



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

RESILIÊNCIA DA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA: ESTUDO DE CASO DA PRIORIZAÇÃO DE RISCOS EM TALUDES COM AS METODOLOGIAS GUT E AHP FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Bianca Paola Gabardo¹; Celso Luiz dos Santos Romeiro Júnior¹; Luiz Gustavo Blisa de Paula Ferreira¹; Luiz Marcelo de Souza¹

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise abrangente sobre a resiliência das rodovias frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas, com foco na vulnerabilidade dos taludes. Inicialmente, discute-se a importância crescente da resiliência das rodovias diante dos impactos climáticos adversos, especialmente no contexto brasileiro, onde a infraestrutura rodoviária existente enfrenta sérias dificuldades de adaptação. O estudo destaca o impacto das chuvas intensas sobre os taludes, o que resulta na saturação do solo, erosão e deslizamentos de terra cada vez mais frequentes e severos, representando uma ameaça significativa à segurança e à operacionalidade das rodovias. Nesse contexto, as metodologias AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) são aplicadas para hierarquizar os terraplenos de maior risco, levando em consideração sua vulnerabilidade às mudanças climáticas. As análises realizadas permitiram uma avaliação criteriosa dos diferentes fatores que contribuem para a vulnerabilidade dos taludes e a relevância de cada critério estudado. Os resultados obtidos revelam convergências e divergências entre as contribuições das duas metodologias, ressaltando suas diferentes abordagens e fundamentos teóricos, entretanto ambas demonstraram eficácia na identificação e priorização dos 12.438 taludes analisados, indicamos os com maior potencial de risco. Essas análises proporcionaram ferramentas para o planejamento estratégico de medidas preventivas e corretivas, que podem ser utilizadas para a melhoria da resiliência das rodovias e para o desenvolvimento de estratégias de adaptação mais eficientes. A aplicação dessa abordagem contribui para a segurança e a sustentabilidade da infraestrutura rodoviária em face aos desafios climáticos emergentes.

PALAVRAS-CHAVE: Rodovias Resilientes; Mudanças Climáticas; Taludes; GUT; AHP.

ABSTRACT

This article presents a comprehensive analysis of the resilience of highways in the face of challenges posed by climate change, with a focus on the vulnerability of slopes. Initially, the growing importance of highway resilience in the face of adverse climate impacts is discussed, especially in the Brazilian context, where existing road infrastructure faces serious adaptation challenges. The study highlights the impact of heavy rains on slopes, resulting in soil saturation, erosion, and increasingly frequent and severe landslides, posing a significant threat to highway safety and operability. In this context, the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) methodologies are applied to prioritize the most at-risk embankments, considering their vulnerability to climate change. The analyses conducted allowed for a thorough assessment of the different factors contributing to slope vulnerability and the relevance of each studied criterion. The results reveal convergences and divergences between the contributions of the two methodologies, highlighting their different approaches and theoretical foundations; however, both demonstrated effectiveness in identifying and prioritizing the 12,438 analyzed slopes, indicating those with the highest potential risk. These analyses provided tools for strategic planning of preventive and corrective measures, which can be used to improve highway resilience and develop more efficient adaptation strategies. The application of this approach contributes to the safety and sustainability of road infrastructure in the face of emerging climate challenges.

KEY WORDS: Road Resilience; Climate Change; Slopes; GUT; AHP.



¹ Arteris, bianca.gabardo@arteris.com.br; celso.romeiro@arteris.com.br; gustavo.ferreira@arteris.com.br; luizmarcelo.souza@arteris.com.br

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas impactam o mundo de diversas maneiras, desde o aumento das temperaturas globais até alterações nos padrões de precipitação, eventos climáticos extremos e mudanças nos ecossistemas. As consequências destas mudanças afetam diversos setores civis, e exercem um efeito particularmente significativo na infraestrutura de transportes. Conforme evidenciado no estudo "Adaptação às Mudanças Climáticas: Infraestrutura de Transportes" apresentado pelo Centro Clima (2015), as rodovias se destacam como as mais vulneráveis, sujeitas a uma gama mais ampla e grave de riscos em comparação com outras modalidades de transporte. No contexto brasileiro, as rodovias existentes se mostram ainda mais vulneráveis, uma vez que não foram projetadas para antecipar tais mudanças no clima. Eventos extremos de chuva, variações na precipitação, flutuações de temperatura e a elevação do nível do mar estão entre os efeitos que impactam diretamente a rodovia e o formato de manutenção adotado por governos e administradores da rede viária.

