

PROJETO PONTO DE PARTIDA: USO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA O MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA “NOTA DE PROPOSTA TÉCNICA” DE PROJETOS DE RODOVIAS

Daniel Sergio Presta García

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Alejandro Ruiz-Padillo

Universidade Federal de Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul - Laboratório de Mobilidade e Logística

Gustavo Rubén Di Rado

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

César Luís Andriola, Crísthiane Paludo Demore e Tiago Kirsch Lanes

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – alunos de graduação

RESUMO

O Projeto Ponto de Partida é um jogo educacional, com componentes de Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL), direcionado a disciplinas de graduação em Rodovias. Neste, as equipes formadas por alunos, disputam uma Concorrência Pública simulada, com o objetivo de apresentar o melhor projeto de rodovia. Tradicionalmente, a composição da Nota Final de um projeto decorre da ponderação entre a Nota Técnica e a Nota de Preço. Este artigo tem por objetivo propor um método de avaliação da Nota Técnica de projetos rodoviários utilizando Indicadores de Desempenho. O peso de cada indicador na composição da Nota Técnica foi obtido a partir da utilização das técnicas de Processo Analítico Hierárquico – AHP e do Painel de Especialistas para grupos de professores, alunos, projetistas e fiscais. Entre os principais resultados destaca-se a importância dada pelo conjunto de entrevistados para os indicadores referentes ao estudo de traçado, em detrimento dos indicadores da fase de projeto de terraplanagem.

ABSTRACT

The *Projeto Ponto de Partida* (Start Point Project) is an educational game with Project-Based Learning (PBL) components directed to undergraduate Highways courses. In this Project, the groups formed by classmates compete for a simulated Public Bid with the aim of presenting the best road project. Typically, the composition of the Final Grade of a project stems from the weighting between the Technical Grade and the Price Grade. The goal of this paper is to propose an evaluation method that uses Performance Indicators for the Technical Grade of highway projects. The weight of each indicator in the composition of the Technical Grade was obtained from techniques of the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Expert Panel for professors, students, designers and auditors groups. Among the main results, the importance given by the set of interviews for the alignment study indicators, to the detriment of indicators of the phase of earth-moving project, stands out.

1. INTRODUÇÃO

O processo de ensino-aprendizagem, por meio de jogos educacionais, é uma realidade em disciplinas de graduação no Brasil e no mundo (Savi e Ulbricht, 2008). Embora existam várias referências em jogos educacionais em engenharia (Bodnar *et al.*, 2016), ainda se faz necessário evidenciar os benefícios destes para a aprendizagem e engajamento dos estudantes.

Em Engenharia de Transportes existem iniciativas como a do projeto STREET (Liao, 2009), da University of Minnesota, que utiliza módulos de simulação em diversos tópicos da área. Outra iniciativa, da mesma universidade, decorre da utilização de jogos de tabuleiro, no ensino de planejamento de transportes (Huang e Levinson, 2012), onde os alunos se reúnem em noites durante a semana e são questionados sobre a validade desse tipo de iniciativa. Ambos projetos têm como objetivo o engajamento e melhor absorção de conteúdos por parte dos alunos (Huang e Levinson, 2012).

A Aprendizagem Baseada em Projetos (do inglês *Project* ou *Problem Based Learning* – PBL) é outra técnica que vem se difundindo no meio acadêmico. O PBL é um recurso didático centrado no aluno, fazendo deste o principal agente responsável pelo seu aprendizado (Barrows, 1984). As principais características do PBL no modelo central descrito por Barrows

(1996) são: (i) aprendizagem centrada no aluno, em pequenos grupos e sob a orientação de um tutor (facilitador), (ii) os problemas são apresentados na sequência de aprendizagem e são usados como uma ferramenta para alcançar o conhecimento e habilidades necessárias para sua resolução, (iii) novas informações precisam ser adquiridas através da aprendizagem autodirigida e (vi) os alunos aprendem através da análise e resolução de problemas.

A aplicação em conjunto de PBL e de Jogos Educacionais é válida, pois ambos os métodos de ensino atuam como complementares um do outro. No ensino de engenharia, em particular, a utilização de problemas e cenários reais proporciona um melhor entendimento sobre o conteúdo, e a ‘ludificação’ motiva os alunos no seu autodesenvolvimento (Kapp *et al.*, 2013).

O Projeto Ponto de Partida, segundo García *et al.* (2016), visa proporcionar aos alunos de graduação um ambiente lúdico-real-didático para formação e qualificação no seu primeiro contato com uma disciplina de transportes. Tem por objetivo principal capacitar os alunos de graduação de Engenharia Civil e Engenharia de Transportes em projeto de rodovias nas áreas específicas: (i) Estudos de Traçado, (ii) Projeto Geométrico e (iii) Projeto de Terraplenagem.

