

Análise de Risco para Infraestrutura Crítica: O Risk Rating para Avaliação do Risco Operacional de Rodovias

Santos, M.S¹.; Luz, K.A.¹; Gregório, I¹.

¹ OCS – Odebrecht Corretora de Seguros

1 - OBJETIVOS

O trabalho apresenta uma evidência prática dos resultados tangíveis que podem ser vislumbrados através da quantificação dos riscos, mediante a criação de um Risk Rating dos riscos operacionais de rodovias para orientar a estratégia de transferência dos riscos para o mercado segurador, estratégia essa que foi consolidada em um abrangente plano denominado “Programa de Seguros das Rodovias”, concebido de forma sinérgica pela OCS e cliente visando suplantiar os desafios impostos pelo baixo apetite do mercado segurador por concessões rodoviárias, tanto em nível local quanto global.

A implementação do programa calcado no Risk Rating permitiu ao cliente auferir condições bastante diferenciadas relacionadas aos seguros de Riscos Operacionais e Responsabilidade Civil, como desconto significativo da taxa de prêmio aplicada pelas seguradoras e, simultaneamente, a maximização da transferência de riscos para o mercado segurador mediante condições de coberturas mais abrangentes.

2 - INTRODUÇÃO

As concessões rodoviárias muito frequentemente têm se deparado com desafios nas transferências dos riscos operacionais e de liability para o mercado segurador, via apólices de seguro.

De um lado, o mercado segurador tem demonstrado um baixo apetite pelos riscos associados às concessões, sob o argumento de que esses ativos possuem, via de regra, elevada sinistralidade e outros desafios relevantes [1]. De outra parte, existe a necessidade de um melhor entendimento, por parte das concessionárias, do alcance e limitações da transferência de riscos via seguros, tanto no mercado doméstico quanto internacional, de forma a poder ajustar suas expectativas no processo de alocação dos riscos.

Se há diferentes expectativas de parte a parte no que se refere à transferência de riscos, há também o consenso de que o gerenciamento dos riscos associados a esses ativos pode trazer benefícios mútuos, melhorando a performance operacional das concessões e, simultaneamente, aumentando o apetite das seguradoras por estes ativos, o que resulta em condições de seguro mais ajustadas ao perfil de risco da concessão. Inobstante à importância da gestão de riscos para as concessões rodoviárias, o mercado brasileiro ainda não incorporou na integralidade os elevados padrões de análise e gestão de riscos já praticados internacionalmente na construção e operação de rodovias, a exemplo dos procedimentos praticados pelo Departamento de Transportes do Estado da Califórnia – CALTRANS ou ainda pelo Departamento de Transportes do Estado da Flórida – FDOT.

Para suplantiar as dificuldades oriundas da falta de apetite do mercado segurador por concessões rodoviárias, a corretora OCS desenvolveu um abrangente conjunto de ações consolidadas na forma de um “Programa de Seguros de Rodovias”, o qual foi desenvolvido ao longo de um ano de trabalho (entre Mai/14 e Mai/15). O referido programa de seguros visava a transferência dos riscos seguráveis (Riscos Operacionais e Liability) para todo um portfólio de rodovias, de maneira integrada, e não mais para cada rodovia analisada individualmente. Essa nova abordagem possibilitaria as seguintes vantagens: (i) redução da volatilidade para as seguradoras, uma vez que o risco do portfólio tende a ser menor do que o risco associado a uma rodovia individualmente, (ii) aumento do volume de prêmio das seguradoras, (iii) melhor ajuste da relação “risk/reward” para as seguradoras e (iv) viabilização da gestão estratégica do portfólio pelo mercado segurador;

A estratégia adotada pela OCS visava ainda, como uma externalidade positiva, aumentar o apetite do mercado segurador para o portfólio de rodovias do cliente, à luz das vantagens retro mencionadas. Esse aumento do apetite das seguradoras poderia trazer, como de fato trouxe, as seguintes vantagens para o cliente: (i) excesso de capacidade ofertada pelo mercado segurador, (ii) aumento da competitividade entre as seguradoras, (iii) redução dos custos com seguros de riscos operacionais e responsabilidade civil e (iv) aumento da extensão das coberturas, maximizando a transferência de riscos para o mercado segurador.

O Programa de Rodovias foi integralmente calcado na avaliação dos riscos dos ativos, de forma que as taxas de risco aplicadas pelas seguradoras pudessem refletir precisamente as exposições associadas a cada rodovia.

3 - DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

3.1 - Metodologia

De acordo com as definições da norma ISO 31000, risco é definido como o efeito das incertezas sobre os objetivos do projeto. Em aplicações práticas, o risco é frequentemente expresso pelo produto das consequências de um evento com a sua probabilidade de ocorrência, conforme segue:

$$EV(i) = P(i) \times C(i) \quad (1)$$

Onde $EV(i)$ é o valor esperado do risco do evento “i”, $P(i)$ a probabilidade associada a esse evento e $C(i)$ a soma das consequências do mesmo. A expressão retro possibilita a quantificação do risco de forma imediata e, por isso mesmo, foi utilizada nas análises levadas a efeito [2]. A quantificação dos riscos é considerada uma tarefa crucial do processo de gerenciamento dos riscos, que se caracteriza por uma sequência de ações coordenadas que visam a identificação, avaliação, tratamento e monitoramento dos riscos ao longo do ciclo de vida do projeto. Um processo robusto de gerenciamento de riscos traz benefícios inequívocos à performance das operações e também é reconhecido pelo mercado segurador, uma vez que possibilita maior conhecimento dos riscos associados aos ativos do cliente e também promove espaço para decisões estratégicas por parte dos seguradores.

Importante destacar que diferentes tomadores de decisão têm diferentes percepções de risco em um arranjo contratual do tipo BOT (Build-Operate-Transfer), uma vez que as ameaças podem afetar diferentemente os stakeholders do projeto. O estudo desenvolvido teve por objetivo caracterizar os riscos que podem afetar simultaneamente a concessionária e o segurador, como apresentado na Figura 1, notadamente os riscos cobertos nas apólices de Riscos Operacionais e de Responsabilidade Civil.

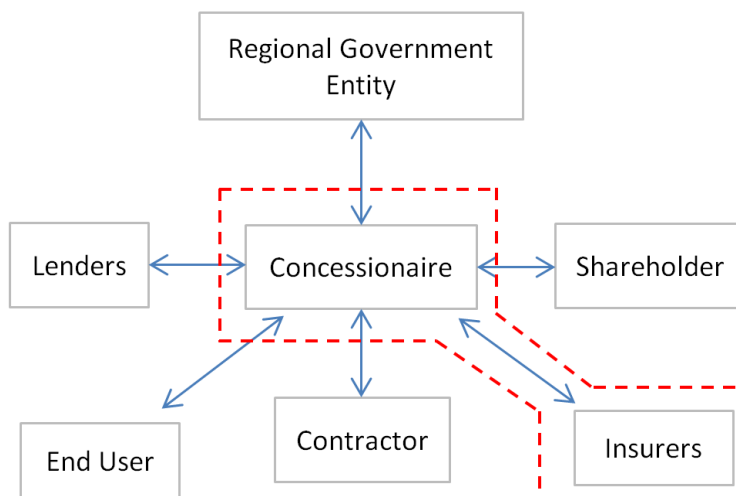


Figura 1 – Arranjo típico de um projeto de BOT e identificação das partes cujos riscos serão abordados no presente trabalho (destacadas em vermelho).

Destarte, o presente estudo não está no contexto de um ERM - Enterprise Risk Management, uma vez que não contempla exposições como o risco reputacional, social, regulatório, político, financeiro e de TI. Mesmo não estando no contexto do ERM, considera-se que este estudo pode fornecer subsídios relevantes para programas mais abrangentes de risk management, com foco em todas as exposições do empreendimento. O processo de cálculo do Risk Rating de uma rodovia em particular está sumarizado na Figura 2.

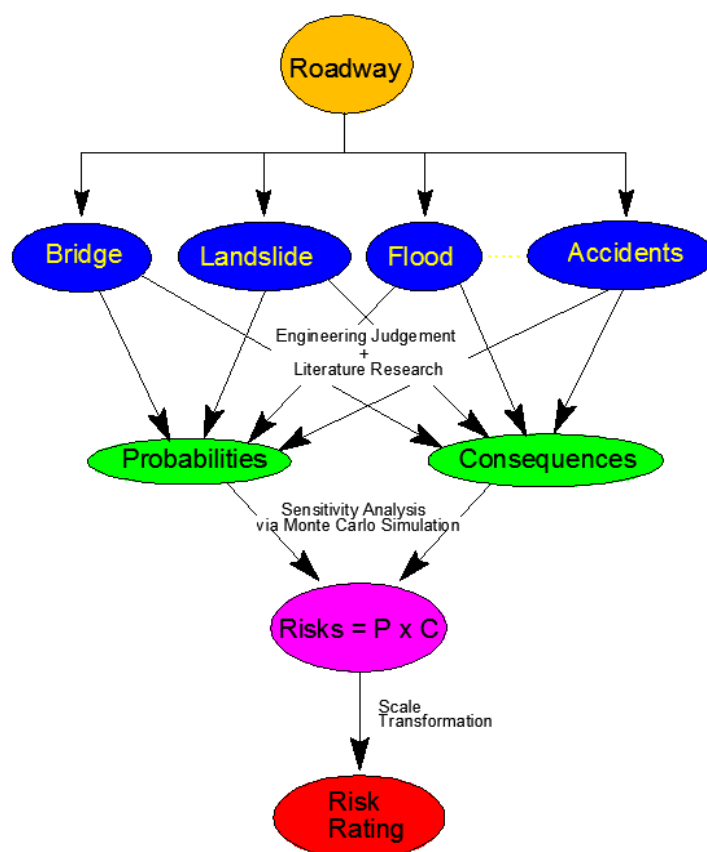


Figura 2 – Diagrama de processo para a obtenção do Risk Rating de cada uma das rodovias do portfólio considerado.