Nesse cenário, destaca-se a influência da chuva sobre elementos naturais, como os taludes. De acordo com Kandalai, John e Patel (2023), os problemas nos solos em decorrência das mudanças climáticas são amplos e variados, incluindo questões como aumento na infiltração de água, elevada poro-pressão por conta da saturação do solo, fenômenos de liquefação do solo, falhas, alterações no potencial de absorção, recalques diferenciais e danos à cobertura vegetal, todos os quais podem desencadear consequências como deslizamentos de encostas, inundações e erosão em taludes. O colapso ou a ocorrência de acidentes geológicos nessas estruturas pode afetar o trecho rodoviário de diversas maneiras, desde a desestabilização das camadas de pavimento, a interdição da pista devido à presença de material na faixa de rolamento ou até resultar em acidentes envolvendo os usuários da rodovia.

Diante desse contexto, a resiliência das rodovias surge como um conceito de crescente importância, permitindo uma abordagem essencial para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e garantir a sustentabilidade a longo prazo da infraestrutura rodoviária. Rodovias resilientes são aquelas capazes de resistir e se recuperar de eventos extremos, adaptando-se de forma eficiente às condições ambientais em constante evolução a partir da habilidade de identificar problemas, estabelecer prioridades e, em caso de colapso, mobilizar pessoal e recursos financeiros de forma inteligente (ZHANG; WANG, 2016). Isso implica não apenas em projetar e construir estradas capazes de suportar os impactos das mudanças climáticas, mas também em implementar estratégias de gestão de riscos e manutenção proativas.

Neste estudo, um grupo de concessões de rodovias buscou, através de duas metodologias de priorização (GUT e AHP), analisar e identificar os taludes que representam maiores riscos à infraestrutura rodoviária devido às particularidades físicas e locais de cada terrapleno, em um universo de 12.438 taludes na administração. Corroborando com o conceito de rodovias resilientes, foi considerado nas metodologias a vulnerabilidade de cada característica dos taludes em relação às mudanças climáticas, com o objetivo de aprimorar o planejamento de ações preditivas, a gestão de riscos e a alocação de recursos financeiros de maneira mais eficiente.



METODOLOGIA

Com o intuito de realizar a priorização de taludes que oferecem riscos à rodovia, foram utilizadas as metodologias de priorização GUT e AHP na avaliação e hierarquização das características dos taludes consideradas críticas frente às mudanças climáticas.

GUT

A metodologia GUT, também conhecida como Gravidade, Urgência e Tendência, é uma técnica amplamente utilizada na gestão de projetos e na tomada de decisões. Ela oferece uma estrutura sistemática para avaliar e priorizar problemas, riscos ou oportunidades com base em três critérios principais: a gravidade do impacto, a urgência da ação necessária e a tendência de evolução do problema ao longo do tempo (KEPNER e TREGOE, 1981).

De acordo com Daychouw (2012), no primeiro critério, a gravidade refere-se à magnitude do impacto que o problema pode causar se não for tratado adequadamente. Quanto maior a gravidade, maior a prioridade atribuída ao problema. O segundo critério, urgência, diz respeito à necessidade de uma resposta imediata. Problemas que exigem ação rápida para evitar danos significativos são classificados com alta urgência. Por fim, a tendência avalia a evolução esperada do problema, considerando se está se deteriorando, mantendo-se estável ou melhorando. Essa análise da tendência ajuda a determinar a urgência da intervenção e a melhor estratégia a ser adotada.