Além dos conhecimentos e competências técnicas, o Projeto visa aprimorar os atributos relacionados por Nguyen (1998), que permitem avaliar o desenvolvimento de um engenheiro. Em particular, as habilidades associadas ao atributo atitude: (i) competência, (ii) integridade, (iii) comprometimento, (iv) tolerância, (v) flexibilidade, (vi) compromisso com a aprendizagem ao longo da vida, (vii) confiabilidade, (viii) consciência, (ix) pontualidade e (xi) abordagem.

O Projeto se desenvolve ao longo do semestre (16 semanas) e procura simular uma Concorrência Pública, para um projeto de rodovias, conforme estabelecido na Lei 8666/93. As equipes, formadas por até quatro alunos, concorrem entre si de forma a vencer a licitação.

Em editais do DNIT para “Tomada de Preços para Seleção de Empresas de Consultoria para Execução de Projeto” (BRASIL, 2003) a avaliação dos projetos se dá por meio de uma Nota Final (NF) formada pela Nota da Proposta Técnica (NPT) e Nota da Proposta de Preços (NPP), usualmente calculada a partir da equação 01.

$$NF = \frac{(7 \times NPT + 3 \times NPP)}{10} \quad (01)$$

Onde: NF é a Nota Final, NPT é a Nota da Proposta Técnica e NPP a Nota da Proposta de Preço.

A Nota da Proposta de Preço (NPP) é obtida por meio da equação 02, ou outra específica expressa no edital.

$$NPP = 100 \times \frac{MPVO}{P} \quad (02)$$

Onde: NPP é Nota da Proposta de Preço, MPVO é o Menor Preço Válido Ofertado e P o valor da Proposta de Preço do licitante considerado.

A composição da Nota da Proposta Técnica (NPT) geralmente utiliza os critérios: (i) Conhecimento do Problema – 30% da nota, (ii) Plano de Trabalho – 30% da nota e (iii) Equipe Técnica – 40% da nota, e tem a mesma amplitude da NPP, variando entre 0 e 100.

A impossibilidade de avaliar de forma objetiva as equipes, pelos critérios que compõem a Nota da Proposta Técnica resultou na justificativa do presente trabalho que tem por objetivo a proposição de Indicadores de Desempenho para avaliar projetos de rodovias concorrentes

quanto às etapas de Estudos Topográficos, Projeto Geométrico e Projeto de Terraplenagem.

Este artigo está organizado em cinco seções, incluindo esta introdução. Na seção 2 são revisados conceitos e propostos os Indicadores de Desempenho do Projeto. Os procedimentos metodológicos adotados são descritos na seção 3. Na seção 4 são apresentados e analisados os resultados obtidos. Na seção 5 têm-se as considerações finais em relação à pesquisa realizada.

2. INDICADORES DE DESEMPENHO PROPOSTOS PARA O PROJETO

Indicadores de Desempenho são ferramentas de gestão que permitem medir e avaliar o desempenho de processos e/ou organizações. Um exemplo de Indicador de Desempenho é o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) (UNDP, 2016). Uma crítica comum aos Indicadores de Desempenho decorre da simplificação de valores tangíveis e intangíveis a um único número.

O termo “indicadores chave de desempenho” (*Key Performance Indicators – KPI*) ainda não é comumente empregado em projeto e construção de estradas (Molenaar and Navarro 2011). A oportunidade de adoção de KPIs de forma contratual resultaria em um processo menos subjetivo, ou seja, mais transparente. Pesquisas focadas na seleção de projetos (*Project Delivery System*) vêm apresentando resultados em diferentes setores da indústria, embora segundo o *Georgia Department of Transportation – GDOT*, no setor de transportes ainda sejam limitadas (Baabak Ashuri, Mostaan, and Hannon 2013).

Iniciativas para tornar mais objetiva a avaliação de projetos concentram-se no processo e nos critérios de seleção. Touran *et al.* (2009) avalia o processo de seleção como: (i) definição dos fatores de seleção com base nas metas alvejadas; (ii) definição do peso dos fatores, conforme sua influência no sucesso do projeto; e (iii) a definição do método de pontuação e obtenção da pontuação final. Já Love *et al.* (2012) caracterizam como critérios importantes na seleção de projetos públicos: (i) tempo (prazo), (ii) certeza do cumprimento do tempo (cronograma), (iii) certeza do custo (precisão), (iv) competitividade do preço (seleção de custos), (v) flexibilidade (variabilidade necessária), (vi) complexibilidade (especialização), (vii) qualidade (conceito), (viii) responsabilidade (sintonia com o cliente) e (ix) risco (reflexo nos custos).