Conforme se depreende da figura retro, o processo se inicia com a determinação das exposições operacionais mais relevantes das rodovias. Como consignado anteriormente, tais cenários são aqueles que podem afetar simultaneamente o segurado e a seguradora.

O estágio seguinte compreendeu as estimativas de probabilidades e impactos associados a cada exposição operacional. Essa etapa exigiu um minucioso estudo dos elementos que influenciam a magnitude dos impactos e as probabilidades de ocorrência. A fim de acomodar as incertezas inerentes, simulações de Monte Carlo foram utilizadas para gerar valores de probabilidade e impacto dentro de intervalos pré-estabelecidos. O último estágio contemplou o cálculo do Risk Rating em si a partir das magnitudes dos riscos. Tal foi efetuado utilizando uma transformação matemática com a finalidade de comprimir a escala de valores, conforme será posteriormente descrito.

3.2 - Critérios de Tolerância a Riscos

Um dos maiores desafios do trabalho foi a especificação do nível de tolerância a riscos dos stakeholders de interesse, segurado e seguradora. Vários autores consideram essa especificação como um dos passos mais importantes do processo de gerenciamento dos riscos [3]. Importante deixar consignado que o conceito de “risco tolerável” (ou aceitável) possui natureza bastante subjetiva, uma vez que um risco julgado tolerável para a concessionária poderia ser inaceitável para o mercado segurador, e vice-versa.

A fim de acomodar essas diferentes percepções de risco dos stakeholders em uma base comum, a equipe da corretora efetuou uma abrangente pesquisa sobre riscos comumente aceitos pela sociedade (“Acceptable Societal Risks”). Normalmente os riscos aceitáveis são identificados a partir de gráficos conhecidos por “Diagramas F-N”, onde F é a frequência de ocorrência de um cenário de perda e N é o número mínimo de fatalidades associado a este cenário. O mesmo raciocínio se aplica a riscos patrimoniais, situação em que a tolerância a riscos é expressa na forma de “Diagramas F-L”, onde F é a frequência de ocorrência de um evento e L o custo (‘loss’) associado a esse evento. A expressão matemática de uma curva “F-L” típica possui o seguinte formato:

$$F \cdot L^{\alpha} = k \quad (2)$$

Onde F e L já foram definidos anteriormente, “ α ” é um fator associado ao apetite ao risco¹ e “k” o valor do risco. Na maioria dos casos α é tomado igual a 1, de tal forma que os limites que definem as diferentes classes de risco são representados por linhas retas.

A Figura 3 ilustra uma sobreposição de diferentes critérios de tolerabilidade a riscos a partir de diversas fontes consultadas, o que possibilitou a fixação de uma faixa de tolerância a riscos admitidos em diversos empreendimentos, variando entre aqueles considerados aceitáveis e aqueles considerados inaceitáveis. As tolerâncias resultantes foram validadas com o cliente. Importante notar, da figura mencionada, que mesmo um evento de baixo impacto pode ser considerado de alto risco (“risco vermelho”), desde que a frequência de sua ocorrência seja também elevada.

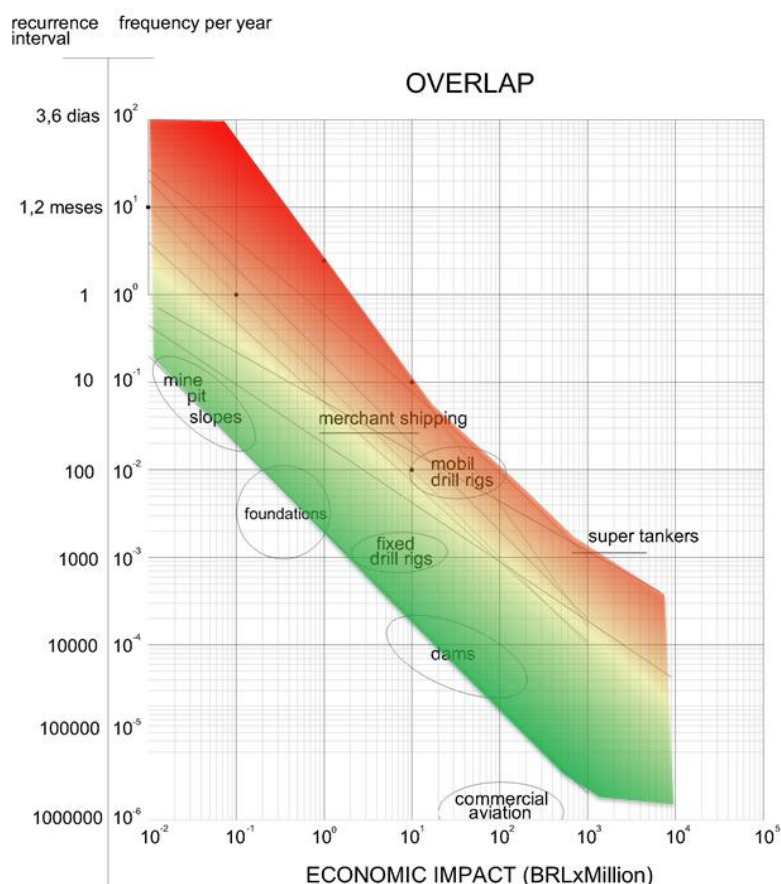


Figura 3 – Delimitação de uma faixa de tolerância a riscos, variando de riscos bastante aceitáveis (região verde) até riscos intoleráveis (região vermelha).

3.3 – Cálculo do Risk Rating

A Figura 4 mostra como foram criadas as cinco classes de risco (variando de ‘very low’ a ‘very high’) a partir da sobreposição dos critérios de tolerância. Na figura, ‘k’ é o resultado do produto entre probabilidade e impacto, ou seja, o valor do risco. Os valores de risco são convertidos em Risk Ratings mediante aplicação de uma transformação matemática conveniente, visando comprimir o intervalo de variação e facilitar a leitura e interpretação. A transformação matemática utilizada para converter valores de risco em valores de Risk Rating (RR) foi a seguinte (k é o valor do risco, ou seja, probabilidade x impacto):

¹ O valor de α varia conforme o apetite ao risco do stakeholder, que pode refletir comportamentos de aversão, propensão ou neutralidade a riscos.

$$RR = \left(\frac{k}{10^{-4}} \right)^{0,2} \quad (3)$$

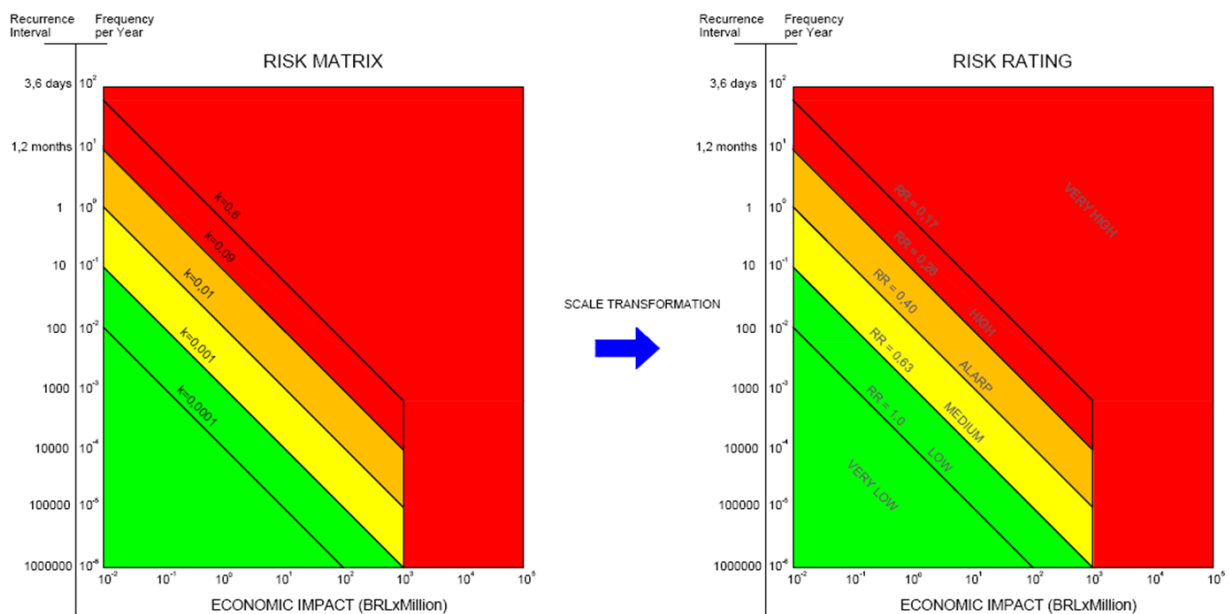


Figura 4 – Delimitação de uma faixa de tolerância a riscos, variando de riscos bastante aceitáveis (região verde) até riscos intoleráveis (região vermelha). O gráfico à esquerda apresenta a sobreposição dos critérios de tolerância e o gráfico à direita mostra as classes de risco e os Risk Ratings (RR) que as delimitam.

