplos mapas adicionados possam ser sobrepostos e renderizados para a visualização.

O elemento Qualitative Combination Action é responsável por capturar as ações disparadas pelo usuário e avisar os observadores interessados nessas ações. O observador interessado pertencente a essa *feature* é o Qualitative Combination Agent. Esse agente quando é avisado decide o comportamento adequado para instanciar de acordo com o tipo de ação disparado.

A primeira etapa do cálculo consiste na individualização dos eventos de chuva, os eventos de chuva são períodos em que choveu sem intermitência, pode haver mais de um evento de chuva em um dia, como pode ser visto na Figura 8. Para cada evento de chuva são coletados o horário de início e o de término e a quantidade de chuva acumulada. Com esses dados é calculada a intensidade da chuva, descrita na Figura 7.

Mês:	Fevereiro	2007		
Evento	1	2	3	4
Data	02/02/2007	11/02/2007	12/02/2007	26/02/2007
mm acum	13,60	42,00	10,00	3,20
Início	20:48	13:33	00:03	17:18
Fim	22:03	17:33	02:48	17:33
Duração (min)	75,00	240,00	165,00	0,21
Evento		2a		
mm acum		26,00		
Início		18:48		
Fim		22:18		
Duração (min)		210,00		

Figura 8 - Individualização dos eventos de chuva

A segunda etapa consiste no cálculo da razão de recarga para cada evento, como pode ser vista na Figura 9. Obs.: o valor máximo da razão de recarga deve ser igual a 1.

$$\frac{I_z}{K_z} = \frac{1,1E^{-5}}{5E^{-6}} = 2,2 > 1$$

Figura 9 - Cálculo da razão de recarga

A terceira etapa é responsável pelo cálculo da função de resposta $R(t^*)$. Os cálculos utilizam tempos t pré-definidos, de acordo com a precisão desejada. Existem duas formulas para o calculo dessa função. A primeira é utilizada quando o tempo t estiver durante o período da chuva, como pode ser visto na Figura 10. A segunda é quando o tempo t estiver após a chuva, como pode ser visto na Figura 11.

$$R(t^*) = \sqrt{\frac{t^*}{\Pi}} \exp\left(\frac{-1}{t^*}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{t^*}}\right)$$

Figura 10 - Função de resposta durante a chuva

$$R(t^*) - R(t^* - T^*) = \sqrt{\frac{t^*}{\Pi}} \exp\left(\frac{-1}{t^*}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{t^*}}\right) - \sqrt{\frac{(t^* - T^*)}{\Pi}} \exp\left(\frac{-1}{(t^* - T^*)}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{(t^* - T^*)}}\right)$$

Figura 11 - Função de resposta após a chuva

Na quarta etapa é feito o cálculo da carga hidráulica normalizada. Assim como na terceira etapa, a quarta etapa contém duas formulas. Como pode ser visto na Figura 12, a primeira formula é utilizada para quando o tempo t estiver durante a chuva e a segunda formula é para quando o tempo t for posterior a chuva.

$$\frac{\psi}{Z}(Z, t \leq T) = \frac{I_z}{K_z} [R(t^*)]$$

$$\frac{\psi}{Z}(Z, t > T) = \frac{I_z}{K_z} [R(t^*) - R(t^* - T^*)]$$

Figura 12 - Formulas para calcular a carga hidráulica normalizada

Na quinta etapa é realizada a quantificação de uma carga hidráulica à seqüência dos eventos ao longo do tempo. Ou seja, é feito um somatório de todos os valores da carga hidráulica gerados em cada intervalo de tempo analisado. Dessa forma, no final do quinto estágio haverá uma série de pares intervalo de tempo e somatório de carga hidráulicas nesse intervalo. Como pode ser visto na Figura 13.