Cada fator (G, U, T) recebe uma pontuação de 1 a 5, onde 1 representa a condição menos problemática e 5 representa a mais problemática, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios adotados para atribuição de pontuação para cada variável analisada em relação à gravidade, urgência e tendência do processo (DEWES ET AL, 2021)

Pontuação	Gravidade	Urgência	Tendência
5	Extremamente grave	Precisa de ação imediata	Irá piorar rapidamente
4	Muito grave	Muito urgente	Irá piorar em pouco tempo
3	Grave	Urgente	Irá piorar a médio prazo
2	Pouco grave	Pouco urgente	Irá piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não irá piorar

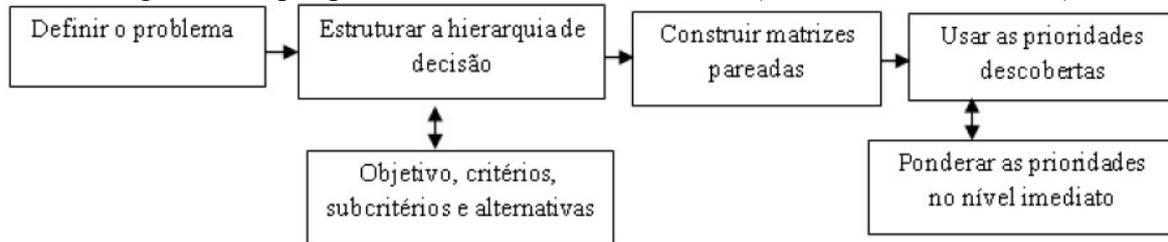
A maior pontuação de cada critério é elencada, e o produto entre os três fatores são então priorizados, conforme descrito por BERSSANETI e BOUER (2013).

AHP

A Análise Hierárquica de Processos (AHP, do inglês *Analytic Hierarchy Process*) é uma técnica de tomada de decisão multicritério amplamente utilizada para lidar com escolhas complexas. Desenvolvida por Thomas Saaty na década de 1970, a AHP fornece uma estrutura matemática para a decomposição de problemas em hierarquias de critérios e alternativas, facilitando a análise e a comparação entre diferentes opções.



Figura 1. Etapas para tomada de decisão no AHP (REIS; TERAZZI, 2020)



Na metodologia AHP, Saaty (1994) determina que os decisores são solicitados a decompor o problema em uma estrutura hierárquica de objetivos, critérios e alternativas. Em seguida, eles atribuem pesos relativos aos critérios e realizam comparações pareadas para avaliar a importância relativa de cada critério em relação aos outros. Essas comparações são transformadas em uma matriz de prioridades que reflete as preferências individuais ou coletivas dos tomadores de decisão. O ponto fundamental da metodologia é traduzir em pesos o julgamento de relevância de cada critério analisado (MOGOLLÓN, 2000).

Tabela 2. Escala fundamental dos números absolutos de Saaty (Adaptado de SAATY, 2008)

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância Moderada	Experiência e julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em detrimento de outra.
5	Forte Importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre outra
7	Muito forte ou importância demonstrada	Uma atividade é favorecida muito fortemente em detrimento de outra.
9	Extrema Importância	A evidência que favorece uma atividade em detrimento de outra é da mais alta ordem possível de afirmação.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Utilizados como valores de consenso entre as opiniões.

Após a realização da matriz de julgamentos, é realizada a avaliação de consistência para analisar se os julgamentos da matriz de decisão são consistentes ou não. Para tal, o índice de consistência (IC) calculado deve ser menor que 0,1 (AVILA, 2023).

A principal vantagem da AHP é a capacidade de lidar com problemas complexos de forma estruturada e racional, incorporando tanto aspectos quantitativos quanto qualitativos. Ao fornecer uma estrutura analítica clara e um método consistente para avaliar e ponderar múltiplos critérios, a AHP ajuda os decisores a chegar a conclusões mais fundamentadas e a tomar decisões mais informadas em uma ampla gama de contextos, desde o planejamento estratégico até a seleção de fornecedores e a alocação de recursos.

Neste trabalho, a metodologia AHP foi utilizada para avaliar os mesmos aspectos utilizados na metodologia GUT. Ao contrário da metodologia GUT, onde são dados níveis de 1 a 5 para cada



montante de gravidade, urgência e tendência, na metodologia AHP os aspectos dos taludes são confrontados entre si, e dado à cada um uma porcentagem de priorização.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o intuito de direcionamento nos conceitos de rodovias resilientes, foram analisadas, na metodologia GUT e AHP, dez características dos taludes: altura, inclinação, distância do acostamento, condição da drenagem, nota de monitoramento, pluviosidade média e máxima mensal, histórico de sinistro, VDM (volume diário médio de tráfego) na rodovia e número de faixas de rolamento por sentido da via. Tais características foram escolhidas pois impactam no comportamento do talude em situações extremas de chuvas, no risco que um possível sinistro poderia causar aos usuários, colaboradores e ativos da rodovia, e na dificuldade de operacionalização da rodovia em uma situação extrema (DER, 1991; DNIT, 2006; VALENTE, 2023).