Dos gráficos apresentados, foram definidas as seguintes classes de risco com seus respectivos valores de Risk Rating:

Tabela 1 – Classes de risco e respectivos limites de Risk Rating.

Classe de Risco	Valores de Risk Rating (RR)
Muito Baixo	$RR \geq 1,0$
Baixo	$0,63 \leq RR < 1,0$
Médio	$0,40 \leq RR < 0,63$
ALARP	$0,26 \leq RR < 0,40$
Alto	$0,17 \leq RR < 0,26$
Muito alto	$RR < 0,17$

Cada um dos cenários de risco foi avaliado e classificado segundo as proposições da tabela supra. Como o trabalho se destinaria a um público com formação e especialidades diversas, uma das premissas do trabalho desenvolvido foi a necessidade de representar graficamente o risco de uma maneira tão simples quanto possível. Para tal, duas formas gráficas foram utilizadas: o gráfico de teia e o velocímetro. Em ambos, a distribuição das cores possui conexão com as classificações de risco e com os respectivos ratings (Figura 5).

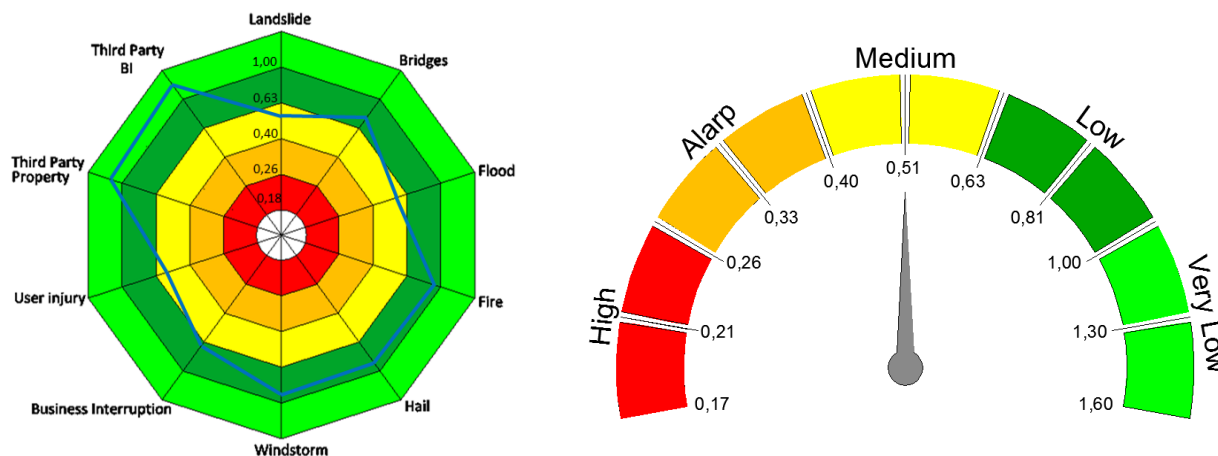


Figura 5 – Gráfico de teia utilizado para comunicar os ratings associados a cada hazard (esquerda) e o velocímetro utilizado para representar o rating de um hazard específico e do rating global de uma rodovia.

3.4 - Cenários de Perda Considerados

Como já mencionado anteriormente, o foco do trabalho foram os riscos operacionais das rodovias que pudessem afetar simultaneamente a seguradora e a concessionária. Em face da experiência da OCS no tema, bem como à luz das reuniões empreendidas com as seguradoras e resseguradoras parceiras, foram identificados os Riscos Operacionais mais relevantes para o trabalho de Risk Rating, ilustrados na Figura 6.

Inobstante não esgotar todos os riscos aos quais as rodovias estão expostas, julga-se que a figura retro mencionada sintetiza os riscos operacionais seguráveis mais relevantes, os quais estão mais frequentemente associados a sinistros em concessões rodoviárias com cobertura na apólice de riscos operacionais.

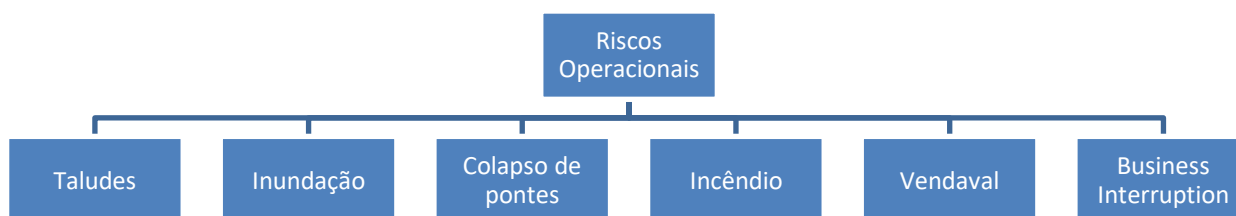


Figura 6 – Riscos operacionais considerados no trabalho de rating das rodovias.

Para a avaliação de todos os riscos apresentados na figura retro foi feita uma extensa revisão da literatura técnica disponível. Parte dessa pesquisa será apresentada conforme os tópicos que se seguem.

3.4.1 – Escorregamentos de Taludes

Escorregamentos de taludes são os cenários de perda prevalentes em rodovias e outros projetos lineares (pipelines, ferrovias, etc.), no Brasil e ao redor do mundo. Esse fenômeno se manifesta com uma ampla variedade de modos de falha e frequências de ocorrência, produzindo consequências em um largo espectro (desde dispêndios menores, demandando apenas limpeza, até interrupções prolongadas da operação e perda de vidas). Em taludes naturais essas ocorrências são normalmente associadas a precipitações intensas e existência de massas de solo instável, como os colúvios. Em taludes artificiais, as principais causas se relacionam a excesso de chuvas, inclinação inadequada ou deficiências de drenagem interna e/ou superficial. As figuras a seguir ilustram diferentes magnitudes dos escorregamentos de taludes.



Figura 7 – Escorregamento ocorrido na Serra do Mar, em São Paulo. Na figura à esquerda observa-se a pista de descida da Rodovia dos Imigrantes. A figura à direita mostra um detalhe da cicatriz de escorregamento próxima da Rodovia Anchieta [4].



Figura 8 – À esquerda, escorregamento catastrófico na rodovia que liga Tijuana à Ensenada (México). À direita, queda de blocos na BR-116.

Escorregamento de taludes é um termo genérico que contempla diferentes processos que podem ser distinguidos pelo tipo de material envolvido (rocha, solo, aterro artificial) e tipo de movimento (quedas, tombamentos, escorregamentos, fluxos). A Figura 9 apresenta a classificação mais aceita internacionalmente, conforme consignam vários autores [5,6].

Uma classificação apropriada do modo de falha de talude é importante para propósitos de análise de riscos porque os diversos tipos de movimento possuem diferentes fatores de susceptibilidades (fatores predisponentes) bem como distintas consequências associadas. Como exemplo, movimentos do tipo ‘fluxos’ e ‘quedas’ são caracterizados por altas velocidades de deslocamento e, conseqüentemente, possuem alto poder de destruição. No presente trabalho foram utilizadas as classificações dos movimentos já proposta em referências técnicas [7], na qual os movimentos são classificados em função da velocidade dos deslocamentos, associando possíveis impactos.

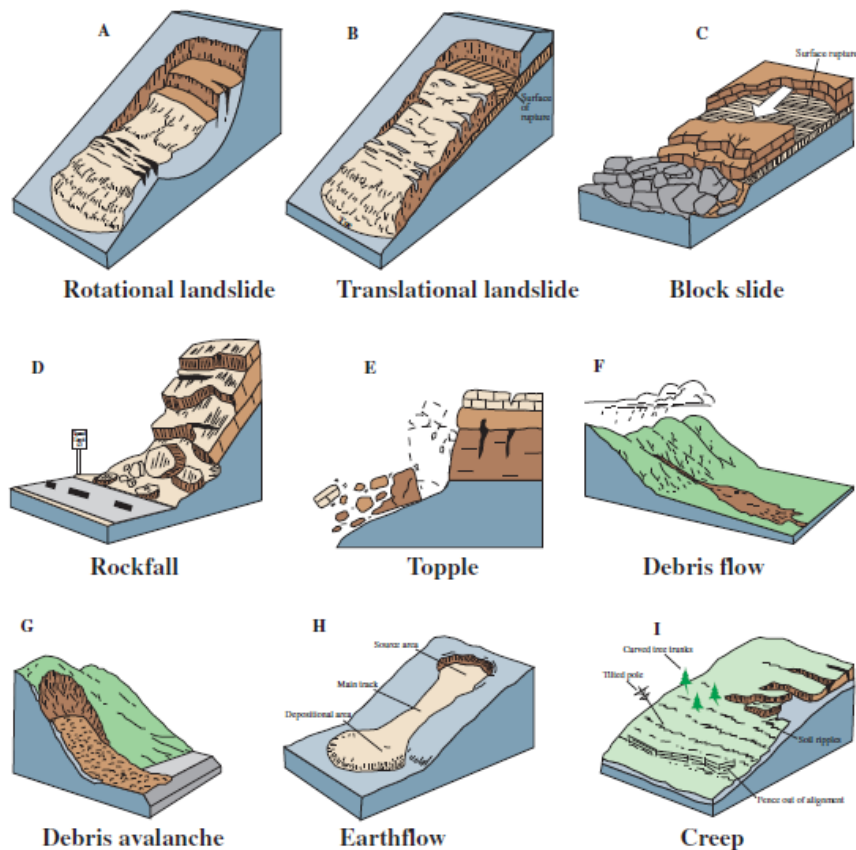


Figura 9 – Modos de falhas de taludes [6].