No Projeto Ponto de Partida as áreas de conhecimento a serem avaliadas, contribuindo para a formação da Nota da Proposta Técnica, foram divididas em três: (i) Estudos Topográficos, (ii) Projeto Geométrico e (iii) Projeto de Terraplenagem. Os Indicadores de Desempenho selecionados devem considerar dimensões complementares, capazes de caracterizar uma adequada representação do todo. Outro aspecto relevante decorre da simplicidade para obtenção dos dados necessários para calcular o indicador nas diferentes etapas do projeto.

Os indicadores propostos devem permitir o confronto entre alternativas e a construção de uma base de dados que será utilizada para caracterizar diferentes configurações de projeto. Para tanto, foi fundamental a utilização de indicadores relativos, em detrimento de indicadores absolutos. Dos nove indicadores propostos neste artigo, apenas um é absoluto, sem produzir prejuízo a comparações de diferentes projetos, neste caso.

As áreas avaliadas no projeto são as definidoras da Dimensão Sequencial (ordem) atribuída aos indicadores. Neste contexto, o Estudo de Traçado faz parte da dimensão sequencial classificada como **prévia**, o Projeto Geométrico como **decorrente** e o Projeto de Terraplenagem como **subsequente**. Tal dimensão estabelece a sequência lógica do projeto e as possíveis relações de causa e efeito entre os indicadores (Quadro 1).

Quadro 1: Indicadores de Desempenho segundo Dimensões – Fonte: autor

		Dimensão Espacial			Dimensão Contextual
		Planimetria	Altimetria	Seções Transversais	
Dimensão Sequencial	Estudo de Traçado (Prévia)	Acréscimo sobre a diretriz (%)	Porcentagem de declividades anômalas (%)	Interferências por quilômetro (un/km)	
	Projeto Geométrico (Decorrente)	Tortuosidade média (°/mkm)	Esforço altimétrico adicional percentual (%)	Acréscimo sobre a plataforma(%)	
	Projeto de Terraplenagem (Subsequente)	Distância média de transporte – DMT (km)	Volume de terraplenagem transportado por quilômetro (m³/km)		Porcentagem de volumes externos ao trecho (%)

A outra dimensão adotada, para a seleção dos indicadores, foi a **Espacial-Contextual**. A dimensão espacial foi subdividida nas vistas características de um Projeto Geométrico de Rodovias (planimétrica, altimétrica e seções transversais). A dimensão contextual reúne os elementos anteriores a elaboração do projeto, referentes ao cenário proposto. A existência de rios, sistema viário, edificações, mata nativa e relevo fazem parte da dimensão Contextual.

Os Indicadores de Desempenho (Quadro 1) foram selecionados de forma a preencher o máximo de quadriculas da matriz com o menor número de indicadores possível, sem perder a caracterização das etapas dispostas nas referidas dimensões. O total de nove indicadores resultou da distribuição de três indicadores para cada uma das etapas da dimensão sequencial.

2.1. Indicadores para Estudo de Traçado – ET

O Estudo de Traçado é uma etapa prévia ao Projeto Geométrico. Sobre mapas, cartas geográficas, restituições e/ou bases de dados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) o projetista avalia as condicionantes de relevo, hidrológicas, geológicas, de uso do solo, entre outras, para definir alternativas de traçado com viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Os indicadores de desempenho para Estudo de Traçado caracterizam-se por sua simplicidade de obtenção. Conforme apresentado no Quadro 1, os indicadores desta área, apresentados a seguir, avaliam características planimétricas, altimétricas e de contexto, sendo esta última associada à seção transversal a partir da análise das interferências sobre a faixa de domínio:

- **ET1 – Acréscimo sobre a diretriz:** tradicional indicador planimétrico relativo do projeto geométrico. No Projeto Ponto de Partida é utilizado para avaliar a etapa de Estudos de Traçado. É calculado dividindo-se a distância percorrida ao longo do trecho pela distância em linha reta (diretriz). Como o indicador refere-se a acréscimo, deve ser subtraído o valor 1 da divisão (equação 03). É apresentado em porcentagem e seu sentido indica: quanto menor melhor. O valor 0% é o menor possível, não existindo um limite superior. Traçados em regiões montanhosas, geralmente, apresentam índices superiores aos das regiões onduladas e estes aos dos traçados em regiões planas;

$$ET1 = \left(\frac{E}{D} - 1 \right) \times 100 \quad (03)$$

Onde: ET1 é o acréscimo sobre a diretriz (%), E a extensão do trecho (m) e D a distância em diretriz (m).