$$\psi/Z_{\text{total}}(\text{tx}, \text{Zy}) = \psi/Z_{\text{ev1}}(\text{tx}, \text{Zy}) + \psi/Z_{\text{ev2}}(\text{tx}, \text{Zy}) + \dots + \psi/Z_{\text{evx}}(\text{tx}, \text{Zy})$$

Figura 13 - Cálculo da carga hidráulica total

Na sexta etapa é calculado o fator de segurança ao longo do tempo, para a verificação da condição de estabilidade da encosta. O cálculo é realizado com a soma da equação presente na Figura 14, que representa a função das condições geométricas do talude; com a equação presente na Figura 15, que representa a função da influência da umidade do solo. Esse cálculo pode ser executado com várias profundidades, a fim de, encontrar a profundidade mais susceptível a ruptura.

$$FS_0(Z) = \frac{\tan \phi}{\tan \alpha} + \frac{c}{\gamma_s Z \sin \alpha \cos \alpha}$$

Figura 14 - Condições geométricas iniciais do talude

$$FS'(Z, t) = -\frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{\tan \phi}{\sin \alpha \cos \alpha} \begin{cases} \psi/Z(Z, t^* \leq T^*) \\ \psi/Z(Z, t^* > T^*) \end{cases}$$

Figura 15 - Influência da umidade do solo

3.4.1 Arquitetura

Como pode ser visto na Figura 16, a arquitetura da *feature* de fator de segurança segue o padrão da plataforma a não ser pela utilização dos módulos de gerenciamento de camadas e de visualização de mapas, sendo instanciados os elementos Safety Factor GUI da Feature, Safety Factor Action do Observable Action e o Safety Factor Agent do Client Agent.

O módulo de Startup é responsável pela inicialização da *feature*. O elemento Safety Factor GUI cuida da criação da interface com usuário da *feature*. Como a escala utilizada neste modelo é grande, não são adotadas formas de visualização das camadas. Dessa forma não é necessária a utilização dos módulos de gerenciamento de camadas e de visualização de mapas.

O elemento Safety Factor Action é responsável por capturar as ações disparadas pelo usuário e avisar os observadores interessados nessas ações. O observador interessado pertencente a essa *feature* é o Safety Factor Agent. Esse agente quando é avisado decide o comportamento adequado para instanciar de acordo com o tipo de ação disparado.