Especificamente com relação à análise de riscos de escorregamentos de taludes, diversos estudos têm considerado que a probabilidade do landslide pode ser estimada pela combinação de fatores de susceptibilidade (ex: geologia, geomorfologia, etc.) com fatores deflagradores, que iniciam o fenômeno (precipitações extremas, terremotos, erupções vulcânicas, entre outros).

A consequência, o segundo componente do risco, tem sido associada à vulnerabilidade dos elementos em risco, entendida como o grau de perda de um particular elemento ou conjunto de elementos afetados por um evento de queda de talude. A figura a seguir sintetiza a estruturação do processo de análise de risco de escorregamento de taludes [8].

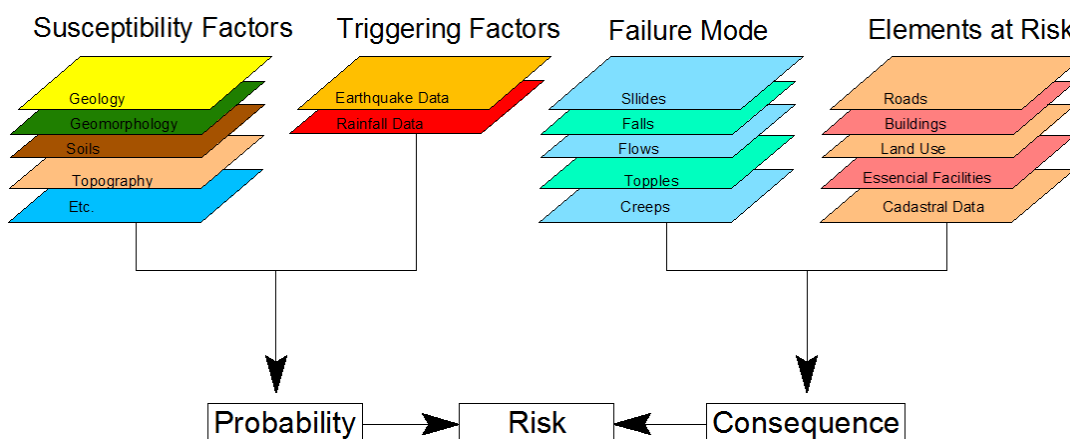


Figura 10 – Estruturação do processo de análise de riscos de taludes (adaptado de [8]).

Em relação às consequências, alguns autores têm apresentado os fatores determinantes da vulnerabilidade de pessoas e ativos sob risco [7]. Para danos materiais e perdas financeiras, os seguintes

aspectos são de interesse: (i) o volume do escorregamento em relação ao elemento em risco; (ii) a posição do elemento em risco, por exemplo à meia encosta, na crista ou no pé do talude; (iii) a magnitude do deslocamento absoluto e relativo do maciço; (iv) a taxa de avanço do movimento.

Com base nos aspectos supra, a avaliação das consequências de um escorregamento no trabalho desenvolvido pela OCS levou em conta os seguintes fatores: (i) altura do talude e modo de falha (como ‘proxies’ do volume do escorregamento), (ii) distância do elemento em risco e (iii) tipo de propriedade circunvizinha.

No que se refere aos volumes dos escorregamentos, estudos relevam predominância de pequenos volumes de terra, como evidencia a Figura 11 abaixo, construído a partir de dados da BR-116 [9] .

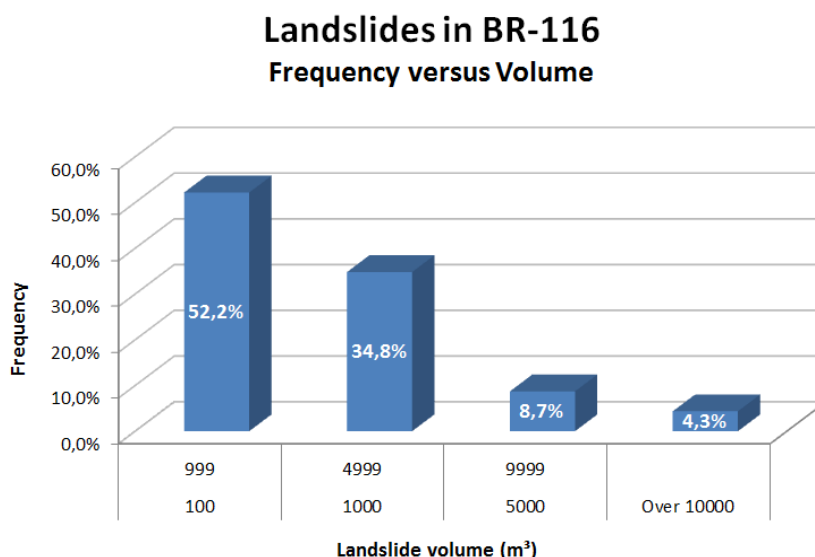


Figura 11 – Distribuição dos volumes de escorregamentos de terra na BR-116 [9]

Com fulcro na figura retro, foi possível distinguir três classes de volume de escorregamentos, as quais estão sumarizadas na Tabela 1. Cada classe está associada a uma combinação entre a altura do talude e modo de falha.

Tabela 1 – Classes de volume de escorregamento consideradas no presente trabalho.

Classe	Característica do cenário de perda	Altura do talude	Modo de falha	Intervalo de volume (m³)
1	Cenários de alta frequência	Baixo	Escorregamentos translacionais ou rotacionais rasos; pequenos volumes de queda ou tombamento de blocos.	$10^0 < V < 10^2$
2	Cenários de média frequência/severidade	Médio	Movimentos de profundidade mediana, escorregamentos planares de comprimento moderado, escorregamento de aterros	$10^2 \leq V < 10^4$
3	Cenários de alta severidade	Alto	Escorregamentos generalizados, fluxos de lama e/ou detritos, escorregamentos muito profundos	$V > 10^4$

Além da altura do talude (Slope Height - SH) e tipo de falha (Failure Type - FT), outros fatores condicionantes das consequências do escorregamento, como ocupação do entorno (Surrounding Property - SP) e distância do elemento em risco (distance – DT) foram também divididos em três classes para acomodar as

diferentes condições locais. Da combinação dos estados das variáveis SH, FT, SP e DT decorreram 5 classes de severidade, variando de “very low” a “very high”.

A OCS, valendo-se da própria experiência em sinistros envolvendo taludes e também em experiências compartilhadas pelas seguradoras parceiras e pelas concessionárias, associou a cada classe de consequência um valor de impacto, conforme sumarizado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de consequência para escorregamentos de taludes (somente danos materiais).

Classes de Consequências	
Classificação Qualitativa	Valor do Impacto (BRL)
Very Low	Menor que R\$ 50 mil
Low	R\$ 50 mil < C < R\$ 100 mil
Medium	R\$ 100 mil < C < R\$ 300 mil
High	R\$ 300 mil < C < R\$ 1milhão
Very High	Acima de R\$ 1 milhão

A estimativa da outra componente do risco, a probabilidade de ocorrência de um escorregamento de talude, é usualmente a parte mais difícil do processo e aquela que exige um maior esforço. No estudo desenvolvido pela OCS foi utilizada uma combinação entre experiência, associação com eventos deflagratórios e modelagem probabilística com simulação de Monte Carlo, como também recomenda a Australian Geomechanics Society. Vários estudos [10,11] sugerem que os fatores mais importantes para a estimativa das probabilidades são a inclinação do talude (SG – Slope Grade), geologia (GG - geology), a drenagem (DS – Drainage System) e o comportamento pretérito do talude, como a existência de movimentos passados ou cicatrizes aparentes (PB – Past Behaviour).

Os fatores supra foram combinados por meio de árvore combinatória, gerando cinco classes de probabilidade variando de “very low” a “very high”, conforme Figura 12.

As cinco classes foram associadas a valores numéricos de probabilidade, como apresentado na Tabela 3, seguindo recomendações de referências técnicas [7]. Importante salientar que os valores apresentados na referida tabela são probabilidades condicionais, i.e., representam a probabilidade de ocorrência de landslide dada a ocorrência de um evento deflagratório (ex: precipitação extrema ou terremoto).

Tabela 3 – Classes de consequência para escorregamentos de taludes (somente danos materiais).