- **ET2 – Porcentagem de declividades anômalas:** indicador altimétrico relativo, que avalia a proporção de trechos do perfil longitudinal do terreno em acíves e declives, com declividade superior à estabelecida para o projeto por norma, sobre a extensão total do trecho (equação 04). O sentido do indicador é: quanto menor melhor. O indicador pode variar entre 0% e 100%;

$$ET2 = \left(\frac{\sum E_A + \sum E_D}{E} \right) \times 100 \quad (04)$$

Onde: ET2 é a porcentagem de declividades anômalas (%), E a extensão do trecho (m) e E_A e E_D as extensões em aclives ou declives com declividade superior à de norma (m).

- **ET3 – Interferências por quilômetro:** indicador relativo de registro de situações adversas pontuais (corpos d'água, mata nativa, edificações, redes de alta tensão, etc). O indicador resulta da divisão das ocorrências pela extensão do trecho (equação 05). O valor 0,0 un/km é o menor possível, não existindo limite superior. O sentido da escala é: quanto menor melhor. Em caso de situações com interferências não pontuais (mata nativa, área inundável e incorporação de vias existentes) deve-se determinar uma extensão com equivalência a uma unidade. No Projeto Ponto de Partida, a unidade do indicador é definida para extensões de interferências contínuas de 100 metros (um segmento de 160 metros sobre área inundável resultará em duas interferências).

$$ET3 = \left(\frac{\sum I}{E} \right) \times 100 \quad (05)$$

Onde: ET3 é o indicador de interferências por quilômetro (un/km), E a extensão do trecho (km) e I o número de interferências (un).

2.2. Indicadores para Projeto Geométrico – PG

O Projeto Geométrico decorre do Estudo de Traçado e produz efeitos sobre o Projeto de Terraplenagem. A configuração espacial (tridimensional) do corpo estradal está bem caracterizada nos indicadores selecionados por meio das vistas planialtimétricas e das seções transversais. A dimensão contextual, nesta etapa, contribui na caracterização dos offsets e consequentes taludes da seção transversal. Os indicadores são apresentados a seguir:

- **PG1 – Tortuosidade média:** indicador planimétrico relativo clássico do projeto geométrico. A tortuosidade de uma curva circular é obtida a partir da divisão do ângulo central pelo seu raio (equação 06). Curvas com transição em espiral possuem uma equação própria e são menos tortuosas que as circulares de mesmo raio (equação 07). A tortuosidade média resulta da soma de todas as tortuosidades dividida pela extensão do trecho (equação 08). O valor 0,000 °/mkm indica um trecho viário sem curvas. O sentido da escala é: quanto menor melhor. Regiões montanhosas geralmente apresentam tortuosidades mais elevadas em relação a tortuosidade de regiões onduladas e planas;

$$T_C = Ac/R \quad (06)$$

$$T_T = \frac{\theta + (Sc_1 + Sc_2)/3}{R} \quad (07)$$

$$PG1 = \frac{\sum T_C + \sum T_T}{E} \quad (08)$$

Onde: PG1 é a tortuosidade média (°/mkm); E a extensão do trecho (km); T_C e T_T as tortuosidades na curva circular simples e na curva com transição (°/m); R o raio da curva (m); Ac o ângulo central da curva (° decimais); θ o ângulo central do trecho circular para curva com transição (° decimais) e Sc₁ e Sc₂ os ângulos da transição na entrada e na saída da curva (° decimais).

- **PG2 – Esforço altimétrico adicional percentual:** o esforço altimétrico adicional decorre da divisão do comprimento virtual médio pela extensão do trecho, descontado da unidade (equação 11). O comprimento virtual é um indicador altimétrico absoluto clássico do projeto geométrico. Tem por propósito transformar a extensão do trecho viário em uma extensão equivalente para um trecho em nível, majorando as distâncias em aclive, em virtude da queda de desempenho mecânico dos veículos. Como uma rodovia geralmente possui dois sentidos, com rampas em aclive e declive, deve-se determinar o comprimento virtual em ambos (ida e volta, equações 09 e 10). O

comprimento virtual resulta da média entre estes. Como o comprimento virtual é um indicador absoluto, este não se presta para comparações entre trechos de forma que, o indicador Esforço altimétrico adicional percentual passa a ser relativo, permitindo o confronto entre projetos distintos. O sentido da escala é: quanto menor melhor. O menor valor possível é de 0,0% para um trecho viário em nível;

$$CV_{IDA} = E + \sum E_A \times \frac{i}{r} \quad (09)$$

$$CV_{VOLTA} = E + \sum E_D \times \frac{i}{r} \quad (10)$$

$$PG2 = [(CV_{IDA} + CV_{VOLTA})/E - 1] \times 100 \quad (11)$$

Onde: PG2 é o esforço altimétrico adicional (%); E a extensão do trecho (m); E_A e E_D as extensões em aclave e declive (m); CV_{IDA} e CV_{VOLTA} os comprimentos virtual de ida e volta (m); i a declividade da rampa (decimal) e r o coeficiente de resistência ao rolamento (0,02 para rodovias pavimentadas).