GUT

Na metodologia GUT, para cada característica considerada na Tabela 3, foram designados 5 intervalos de criticidade de acordo com a experiência e histórico das concessionárias para a correspondência com a metodologia de Saaty.

Tabela 3. Características dos taludes por tipo de critério adotado (AUTORES, 2024)

GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
Altura	Distância do Acostamento	Nota de Monitoramento
Inclinação	Nº de Faixas por Sentido	Ocorrência de Sinistro
Condição da Drenagem	VDM	-
Pluv. Média Mensal	-	-
Pluv. Máxima Mensal	-	-

A Tabela 4 representa um exemplo de intervalos de criticidades, neste caso de tendência de acordo com a Nota de Monitoramento, com os parâmetros GUT referentes. Os monitoramentos aqui citados se referem aos monitoramentos anuais de taludes exigidos em contrato, baseados no Manual de Taludes de Rodovias do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER/SP). No monitoramento, são determinadas notas de gravidade da situação de cada talude que podem ir de 0 a 3, sendo 3 o pior caso.

Tabela 4. Parâmetros da Matriz GUT para a criticidade de Tendência em Nota de Monitoramento (AUTORES, 2024)

Nota de Monitoramento	Parâmetros da Matriz GUT
Nota 0 atual	1
Recorrência de nota 1	2
Aumento de nota nos últimos anos	3
Recorrência de nota 2 (ou 3 no passado)	4



Nota 3 atual, independente da recorrência	5
---	---

Em seguida, para cada talude foi atribuída o parâmetro de 1 a 5 designado nos intervalos do passo anterior, em todas as 10 características analisadas. Com as correlações numéricas feitas, elencou-se o maior parâmetro de gravidade (verificando o maior parâmetro entre altura, inclinação, condição da drenagem, pluviosidade média e máxima mensal), o maior parâmetro de urgência (verificando os parâmetros de distância do acostamento, número de faixas de rolamento por sentido e VDM) e tendência (analisando o parâmetro da nota de monitoramento e do histórico de ocorrência de sinistro). Ao final, tem-se para cada talude um valor de G, U e T, que multiplicados, resultam no valor GUT daquele terrapleno.

Como o parâmetro mínimo é 1 e o máximo é 5, a relação de taludes poderá ter valores GUT entre 1 e 125, sendo 125 a priorização mais importante. Este último cenário, na prática, indicaria um talude com risco de ocorrência de sinistros de alta gravidade e que afetariam a rodovia e sua operacionalização caso ocorressem.

AHP

Na segunda metodologia testada, AHP, o processo foi adequado para que a comparação com o GUT fizesse sentido. Os critérios principais da matriz foram: Gravidade, Urgência e Tendência, e os subcritérios da matriz foram as mesmas características parametrizadas na metodologia GUT, conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Critérios e subcritérios da matriz AHP (AUTORES, 2024)

Critérios	Gravidade	Urgência	Tendência
Subcritérios	Altura	Distância do Acostamento	Tendência de Nota
Subcritérios	Inclinação	Número de Faixas por Sentido	Ocorrência de Sinistro
Subcritérios	Condição da Drenagem	VDM	-
Subcritérios	Pluviosidade Média Mensal	-	-
Subcritérios	Pluviosidade Máxima Mensal	-	-

O segundo passo foi o de construir a matriz de julgamento dos critérios de seleção. Nessa etapa, ao invés de dar pesos e importâncias diferentes para cada critério, optou-se por manter a proporção nos 3 critérios, já que na metodologia GUT não há distinção de importância entre gravidade, urgência e tendência. Desta forma, cada critério teve peso 33,33%, conforme indicado nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Matriz de julgamento dos critérios (AUTORES, 2024)

Critérios	Gravidade	Urgência	Tendência
Gravidade	1,0	1,0	1,0
Urgência	1,0	1,0	1,0
Tendência	1,0	1,0	1,0
Σ	3,0	3,0	3,0