Intervalos de Probabilidade	
Avaliação Qualitativa	Probabilidade de falha anual
Muito Baixa	$P_f < 10^{-4}$
Baixa	$10^{-4} < P_f < 3.10^{-3}$
Moderada	$3.10^{-3} < P_f < 10^{-2}$
Alta	$10^{-2} < P_f < 10^{-1}$
Muito Alta	$P_f > 10^{-1}$

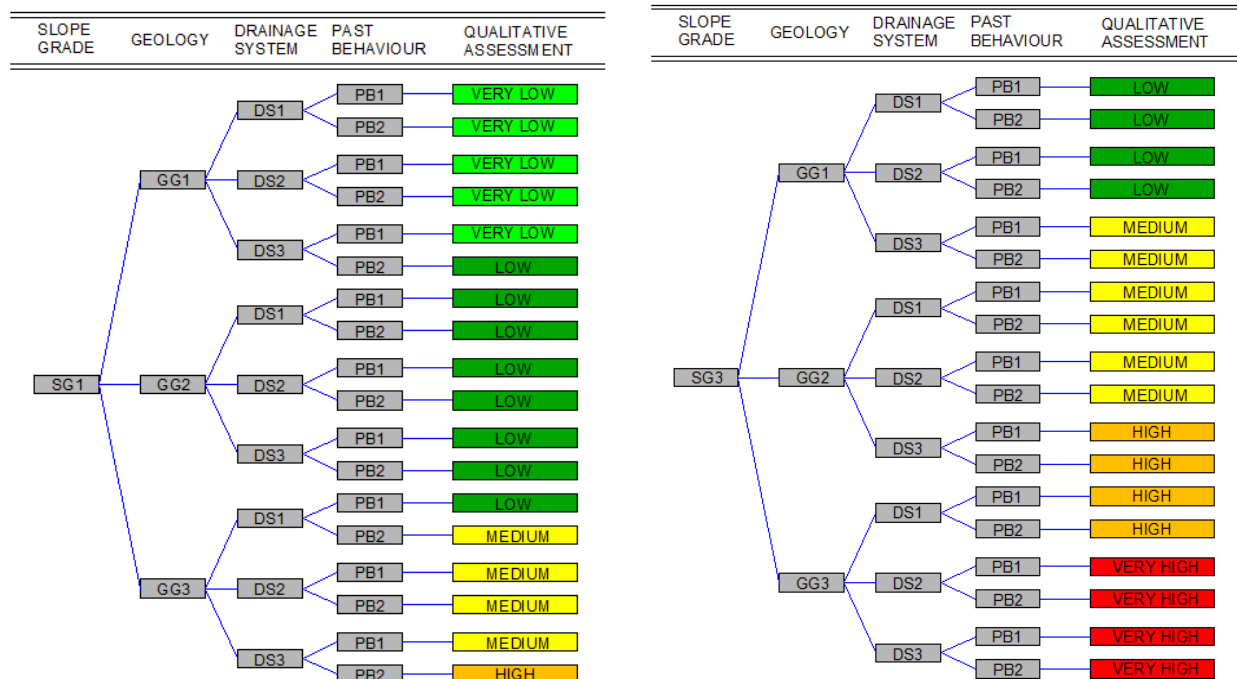


Figura 12 – Combinação dos fatores definidores da probabilidade de escorregamento e classificações correspondentes.

Uma vez definidos os métodos para a estimativa dos impactos e das probabilidades de escorregamentos, foi possível obter os riscos associados a cada um dos taludes das rodovias do portfólio analisado e, por conseguinte, os Risk Ratings associados ao cenário de landslide. As figuras 13 e 14 apresentam alguns desses resultados.

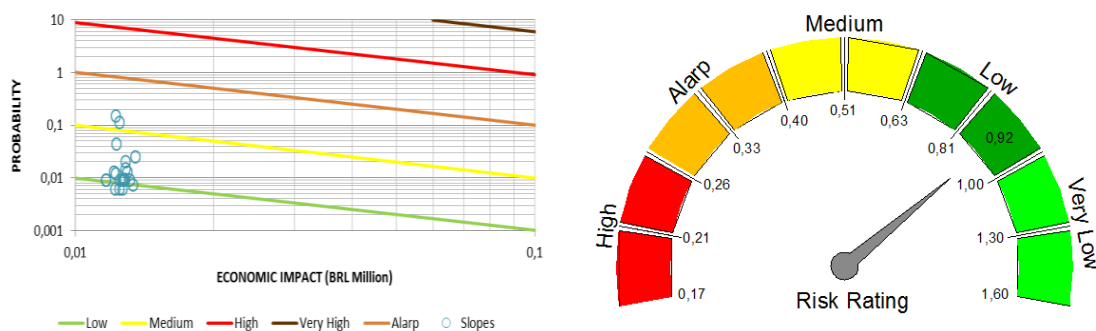


Figura 13 – Riscos dos taludes e respectivo rating para uma das rodovias do portfólio.

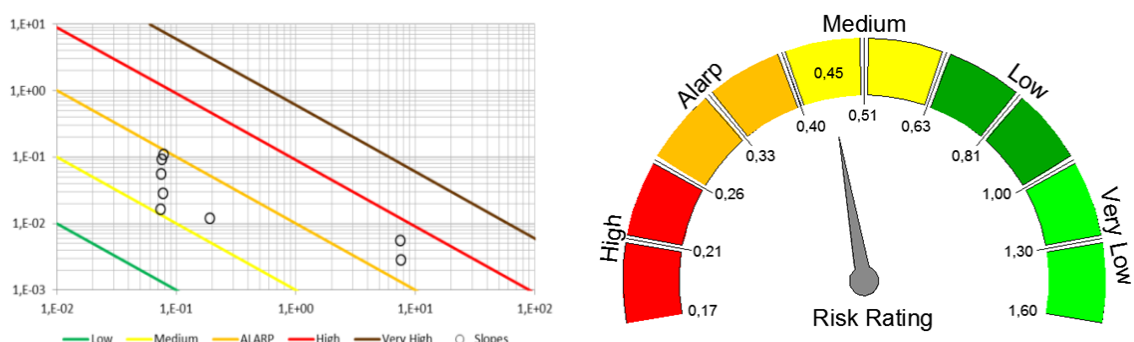


Figura 14 – Distribuição dos riscos dos taludes de outra rodovia do portfólio e risk rating associado.

3.4.2 – Inundações

Outro cenário de perda avaliado foram as inundações em rodovias, mais precisamente as inundações bruscas (flash floods), como denota a Figura 15. Precipitações extremas podem ocasionar, além de escorregamentos de talude, colapsos de aterros de rodovias que interceptam linhas de drenagem. Rupturas dessa espécie normalmente ocorrem devido à percolação de água pelo corpo do aterro, motivada, por exemplo, por perda de função de bueiros. Como mencionam alguns autores [12], os riscos associados a esse processo são bem reconhecidos na engenharia de barragens e diques, porém ainda são subestimados no caso de aterros rodoviários situados em pontos críticos. Geralmente aterros rodoviários não são projetados e construídos para funcionar como estruturas de controle de inundação, de maneira que se um represamento de água ocorre na região de montante pode haver colapso do aterro. Represamentos à montante com posterior percolação d'água pelo corpo do aterro podem derivar da combinação de um evento de flood (evento deflagratório) com algum comprometimento do funcionamento hidráulico do bueiro, como obstruções. A Figura 16 apresenta os fatores condicionantes desse cenário.



Figura 15 – Colapso de aterro rodoviário na rodovia ES-482.

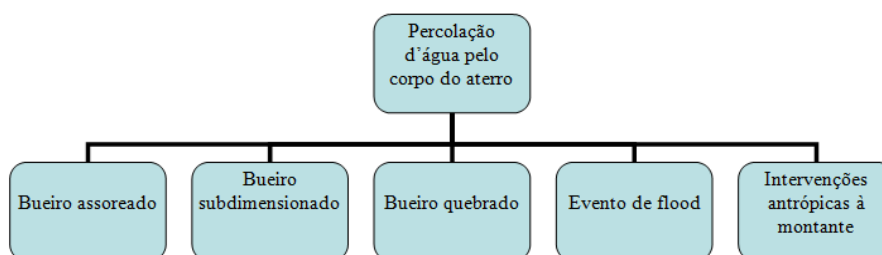


Figura 16 – Fatores condicionantes de colapsos de aterros rodoviários.

A concepção de bueiros de rodovias pressupõe a consideração de uma determinada chuva de projeto, associada a períodos de retorno de 10 anos, 20 anos, 50 anos ou outra recorrência [12]. Em qualquer caso, a probabilidade de escorregamento de aterro por efeito da inundação é pelo menos igual ao inverso do período de recorrência adotado em projeto, como mostra a equação a seguir.

$$P = \frac{1}{T} \quad (4)$$

Onde T é o intervalo de recorrência (em anos) e P é a probabilidade de excepcionalidade anual da vazão de projeto. Como exemplo, um bueiro projetado para uma recorrência de 20 anos terá uma probabilidade anual

de 5% de não conseguir escoar a vazão de projeto. Dada a probabilidade de um evento de inundação, a probabilidade do colapso do aterro rodoviário será condicionada pela susceptibilidade do bueiro (acumulação de sedimento, condição estrutural, etc) bem como alterações ocorridas nas áreas de montante em razão de ações antrópicas. Complementarmente, as consequências do colapso do aterro dependerão da altura do mesmo, propriedades circunvizinhas existentes e volume de tráfego. O processo de análise de risco de bueiros pode ser sumarizado na Figura 17.