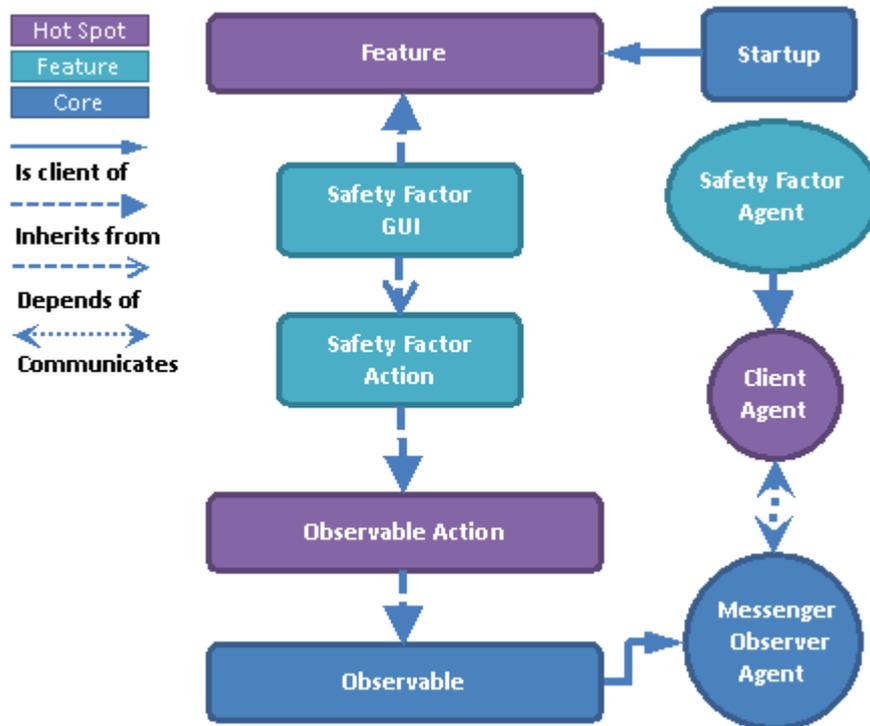


Figura 16 - Arquitetura do fator de segurança

3.5 Agente de precipitação

O agente de precipitação é uma das *features* da plataforma GeoRisc. Esse agente tem como objetivo dar suporte e fazer cálculos necessários ao modelo de precipitação. Esse modelo, se refere aos critérios adotados pela Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (GeoRio). Basicamente, esse modelo recebe como entrada dados pluviométricos e a partir desses dados é feito o cálculo da susceptibilidade.

Para utilizar esse modelo inicialmente o usuário deve informar um plano de informação com as taxas de precipitação acumuladas nas 24 horas anteriores. Posteriormente o usuário deve informar outro plano de informação com a intensidade de chuvas acumuladas em 96 horas, ou seja quatro dias. Após os passos apresentados, o usuário deve clicar com o botão direito nas camadas e selecionar qual é a camada atual e qual é a camada dos quatro dias, a fim de que, o agente possa identificar as camadas. Uma observação importante é que não há a necessidade do usuário abrir uma camada antes da outra.

Com os dois planos de informação o agente já é capaz de realizar o cálculo de susceptibilidade, mas como o resultado gerado pelo agente nesses casos é um quadrado com a susceptibilidade da região, foi adicionado mais um plano de informação opcional de forma que ele atue como uma máscara e recorte esse quadrado no formato da máscara. Dessa forma, a máscara nada mais é do que o mapa da área analisada, ficando mais visível o resultado do modelo no mapa. Para utilizara essa funcionalidade basta adicionar a máscara e clicar com o botão direito no nome do mapa e selecionar máscara.

Como pode ser visto na Figura 17, o modelo é bem simples. Basicamente, o agente calcula a função a partir dos dados informados para cada área do mapa e verifica se a região está acima ou abaixo do nível de deslizamento. E caso seja informada a máscara o agente recorta o resultado e gera o mapa com a susceptibilidade da região.

Critério de deslizamento

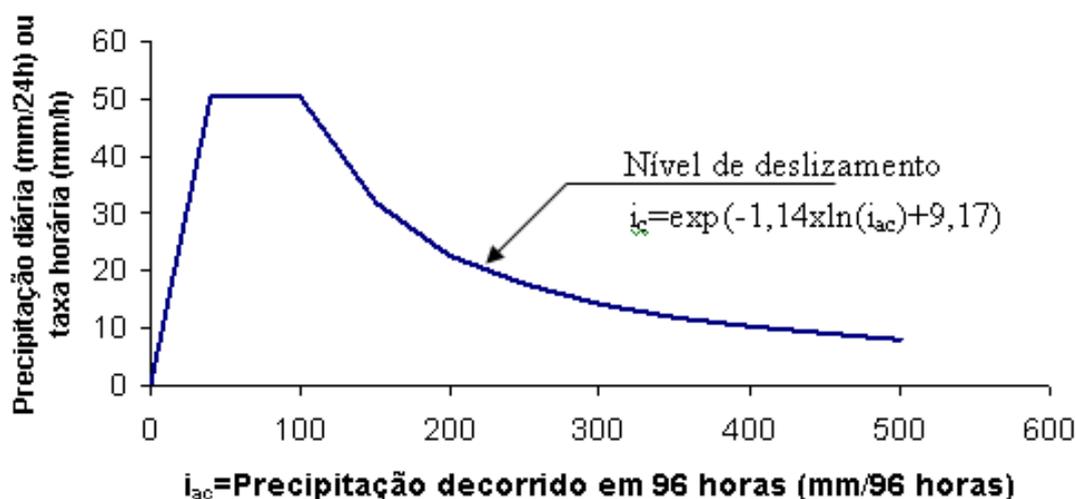


Figura 17 - Critério de precipitação

3.5.1 Arquitetura

Como pode ser visto na Figura 18, a arquitetura da *feature* de precipitação segue o padrão da plataforma, sendo instanciados os elementos Precipitation GUI da Feature, Precipitation Action do Observable Action e o Precipitation Agent do Client Agent.