Tabela 7. Normalização e vetor prioridade da matriz de julgamento dos critérios (AUTORES, 2024)

Crítérios	Gravidade	Urgência	Tendência	Prioridade
Gravidade	33,3%	33,3%	33,3%	33,3%
Urgência	33,3%	33,3%	33,3%	33,3%
Tendência	33,3%	33,3%	33,3%	33,3%

Em seguida, as mesmas matrizes de julgamento e normalização foram montadas para avaliar os subcritérios. Cada matriz de julgamento dos subcritérios foi realizada em conjunto com quatro profissionais envolvidos diretamente na gestão da manutenção de taludes do grupo, que discutiram os pesos e relevâncias entre os subcritérios baseados no histórico de atuação e de condução de sinistros em taludes, e definiram os resultados das matrizes. As Tabelas de 8 a 13 apresentam a matriz de julgamento, a normalização e vetor prioridade dos subcritérios de acordo com cada critério apresentado.

Tabela 8. Matriz de julgamento dos subcritérios de gravidade (AUTORES, 2024)

Subcritérios	Altura	Inclinação	Condição da Drenagem	Pluv. Média Mensal	Pluv. Máxima Mensal
Altura	1	3	5	7	3/1
Inclinação	1/3	1	3	5	5/1
Condição da Drenagem	5/1	3/1	1	3	7/1
Pluv. Média Mensal	7/1	5/1	3/1	1	9/1
Pluv. Máxima Mensal	3	5	7	9	1

Tabela 9. Normalização e vetor prioridade da matriz dos subcritérios de gravidade (AUTORES, 2024)

Subcritérios	Altura	Inclinação	Condição da Drenagem	Pluv. Média Mensal	Pluv. Máxima Mensal	Prioridade
Altura	21,4%	31,5%	30,6%	28,0%	18,7%	26,0%
Inclinação	7,1%	10,5%	18,4%	20,0%	11,2%	13,4%
Condição da Drenagem	4,3%	3,5%	6,1%	12,0%	8,0%	6,8%
Pluv. Média Mensal	3,1%	2,1%	2,0%	4,0%	6,2%	3,5%
Pluv. Máxima Mensal	64,2%	52,4%	42,9%	36,0%	56,0%	50,3%

IC: 0,05



Tabela 10. Matriz de julgamento dos subcritérios de urgência (AUTORES, 2024)

Crítérios	Distância do Acostamento	Número de faixas por sentido	VDM
Distância do Acostamento	1	5	5
Número de faixas por sentido	1/5	1	1
VDM	1/5	1	1

Tabela 11. Normalização e vetor prioridade da matriz dos subcritérios de urgência (AUTORES, 2024)

Crítérios	Distância do Acostamento	Número de faixas por sentido	VDM	Prioridade
Distância do Acostamento	71,4%	71,4%	71,4%	71,4%
Número de faixas por sentido	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
VDM	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%

IC: 0,00

Tabela 12. Matriz de julgamento dos subcritérios de tendência (AUTORES, 2024)

Crítérios	Tendência de Nota	Ocorrência Instabilização
Tendência de Nota	1,0	0,5
Ocorrência Instabilização	2,0	1,0

Tabela 13. Normalização e vetor prioridade da matriz dos subcritérios de tendência (AUTORES, 2024)

Crítérios	Tendência de Nota	Ocorrência Instabilização	Prioridade
Tendência de Nota	33,3%	33,3%	33,3%
Ocorrência Instabilização	66,7%	66,7%	66,7%

IC: 0,00

A Tabela 14 mostra o ranking dos indicadores de priorização de taludes após a consolidação das matrizes finais.