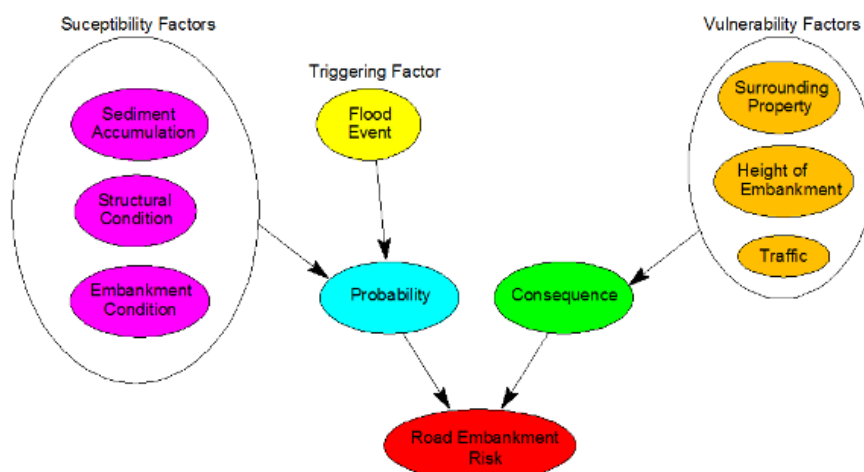


Figura 17 – Processo de análise de riscos de colapso de aterros rodoviários em fundos de vale.

Em que pese o fato do modelo ilustrado na figura retro contemplar as variáveis ‘propriedades circunzinhas’ (surrounding property) e volume de ‘tráfego’ (traffic), o modelo de avaliação de risco utilizado pela OCS somente contemplou as condições operacionais dos bueiros (Tabela 4) e a altura dos aterros (menor do que 3m; entre 3m e 10m; maior do que 10m de altura).

Tabela 4 – Estados da variável status operacional dos bueiros.

Status Operacional (OS)	Descrição
OS1	Bueiro completamente desobstruído e em boas condições estruturais.
OS2	Bueiro parcialmente obstruído. Danos moderados nas alas e/ou corpo do bueiro.
OS3	Bueiro severamente obstruído (80% da seção ou mais). Danos relevantes nas alas ou no corpo do bueiro.

Diante da impossibilidade de inspecionar todos os bueiros das rodovias no prazo fixado para o desenvolvimento do trabalho, os status operacionais dos mesmos foram avaliados com base nos informes passados pelas equipes de conserva e manutenção.

Assim como no caso do cenário de escorregamento de taludes, foram associados valores monetários às cinco classes de consequências, como propõe a Tabela 5.

Para a avaliação do risco à inundação foi necessário identificar os pontos críticos das rodovias, caracterizados pelos principais cruzamentos entre as rodovias e linhas de drenagem das bacias hidrográficas. Para tal identificação, o traçado de cada uma das rodovias avaliadas foi lançado em software específico de avaliação de Riscos de Catástrofes Naturais, o Swiss Re Cat Net, da resseguradora Swiss Re. A Figura 18 a seguir exemplifica a identificação dos pontos críticos em uma das rodovias analisadas.

Tabela 5 – Graus de impacto da ruptura de aterros rodoviários.

Classe de Consequência	Intervalos de custos de reconstrução
Very Low	Menos de R\$ 50 mil
Low	R\$ 50 mil < C < R\$ 100 mil
Medium	R\$ 100 mil < C < R\$ 300 mil
High	R\$ 300 mil < C < R\$ 1 milhão
Very High	Mais de R\$ 1 milhão

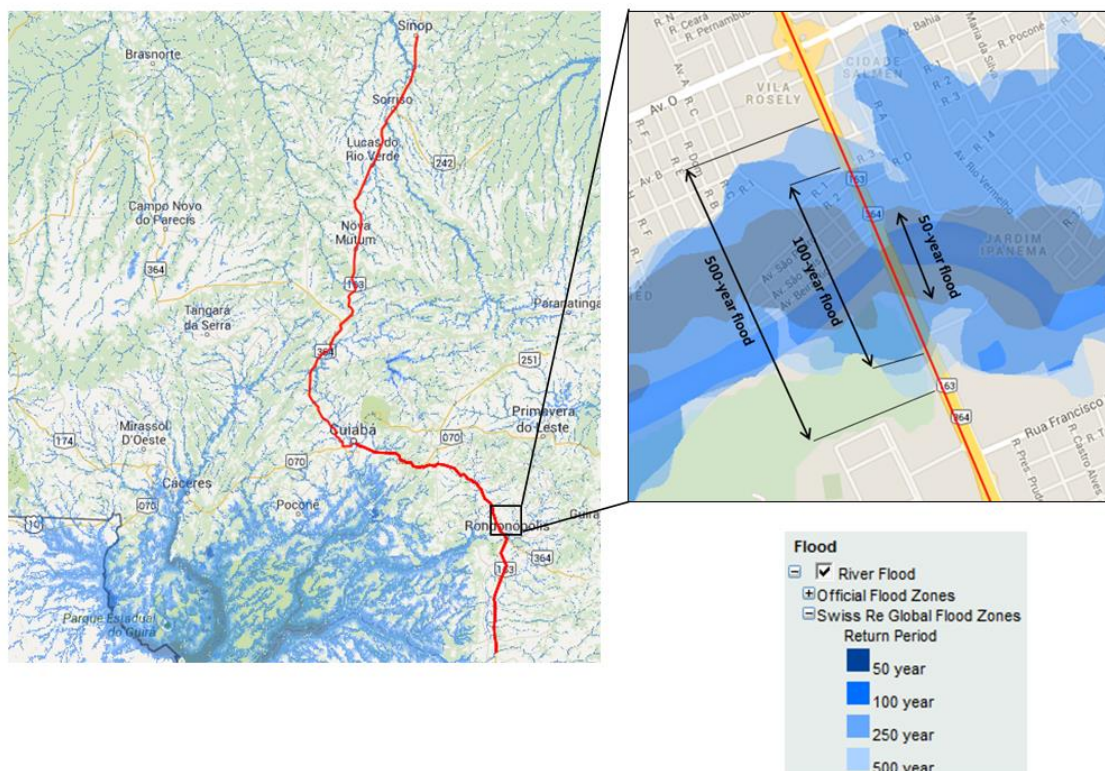


Figura 18 – Identificação das áreas de inundação nos cruzamentos da rodovia com linhas de drenagem de bacias hidrográficas, para diferentes períodos de recorrência.

Uma vez apresentada a metodologia para avaliação das probabilidades e consequências associadas às inundações, bem como o processo para identificação dos pontos críticos por meio de software específico, apresenta-se, à título exemplificativo, o resultado da análise para uma das rodovias do portfólio.

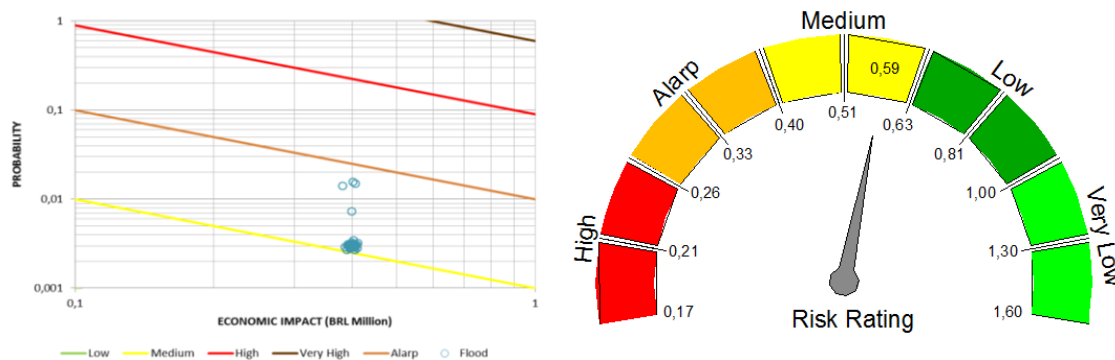


Figura 19 – Análise de risco de inundação da rodovia e respectivo Risk Rating.

3.4.3 – Colapso de Pontes e Viadutos

Colapsos de OAEs (Obras de Artes Especiais) são cenários muito raros, com taxas de falha tão baixas que normalmente se situam na região de riscos toleráveis do diagrama ‘F-N’, de acordo com o United States Army Corps of Engineers (USACE). Ainda que raros, colapsos de OAEs têm sido observados ao redor do mundo, levando à significativa perda econômica e de vidas. No Brasil, tais eventos são frequentemente associados à inundações, colisões ou, menos frequentemente, a erro de projeto e falta de manutenção. De acordo com diversos estudos, os aspectos hidráulicos, particularmente scour (erosão do leito marinho devido ao fluxo d’água) e inundações, são as principais causas de colapso de pontes. A Figura 20 a seguir ilustra o colapso de uma OAE e as principais causas-raiz [13].