- **PG3 – Acréscimo sobre a plataforma:** indicador relativo para seções transversais de projeto. O acréscimo sobre a plataforma de uma seção de projeto resulta da divisão da distância (horizontal) entre seus offsets pela largura da plataforma de terraplenagem. O indicador para o trecho resulta do somatório das proporções por estaca, dividido pelo número de estacas (equação 12). Como o indicador refere-se a acréscimo, deve ser subtraído o valor 1 do resultado obtido. A relação estabelecida indica o ‘grau de aderência’ da seção de projeto ao terreno natural. O valor mínimo de 0,0% indica aderência plena. O sentido da escala é: quanto menor melhor. Cortes e/ou aterros elevados com banquetas e bermas podem fazer com que este indicador ultrapasse 100%.

$$PG3 = \left(\sum \frac{l_o}{l_p} - 1 \right) / n \times 100 \quad (12)$$

Onde: PG3 é o acréscimo sobre plataforma (%); l_o e l_p as larguras entre offsets e da plataforma de terraplenagem de uma seção (m) e n o número de estacas (un).

2.3. Indicadores para Projeto de Terraplenagem – PT

O Projeto de Terraplenagem é resultante do Projeto Geométrico. Um bom Projeto Geométrico deverá contemplar aspectos a serem considerados no Projeto de Terraplenagem. Tentar minimizar e equilibrar materiais de origem (cortes, empréstimos e jazidas) e destino (aterros, depósitos e bota-foras) são questões a serem consideradas no Projeto de Terraplenagem que podem ser antevistas no Projeto Geométrico. Os indicadores selecionados são:

- **PT1 – Volume de terraplenagem transportado por quilômetro:** indicador relativo de projetos de terraplenagem. Resulta do total dos volumes de material de origem de terraplenagem transportados, dividido pela extensão do trecho (equação 13). Os volumes de origem contemplam maciços de cortes, empréstimos laterais, jazidas e todos aqueles onde é executado algum tipo de escavação. De forma a simplificar o cálculo do indicador, não são utilizados fatores de homogeneização e/ou empolamento, sendo os volumes considerados na origem de forma geométrica. O sentido da escala é: quanto menor melhor. Não existe um valor mínimo e nem máximo preestabelecido;

$$PT1 = \frac{\sum V_o}{E} \quad (13)$$

Onde: PT1 é o volume de terraplenagem transportado por quilômetro (m³/km); E a extensão do trecho (km) e V_o o volume geométrico de materiais de origem (m³).

- **PT2 – Distância média de transporte (DMT):** tradicional indicador de projetos de terraplenagem. Decorre da média ponderada das distâncias de transporte obtida a partir da distribuição de terraplenagem (Quadro Origem-Destino). O fator de ponderação utilizado é o volume transportado medido na origem (geométrico). O valor mínimo

usual é de 0,050 km para um trecho viário com compensação lateral (transversal) de volumes. Em compensações longitudinais, entre os centros de gravidade dos maciços, a DMT resultante será mais elevada. O sentido da escala é: quanto menor melhor. Embora o indicador não seja relativo, permite o confronto de diferentes projetos de terraplenagem de rodovias (equação 14);

$$PT2 = \frac{\sum(V_o \times d)}{\sum V_o} \quad (14)$$

Onde: PT2 é a distância média de transporte (m); V_o o volume geométrico de materiais de origem (m^3) e d a distância de transporte entre os centros de massa dos maciços (m).

- **PT3 – Porcentagem de volumes externos ao trecho:** indicador relativo de projetos de terraplenagem. Avalia a proporção entre volumes transportados externos ao trecho sobre os volumes de material de origem de terraplenagem transportados (equação 15). Volumes externos ao trecho decorrem do somatório dos volumes geométricos de maciços importados (empréstimos, jazidas, etc.) e exportados (depósitos, bota-foras, etc.). O valor mínimo é de 0,0% e indica que a compensação da terraplenagem se dá entre os volumes de corte e aterro dos maciços do trecho. O sentido da escala é: quanto menor melhor. Como os maciços importados integram os volumes de origem de terraplenagem, estes impactam menos o indicador que os maciços exportados.

$$PT3 = \frac{\sum V_{OE} + \sum V_{DE}}{\sum V_o - \sum V_{OE}} \times 100 \quad (15)$$

Onde: PT3 é a porcentagem de volumes externos ao trecho (%); V_o o volume geométrico de matérias de origem (m^3); V_{OE} o volume geométrico de matérias de origem externos ao trecho – jazidas (m^3) e V_{DE} o volume geométrico de matérias de destino externos ao trecho – bota-foras (m^3)

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a ponderação dos indicadores, o procedimento metodológico adotado utiliza as técnicas do Processo Analítico Hierárquico – AHP e do Painel de Especialistas apresentadas a seguir.