O módulo de Startup é responsável pela inicialização da *feature*. O elemento Precipitation GUI cuida da criação da interface com usuário da *feature*. Esse elemento também utiliza o componente de gerenciamento da camadas de forma que possam ser adicionados múltiplas camadas no modelo. O Layer Manager cuida também do armazenamento de dados relativos a camada, como qual é a camada da chuva atual e qual é a de quatro dias atrás. O elemento de interface também se comunica com o módulo de visualização de mapas, de modo que os múltiplos mapas adicionados possam ser sobrepostos e renderizados para a visualização.

O elemento Precipitation Action é responsável por capturar as ações disparadas pelo usuário e avisar os observadores interessados nessas ações. O observador interessado pertencente a essa *feature* é o Precipitation Agent. Esse agente quando é avisado decide o comportamento adequado para instanciar de acordo com o tipo de ação disparado.

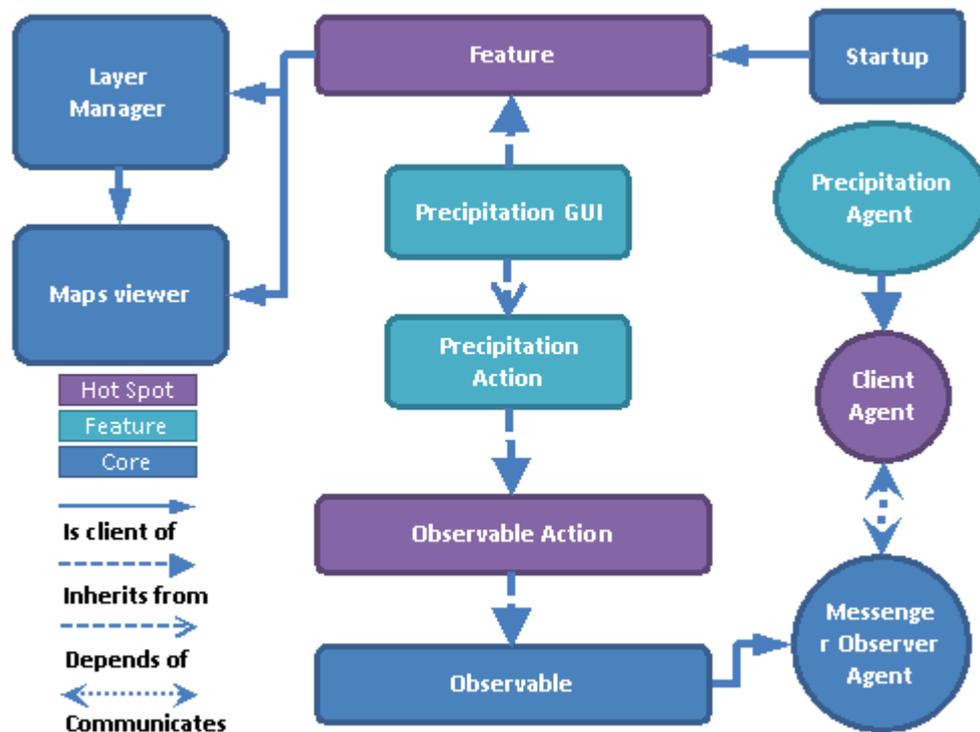


Figura 18 - Arquitetura de precipitação

3.6 Agente de Comparação de modelos

O agente de comparação de modelos é uma das *features* da plataforma GeoRisc. Esse agente não representa um modelo, ele é uma funcionalidade adicionada a plataforma. Essa funcionalidade basicamente faz comparações entre modelos que geram algum mapa de susceptibilidade com escorregamentos que ocorreram no passado na mesma região dos mapas de susceptibilidade e apresenta uma porcentagem de acerto dos mapas de susceptibilidade.