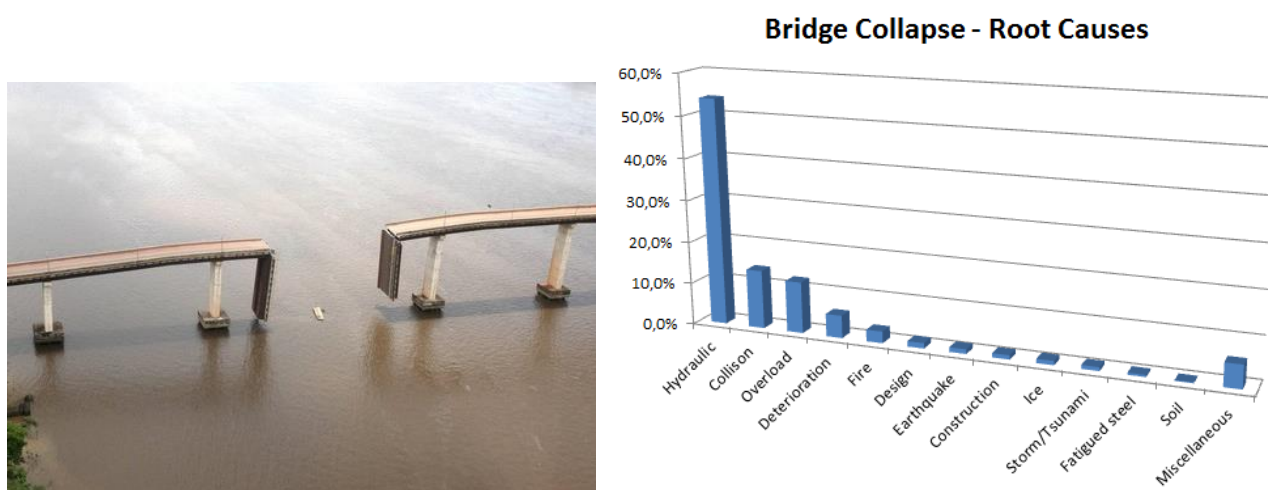


Figura 20 – Colapso parcial da ponte sobre o Rio Moju (PA/Brasil), após a colisão com uma balsa (esquerda) e causas-raiz do colapso de pontes/viadutos [13].

Colisão é a segunda causa predominante no colapso de OAEs, levando na maior parte das vezes à colapso parcial (94%) [14]. O autor retro citado, analisando um conjunto de 691 OAEs monitoradas pelo NYSDOT (Departamento de Transportes de Nova Iorque) ao longo de 25 anos, compilou taxas de falha de pontes em função da causa-raiz, como apresentado na Tabela 6. O autor afirma que os dados disponíveis permitem concluir que uma ponte é mais susceptível ao colapso do que viadutos, em face da interação com o fluxo d’água. Tal fato justifica a distinção entre ‘pontes’ e ‘viadutos’ para efeito de análise de riscos. O autor afirma ainda que a taxa de falhas anual para pontes estruturalmente deficientes é de cerca de 1/1000 [14], valor esse que serviu de referência para o presente estudo.

Em operações de rodovias, há um inequívoco consenso sobre a importância das inspeções de campo como subsídio à análise de riscos. Inspeções visuais de OAEs são executadas numa base anual, a menos que alguma condição mais crítica imponha a execução de inspeções mais frequentes (extraordinárias ou especiais). Durante as inspeções, aspectos de segurança, durabilidade e funcionalidade da OAE recebem uma classificação contemplada na norma brasileira NBR 9452. Tal classificação permite urgenciar as ações de reparo das estruturas e são importantes fontes para a classificação expedita da probabilidade de ruína.

Para estimar os intervalos de probabilidade de colapso das OAEs duas variáveis serão consideradas: o ‘tipo de estrutura’ (ponte ou viaduto) e a ‘condição estrutural’, avaliada em inspeções rotineiras/especiais efetuadas pelas concessões.

Para estimativa das consequências foi considerado o grau de redundância da estrutura. A partir do arranjo estrutural da OAE (vãos isostáticos versus vãos hiperestáticos) é possível estimar a área do tabuleiro afetada pelo colapso.

Tabela 6 – Taxas de falha de OAEs nos USA [14].

Mode of Failure	Partial Collapse	Total Collapse	Not Indicated	Total Count	Percentage of Total	Proportion of Failure Rate
Hydraulic Total	82	115	182	379	54.85%	1.17E-04
Flood	26	56	116	198	28.65%	6.10E-05
Scour	46	41	44	131	18.96%	4.03E-05
Debris	1	5	17	23	3.33%	7.08E-06
Hydraulic	6	8	0	14	2.03%	4.31E-06
Ice	3	3	5	11	1.59%	3.39E-06
Drift	0	2	0	2	0.29%	6.16E-07
Collision Total	47	24	18	89	12.88%	2.74E-05
Collision	35	13	14	62	8.97%	1.91E-05
Auto/truck	9	4	1	14	2.03%	4.31E-06
Barge/Ship	3	5	3	11	1.59%	3.39E-06
Train	0	2	0	2	0.29%	6.16E-07
Overload	11	44	23	78	11.29%	2.40E-05
Deterioration Total	25	12	24	61	8.83%	1.88E-05
Deterioration	23	11	15	49	7.09%	1.51E-05
Steel-deterioration	2	1	9	12	1.74%	3.69E-06
Fire	6	9	4	19	2.75%	5.85E-06
Storm/Hurricane	1	16	0	17	2.46%	5.23E-06
Geotechnical	7	4	1	12	1.74%	3.69E-06
Construction	3	7	0	10	1.45%	3.08E-06
Miscellaneous	1	2	4	7	1.01%	2.16E-06
Earthquake	0	5	1	6	0.87%	1.85E-06
Fatigue-steel	4	0	1	5	0.72%	1.54E-06
Design Error	2	1	1	4	0.58%	1.23E-06
Tree Fall	0	0	2	2	0.29%	6.16E-07
Bearing	1	1	0	2	0.29%	6.16E-07
Sum	190	240	261	691	100.00%	2.13E-04

O custo de reconstrução considerado foi aquele apresentado pelo DNIT na tabela SICRO, admitindo-se uma variação de até 30% para mais em razão de custos extraordinários, aceleração de prazo, etc. Para viabilizar a avaliação, as concessionárias gentilmente forneceram à OCS os resultados das inspeções rotineiras e/ou especiais efetivadas nas estruturas. A Figura 21 a seguir apresenta os resultados da análise de riscos pontes/viadutos em uma das rodovias do portfólio, com fulcro na metodologia descrita.

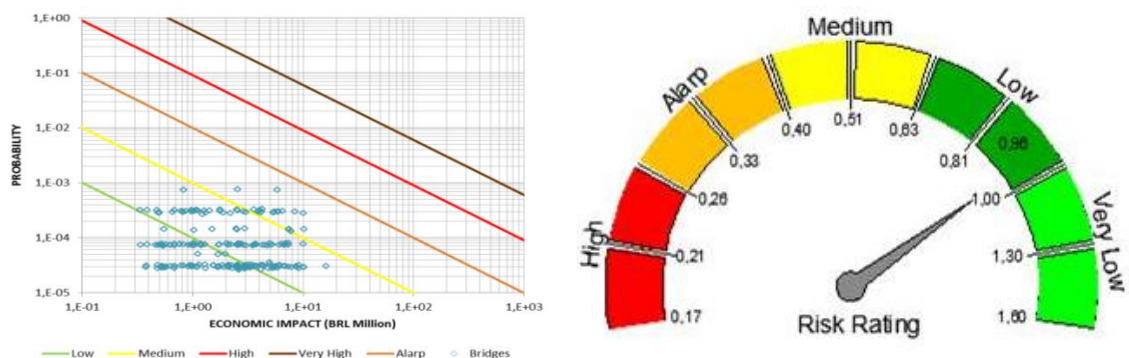


Figura 21 – Resultados da análise de riscos das OAEs de uma das rodovias e respectivo Risk Rating para as pontes/viadutos.

4 – RESULTADOS OBTIDOS

A partir dos Risk Ratings associados a cada um dos cenários de risco (escorregamento de taludes, inundação, etc..) foi possível obter os Risk Ratings totais de cada uma das rodovias. Salienta-se que, além dos cenários aqui apresentados (escorregamentos de talude, inundações e colapso de OAEs), também foram contemplados cenários de incêndio, vendaval e interrupção de negócios.

Os autores deixam de apresentar em detalhes as análises dos referidos cenários uma vez que os mesmos estão minuciosamente descritos e analisados nos Risk Reports criados para cada rodovia. As figuras a seguir ilustram os Ratings de todas as rodovias analisadas.