3.1. A técnica do Processo Analítico Hierárquico - AHP

O método AHP é uma técnica de análise multicritério da família de metodologias de ajuda na tomada de decisão de tipo de atribuição indireta e constitui uma das ferramentas mais potentes, atualmente, dentre das metodologias de análise multicritério discretas (Nosal e Solecka, 2014). O processo de aplicação baseia-se na estruturação e comparação dos elementos do problema de forma hierárquica e na análise da consistência lógica dos resultados.

Neste trabalho, a finalidade fundamental de aplicação do método AHP foi a obtenção dos pesos dos Indicadores de Desempenho definidos para a avaliação de projetos concorrentes. Para alcançar a ponderação destes indicadores, definidos como critérios e subcritérios do modelo de decisão, é necessário construir matrizes quadradas para cada grupo de atributos (tamanho $n \times n$, sendo n o número de elementos), onde cada valor da matriz representa o número de vezes que o atributo da linha é mais importante que o atributo localizado na coluna. Nestas comparações por pares, o método AHP utiliza uma escala predefinida, chamada escala fundamental de Saaty, que assume valores entre 1 e 9 (e sua recíproca, entre 1 e 1/9) (Saaty, 1980; Kablan, 2004). Estas matrizes de comparações pareadas são simétricas inversas, ou seja, os valores localizados acima da diagonal são os inversos dos localizados abaixo e os valores da diagonal são iguais à unidade (visto que representam a comparação de um atributo com ele mesmo). Estas características peculiares das matrizes fazem que o autovetor associado ao autovalor dominante ou valor característico médio de cada matriz

represente o conjunto de pesos de cada grupo de indicadores na hierarquia estabelecida em relação ao elemento do nível superior (Barba-Romero e Pomerol, 2000; Kablan, 2004).

O procedimento de cálculo desses vetores de pesos estabelecido no AHP é aproximado, já que, na prática, o decisor pode cometer certas inconsistências na estimação das comparações de importância por pares de critérios. Para diminuir estes erros e a influência da subjetividade das avaliações nos resultados, os elementos das matrizes de comparações são obtidos a partir das avaliações dos participantes do painel de especialistas. Igualmente, o método AHP conta com uma estimativa da consistência do processo, que avalia o nível de aproximação alcançado com o resultado (Saaty, 1980; Kablan, 2004), mediante a denominada razão de consistência (*RC*). A *RC* é obtida mediante a comparação do índice de consistência (*IC*) do autovetor com o índice de consistência aleatório ou randômico médio (*IR*) apropriado ao tamanho da matriz de comparações (Saaty, 1980) (equações 16 e 17):

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (16)$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (17)$$

Onde: λ_{max} é o autovalor dominante da matriz; n o tamanho da matriz; e *IR* é derivado de uma amostra de 500 matrizes recíprocas inversas geradas aleatoriamente utilizando a escala fundamental de Saaty em que *IR* é o índice de consistência aleatório ou randômico, parâmetro estabelecido por Saaty em função do tamanho da matriz de comparações pareadas.

Em geral, se a razão de consistência for maior que 0,10 (10%), é recomendável estudar novamente o problema e revisar as avaliações realizadas. Para $n=3$, este limiar é fixado em 5% e para $n=4$ em 8% (Ruiz-Padillo *et al.*, 2016).

Finalmente, os pesos obtidos devem ser normalizados, para apresentá-los de forma adimensional. Dentre as diferentes técnicas de normalização, a presente pesquisa utilizou o procedimento linear, que apresenta cada valor como uma porcentagem do total, ou seja,

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (18)$$

Onde: r_{ij} são os valores normalizados e x_{ij} são os valores obtidos diretamente da avaliação dos indicadores.

3.2. A técnica do Painel de Especialistas

Com o objetivo de evitar resultados tendenciosos e reduzir o grau de subjetividade presente nas avaliações individuais dos indicadores, foi utilizada a técnica do painel de especialistas para obter os dados das comparações por pares dos critérios hierarquizados do problema, que serviram para preencher as matrizes de comparações onde aplicar o método AHP (Egilmez *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2015; Ruiz-Padillo *et al.*, 2016).