Tabela 14. Ranking dos indicadores de priorização de taludes (AUTORES, 2024)

Subcritérios	Critérios	Gravidade	Urgência	Tendência	Prioridade Total	Ranking
		33%	33%	33%		
Distância do Acostamento			71,4%		23,8%	1
Ocorrência Instabilização				66,7%	22,2%	2
Pluv. Máxima Mensal	50,3%				16,8%	3
Tendência de Nota				33,3%	11,1%	4
Altura	26,0%				8,7%	5
Número de faixas por sentido			14,3%		4,8%	6
VDM			14,3%		4,8%	6
Inclinação	13,4%				4,5%	7
Condição da Drenagem	6,8%				2,3%	8
Pluv. Média Mensal	3,5%				1,2%	9

As características dos taludes que tiveram maior prioridade foram a distância do acostamento, pluviosidade máxima mensal e histórico de ocorrência de sinistro. A distância do acostamento ficou em primeiro lugar por determinar se um sinistro, por mais grave que seja, irá ou não afetar a rodovia e oferecer perigo aos usuários. Destaca-se que a análise deste estudo é realizada em uma malha rodoviária concedida com padrão de tráfego médio a alto, onde qualquer evento que interfira no acostamento ou faixa de rolamento tem impacto significativo na operação e segurança da rodovia. Tal impacto pode ser de diferente magnitude em rodovias de baixo tráfego. O histórico de ocorrência de sinistro no local é importante pois indica o quão vulnerável o talude é ao local e às características físicas e climáticas, e sinaliza taludes com tendência a sinistrarem novamente ou de agravar o que já ocorreu anteriormente. A pluviosidade máxima mensal engloba os picos de chuva máxima no local, representando neste estudo as ocorrências de chuvas extremas devido às mudanças climáticas.

Em seguida, para aplicação das prioridades nas informações de taludes, foram normalizadas as variáveis contínuas, para que a grandeza de valores não interferisse na priorização. As variáveis categóricas foram adaptadas de forma coerente com as classificações realizadas no GUT.

DISCUSSÕES

Como a metodologia GUT determina intervalos de criticidade para cada nota de 1 a 5, os resultados obtidos são delimitados de forma mais categorizada, visto que a menor criticidade sempre será 1, e a maior, 125. Já na metodologia AHP, são definidos pesos que somados dão 100%. Esses pesos são multiplicados pela normalização da característica avaliada e, visto a diversidade de taludes, características físicas e locais possíveis no cenário do grupo, as combinações são muito diversas e não se tem um conjunto de taludes com a maior criticidade, por exemplo. Esta foi uma dificuldade encontrada ao comparar as duas metodologias.

Para fins de análise, foi selecionada a mesma quantidade de taludes considerados mais críticos nas duas metodologias, a partir da quantidade de taludes com o valor GUT de 125. Comparando os taludes indicados como prioritários, houve convergência nas priorizações em 50% dos taludes. Entretanto observou-se que os taludes divergentes, apesar de não serem os mais



prioritários, não tinham criticidade baixa. Considerando os taludes prioritários da AHP como base, os GUTs eram em sua maioria 100 e 125 (26 taludes com alto AHP tiveram GUT de 80 a 40).

Ao comparar os resultados obtidos através das metodologias GUT e AHP para a priorização de problemas ou riscos, é importante considerar que enquanto a GUT se baseia em critérios mais amplos e simplificados - gravidade, urgência e tendência - a AHP permite uma decomposição hierárquica mais detalhada, incorporando múltiplos critérios e subcritérios. Ainda, a forma como os critérios são ponderados também difere entre os dois métodos: na AHP, os pesos são atribuídos através de comparações pareadas, enquanto na GUT não há uma técnica explícita para essa atribuição. Isso pode levar a variações na importância relativa dos critérios e, conseqüentemente, nos resultados. Além disso, a GUT, tem um ponto mais subjetivo na definição das divisões dos parâmetros, já que não é realizada a normalização dos dados. Já a AHP tem mais subjetividade na denominação dos pesos definidos entre os subcritérios.

CONCLUSÃO

Neste estudo, são analisados os fatores relevantes para a resiliência de taludes como parte dos ativos rodoviários diante das mudanças climáticas. Através das metodologias GUT e AHP, investiga-se a relevância destes fatores na ocorrência de sinistros com o objetivo de priorizar estruturas mais e menos críticas.

Os resultados da comparação entre as metodologias GUT e AHP para a priorização de problemas ou riscos apresentaram diferenças em suas abordagens, e conseqüentemente, nos resultados. Enquanto a GUT oferece uma categorização mais clara dos resultados, com intervalos definidos de criticidade, a AHP permite uma análise mais detalhada, com a atribuição de pesos e a consideração de múltiplos critérios e subcritérios. Apesar das divergências, as metodologias apresentaram priorizações semelhantes, o que possibilita a análise e aplicação dos resultados na gestão destes ativos. Entende-se que ambos os formatos de priorização devam ser calibrados conforme a obtenção de novos estudos e informações que possam ajudar de forma objetiva na decisão de priorização.