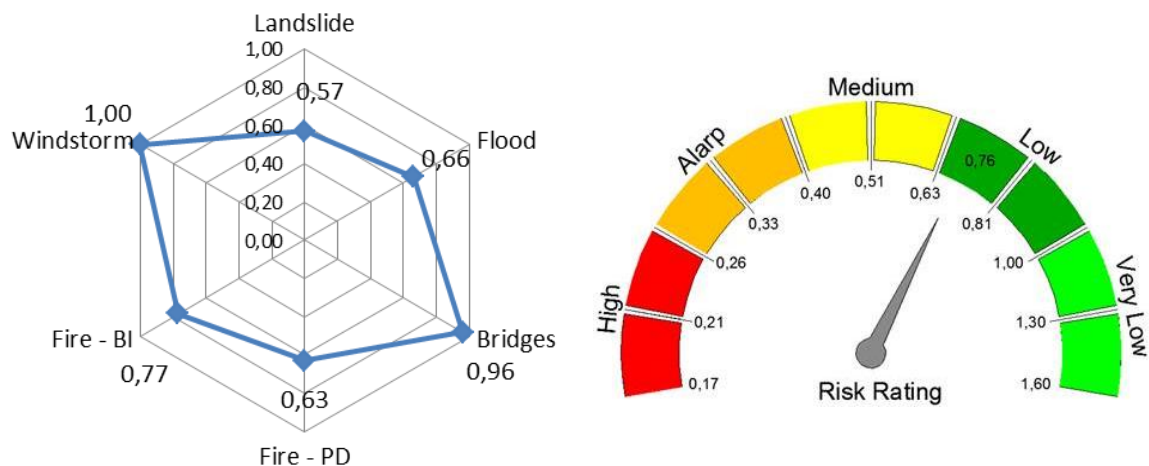


Figura 22 – Ratings de cada um dos hazards e Rating global para a “Rodovia 1”.

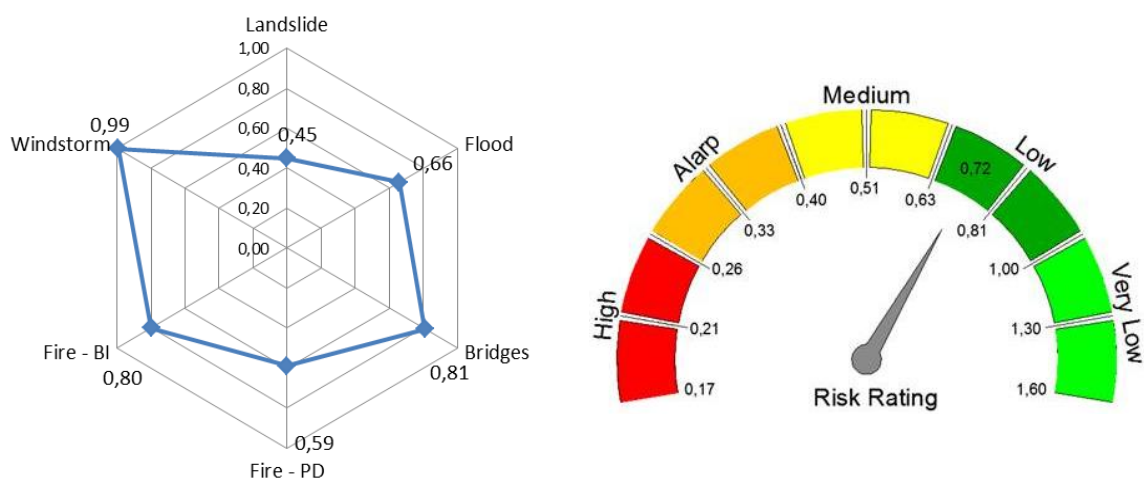


Figura 23 – Ratings de cada um dos hazards e Rating global para a “Rodovia 2”.

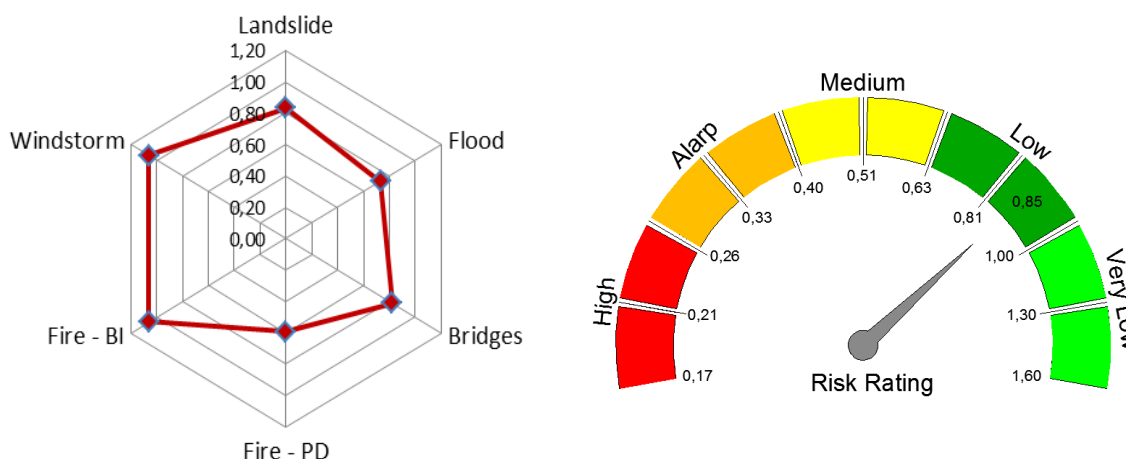


Figura 24 – Ratings de cada um dos hazards e Rating global para a “Rodovia 3”.

A identificação e análise quantitativa dos riscos permitiu aumento de conhecimento por parte da seguradora, gerando como consequência uma série de ajustes benéficos para as concessionárias nas apólices de seguros.

Um dos resultados mais relevantes alcançados foi a redução significativa dos custos com seguros de Riscos Operacionais e Responsabilidade Civil das rodovias, com uma economia anual de 30%.

Outro benefício relevante do “Programa de Seguros das Rodovias” foi a obtenção de coberturas mais abrangentes, com maior transferência dos riscos para o mercado segurador, bem como significativa redução das franquias. Nesse sentido, as coberturas de seguros que amparam as rodovias do portfólio contemplam condições inéditas no mercado brasileiro de seguros de concessões rodoviárias, condições essas mais abrangentes do que aquelas vigentes em outras concessionárias com operação mais longa.

O Risk Rating se constituiu ainda um indicador natural de risco das rodovias, na perspectiva da seguradora, possibilitando o acompanhamento da performance do ativo ao longo das sucessivas renovações de seguros.

5 – COMENTÁRIOS FINAIS

Os autores demonstraram que a quantificação dos riscos do ativo possibilita a otimização da tomada de decisão mesmo no âmbito dos seguros de Riscos Operacionais e de Responsabilidade Civil.

Ficou evidenciado, no âmbito do Programa de Seguros de Rodovias, que as seguradoras podem, com base na quantificação dos riscos, propor ajustes nas apólices com o fito de absorver maior parte do risco a um custo reduzido.

Os autores pretendem estimular a quantificação de riscos no contexto das contratações de seguros, a fim de garantir maior equilíbrio da relação risco/recompensa para ambas as partes, seguradora e segurado.

LISTA DE REFERÊNCIAS

- [1] EBNER, G.; HUPPMAN, H.; JENDREN, B.; SCHITTEK, H-B.; ZOLLER, I; “Insurance of BOT projects: a challenge and an opportunity”. *IMIA conference*. The International Association of Engineering Insurance. South Africa (1997).
- [2] FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION “Transportation Risk Management: International Practices for Program Development and Project Delivery”. International Technology Scanning Program. Federal Highway Administration. US Department of Transportation (2012).
- [3] RISK AND INSURANCE MANAGEMENT SOCIETY “Exploring Risk Appetite and Risk Tolerance”. RIMS Executive Report: The Risk Perspective (2012).

- [4] de MELLO, L.G. “Avaliação de riscos e segurança em obras de infraestrutura: casos típicos de problemas ocorridos e relacionados a questões geológico-geotécnicas”. Em: Anais do XV COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Gramado, Rio Grande do Sul (2010).
- [5] VARNES, D.J. “Slope Movement Types and Processes”. In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control, editors R.L. Schuster and R.J. Krizek, TRB, National Research Council, Washington D.C, 11-33 (1978).
- [6] U.S. GEOLOGICAL SURVEY “Landslide Types and Processes”. Fact Sheet 2004-3072 (2004).
- [7] AUSTRALIAN GEOMECHANICS SOCIETY “Landslide Risk Management Concepts and Guidelines”. Australian Geomechanics Society. Australian Geomechanics 35(1): 49-92 (2000).
- [8] SAFELAND “Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning”. 7th Framework Programme. Cooperation Theme 6 Environment (including climate change). Sub Activity 6.1.3 Natural Hazards (2011)
- [9] D’ORSI, R.N. *Correlação entre pluviometria e escorregamentos no trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ (Rio-Teresópolis)*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro (2011).
- [10] HUNT, R.E. *Geotechnical Engineering Investigation Manual*. McGraw-Hill, New York, EUA (1984).
- [11] BRESSANI, L.A. “Escorregamentos de terra: alguns conceitos básicos”. In: Geotechnologies for Natural Disaster Monitoring in Latin America (2013);
- [12] POLEMIO, M.; LOLLINO, P. “Failure of infrastructure embankments induced by flooding and seepage: a neglected source of hazard”. In: Natural Hazards and Earth System Sciences. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union (2011).
- [13] DAVIS-McDANIEL, C.E. *Fault-tree model for bridge collapse risk analysis*. Master’s degree Thesis – Graduate School of Clemson University (2011).
- [14] COOK, W. *Bridge Failure Rates, Consequences and Predictive Trends*. PhD Thesis – Utah State University (2014).