Sendo assim, foi elaborado um questionário informático que foi enviado por correio eletrônico aos integrantes do painel de especialistas. Previamente, foi testado por em uma amostra restrita selecionada por conveniência e as dificuldades apontadas neste pré-teste foram analisadas com o objetivo de aprimorar o questionário, tornando-o definitivo.

Os participantes do painel de especialistas foram escolhidos dentre quatro grupos de profissionais competentes no objeto de estudo, no âmbito do Estado do Rio Grande do Sul: (i) professores (docentes das disciplinas de projeto de rodovias e pesquisadores); (ii) projetistas (diretores, coordenadores e projetistas com experiência no desenho geométrico); (iii) fiscais (representantes da Administração Pública, tanto federal quanto estadual, relacionados com a infraestrutura de rodovias) e (iv) alunos (discentes que participaram do projeto).

Em total, foram enviados 60 questionários e destes foram recebidas 36 respostas, com representação suficiente de todos os grupos definidos (Turoff, 1970). Os questionários foram apresentados em planilhas dinâmicas, onde as perguntas oferecidas aos especialistas eram elaboradas em função das respostas prévias dadas pelo respondente. Os questionários incluíam uma breve explicação do processo e de alguns conceitos importantes na pesquisa, além das instruções para seu preenchimento. Em seguida, foram apresentados e definidos cada grupo de indicadores utilizados na pesquisa, assim como um *link* para breves vídeos explicativos do conceito avaliado com cada indicador. Os respondentes deviam ordenar os atributos de maior a menor importância dentro de cada grupo em relação ao objetivo da pesquisa. Após isso, os especialistas deviam atribuir um grau de importância sobre a comparação de cada critério ou subcritério com os demais, utilizando a escala pré-estabelecida de campos semânticos, vinculada à escala de avaliação de Saaty, levando em conta o objetivo e a hierarquia estabelecidos na pesquisa.

Preenchido o questionário, o especialista devia enviar o arquivo aos autores do estudo. Finalizado o processo de recepção de questionários respondidos, todos os dados recebidos foram agregados para realizar as avaliações globais representativas do painel de especialistas. Para isso foi utilizada a média geométrica dos dados individuais de cada grupo e dos grupos entre si, já que esta foi a técnica de agregação proposta por Saaty no caso da obtenção das comparações pareadas entre critérios e subcritérios a partir de diversos especialistas ou decisores para aplicação do AHP (Saaty, 1990; Ruiz-Padillo *et al.*, 2016).

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A síntese dos resultados obtidos pode ser observada no Quadro 2. É importante destacar que a Razão de Consistência (RC) foi obtida para os dados totais e para os dados de todos os grupos com uma única exceção: indicadores na área de Estudo de Traçado para o grupo professores. Por tratar-se de uma única inconsistência em quinze possíveis resolveu-se registrar esta ocorrência e persistir nas demais análises.

Quadro 2: Peso e razão de consistência para os Indicadores de Desempenho – Fonte: autor

Área	Peso Área	Código	Denominação	Unid.	Peso por grupos				Peso Ind.
					Prof.	Proj.	Fisc.	Alunos	
Estudo de Traçado	54%	ET1	Acréscimo sobre a diretriz	%	6%*	9%	17%	9%	10%
		ET2	Porcentagem de declividades anômalas	%	21%*	15%	29%	28%	24%
		ET3	Interferências por km	un/km	24%*	25%	19%	14%	20%
		Razão de consistência (RC) dos indicadores na área				13%	3%	1%	0%
Projeto Geométrico	34%	PG1	Tortuosidade média	°/mkm	12%	17%	8%	19%	14%
		PG2	Esforço altimétrico adicional percentual	%	17%	13%	12%	9%	13%
		PG3	Acréscimo sobre a plataforma	%	7%	9%	3%	11%	7%
		Razão de consistência (RC) dos indicadores na área				0%	0%	5%	0%
Projeto de Terrap.	12%	PT1	Vol. de terraplenagem transportado / km	m ³ /km	4%	4%	6%	3%	4%
		PT2	Distância média de transporte (DMT)	km	5%	4%	3%	3%	4%
		PT3	Porcentagem de vol. externos ao trecho	%	4%	4%	3%	4%	4%
		Razão de consistência (RC) dos indicadores na área				0%	1%	4%	0%
Razão de consistência (RC) de área					3%	5%	3%	4%	4%

* Valores não são consistentes visto que o RC do grupo ficou acima de 5%

A primeira observação que pode ser feita a partir da análise do Quadro 2, decorre da relevância dada à área Estudo de Traçado sobre as demais (peso da área equivalente a 54%). Entre os grupos, o peso da área Estudo de Traçado variou entre 49% (Projetistas) e 65%

(Fiscais). Professores e alunos indicaram um peso intermediário equivalente a 51%. Tal magnitude e distribuição indicam que, para todos os grupos, a dimensão sequencial prévia, Estudo de Traçado, é a mais relevante para análise da qualidade do projeto.