A integração de conceitos de vulnerabilidade climática e resiliência de rodovias nas metodologias de priorização oferece às concessionárias ferramentas importantes para o planejamento de ações preditivas, a alocação inteligente de recursos financeiros e uma gestão mais eficaz dos riscos associados aos taludes. Essa abordagem não apenas fortalece a capacidade da infraestrutura rodoviária de resistir e se recuperar de eventos climáticos extremos, mas também contribui para a segurança dos usuários das rodovias e para a sustentabilidade a longo prazo do sistema viário em face dos desafios climáticos emergentes.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVILA, A. R. S. Um Estudo Sobre os Conceitos Matemáticos que Sustentam o Método de Análise Hierárquica (AHP). 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Matemática Aplicada) - Instituto de Matemática, Estatística e Física, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2023.
- BERSSANETI, F. T.; BOUER, G. Qualidade: conceitos e aplicações - Em produtos, projetos e processos. São Paulo: Blucher, 2013.
- CENTRO CLIMA; LIMA; COPPE – Adaptação às Mudanças do Clima: Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, Secretaria de Assuntos Estratégicos. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento: Projeto BRA/06/0322015, 2015.
- DAYCHOUW, M. 40 Ferramentas e Técnicas de Gerenciamento. 4a ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.
- DEWES, J. J.; SOUSA, R. S.; MAFFRA, C. R. B.; SUTILI, F. J.; PINHEIRO, R. J. B. Método GUT para hierarquização de erosões ao longo de margens de reservatórios de usinas hidrelétricas. Revista Scientia Vitae, Vol. 8, número 32, 2021. Disponível em: <https://www.revistaifpsr.com/v11n325769>. Acesso em 03 de maio de 2024.
- DER-SP. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de geotecnia: taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 388 p. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Geotecnia.aspx>. Acesso em: 25 de maio de 2024.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual para Atividades Ambientais Rodoviárias. IPR, Publ, Rio de Janeiro, n. 730, 2006.
- KANDALAI, S.; JOHN, N. J.; PATEL, A. Efeitos das Mudanças Climáticas em Infraestruturas Geotécnicas — estado da arte. Environ Sci Pollut Res, 2023. DOI: 10.1007/s11356-022-24788-7.
- KEPNER, C. H.; TREGOE, B. B. O administrador racional. São Paulo: Atlas, 1981.
- LOPES, M. A. REIS, E. M. B.; DEMEU, F. A.; MESQUITA, A. G. F. R.; PELEGRINI, D. F.; FARIA, J. G. K.; TEIXEIRA JUNIOR, F. E. P. Uso de ferramentas de gestão na atividade leiteira: um estudo multicaseos em Uberlândia, MG. Revista Agropecuária Técnica, v. 39, n. 1, p. 73–86, 2018.
- MOGOLLÓN, R. M. A. El AHP y su Aplicación para Determinar los Usos de las Terras – El Caso de Brasil. Proyecto Regional “Información sobre Tierras y Águas para un desarrollo agrícola sostenible” (Proyecto GCP/RLA/126/JPN), Informe Técnico nº 2, FAO, Santiago, Chile, p. 65, 2000.
- REIS, A. L.; TERAZZI, L. F. Priorização Através Do Método Analytic Hierarchy Process (AHP) de Indicadores Logísticos de Transporte em uma Empresa Distribuidora de Produtos Congelados. XI FATECLOG: Os Desafios Da Logística Real no Universo Virtual. Bragança Paulista/SP, 2020.
- SAATY, T.L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. Int. J. Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 83 – 98, 2008. DOI: 10.1504/IJSSCI.2008.017590.
- SAATY, T.L. How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, 1994. DOI: 24. 10.13128/Aestim-7138.
- VALENTE, L. V. M. Proposta para classificação de risco de taludes rodoviários. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2023.
- ZHANG, W.; WANG, N. Resilience-based risk mitigation for road networks, Structural Safety, Volume 62, 2016, Pages 57-65, ISSN 0167-4730. Acesso em: <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2016.06.003>.