Para fazer essas comparações, primeiramente o usuário deve executar os modelos que gerem algum mapa de susceptibilidade, o sistema armazena automaticamente o ultimo resultado de cada modelo executado. Posteriormente o usuário deve informar um mapa especial chamado de mapa de inventário. Nesse mapa estão contidos os escorregamentos geo-referenciados que ocorreram no passado.

Com os mapa de inventário, o agente de comparação de modelos obtém os modelos que geram algum mapa de susceptibilidade e compara esse mapa com o mapa de inventário. O agente verifica se o escorregamento do inventário está contido em regiões de grande probabilidade de escorregamento contido no mapa de susceptibilidade. E assim o agente informa a porcentagem que o mapa de susceptibilidade abrange os escorregamentos passados em dada região.

3.6.1 Arquitetura

Como pode ser visto na Figura 19, a arquitetura da *feature* de comparação de modelos segue o padrão da plataforma, sendo instanciados os elementos Comparison GUI da Feature, Comparison Action do Observable Action e o Comparison Agent do Client Agent.

O módulo de Startup é responsável pela inicialização da *feature*. O elemento Comparison GUI cuida da criação da interface com usuário da *feature*. Esse elemento também utiliza o componente de gerenciamento da camadas de forma que possam ser adicionados múltiplas camadas no mo-

cumentação é disponibilizado para a comunidade científica e para entidades governamentais, a fim de que cada vez mais a plataforma seja aplicada e evolua.

Referências

- AMARAL, C.; FEIJÓ, R. **Aspectos Ambientais dos Escorregamentos em Áreas Urbanas**. In: *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Vitte. A. C.; Guerra, A.J.T. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2004, Cap.7, pp. 193-224..
- FLORES, C. D. **Fundamentos dos Sistemas Especialistas**. In: BARONE, D. A. C. *Sociedades Artificiais: a nova fronteira da inteligência nas máquinas*. Porto Alegre: Bookman, 2003. p.332.
- Richard M. Iverson, 2000, Landslide triggering by rain infiltration: IN: *Water Resources Research*, July 2000, vol.36, no.7, p.1897-1910
- Jennings, N. R. (2001). "An agent-based approach for building complex software systems." Communications of the ACM **44**(4): 35-41.
- MENDES, RAQUEL DIAS. **Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no Gerenciamento da Informação**. *Ci. Inf.*, Brasília, v. 26, n. 1, Jan. 1997. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-19651997000100006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 08 de Julho 2009.
- Minsky, N. H. and V. Ungureanu (2000). "Law-governed interaction: a coordination and control mechanism for heterogeneous distributed systems." ACM Trans. Softw. Eng. Methodol. **9**(3): 273-305.
- NUNES, C. *et al* . **On the Modularity Assessment of Aspect-Oriented Multi-Agent Systems Product Lines: a Quantitative Study**, II Brazilian Symposium on Software Components, Architectures, and Reuse (SBCARS 2008), Porto Alegre, Brazil, August 2008. p. 122-135.
- NUNES, I. O. *et al*. **Extending Web-Based Applications to Incorporate Autonomous Behavior**. In: *WebMedia 2008: XIV Brazilian Symposium on Multimedia and Web Systems*, 2008, Vila Velha. Proceedings of XIV Brazilian Symposium on Multimedia and Web Systems, 2008. p. 115-122.
- Wooldridge, M. and N. R. Jennings (1995). "Intelligent Agents: Theory and Practice." Knowledge Engineering Review **10**: 115-152.