Os pesos por área indicam um significativo decréscimo da relevância conforme se avança na dimensão sequencial. O Projeto Geométrico (etapa decorrente) obteve 34% do peso por área e o Projeto de Terraplenagem (etapa subsequente) apenas 12%. A homogeneidade de valores entre os diferentes grupos se verifica, em especial no Projeto de Terraplenagem.

A distribuição dos pesos por indicador (Figura 1) permite visualizar a importância dada para cada uma das três áreas e para cada indicador. Entre os indicadores, o ET2 foi o que apresentou o maior peso (24%). Tal importância provavelmente esteja associada à compreensão de que este indicador seja o mais relevante na hora de se avaliar a viabilidade técnica de um projeto rodoviário, em especial em regiões montanhosas. Em segundo lugar, o indicador ET3 (20%) sugere que elementos da dimensão contextual sejam significativos para um projeto rodoviário. Enquanto o indicador ET2 foi considerado como o mais importante por fiscais e alunos o indicador ET3 foi o escolhido por professores e projetistas (fazendo a ressalva que o grupo professores não apresentou razão de consistência para a área).

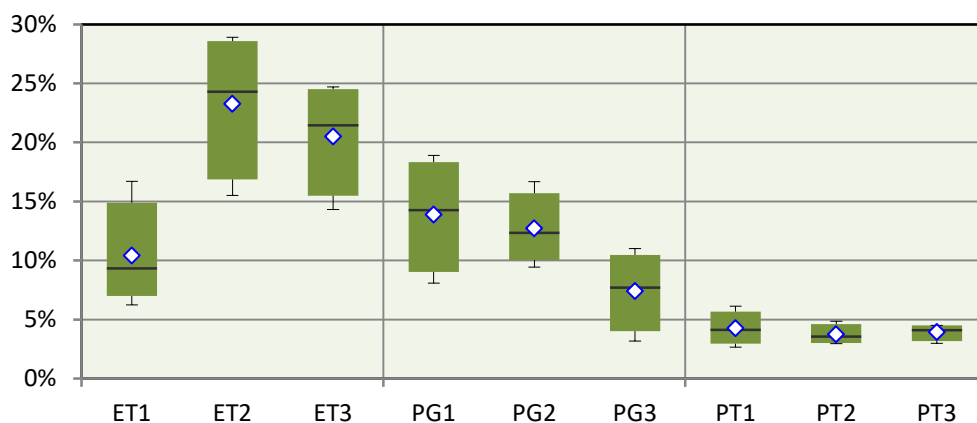


Figura 1: Boxplot dos Indicadores de Desempenho – Fonte: autor

Entre os indicadores da área de Projeto Geométrico o PG1 (14%) e PG2 (13%) foram os de maior peso. Verifica-se a predominância das dimensões espaciais planimétrica e altimétrica sobre as seções transversais e a dimensão contextual. Tal importância pode estar associada ao grau de exigência por norma de parâmetros mínimos e máximos (raios de curvas horizontais, intertangentes, rampas, parábolas de curvas verticais) vinculados ao projeto planialtimétrico. Na área do Projeto de Terraplenagem não foi possível registrar nenhum dos indicadores como o mais relevante. A importância dada pelos grupos além de homogênea foi a mais baixa. Tal avaliação sugere a percepção do Projeto de Terraplenagem como uma consequência do Projeto Geométrico e das definições prévias no Estudo de Traçado, indicando pouca “margem de manobra” para melhorias no projeto, como um todo, nesta etapa do projeto.

Uma análise do tipo Curva ABC (Carvalho, 2002) para os indicadores estabelece que 22% do número de critérios (ET2 e ET3) respondem por 44% da importância acumulada, 33% (PG1, PG2 e ET1) equivalem a 37% da importância acumulada e os demais 45% (PG3, PT1, PT2 e PT3) contribuem com apenas 19%. Para a obtenção de um bom projeto rodoviário deve-se dar uma ênfase especial aos indicadores que ocupam a posição A na Curva ABC, que são: a Porcentagem de declividades anômalas e Interferências por quilômetro.

5. CONCLUSÕES

O objetivo da pesquisa descrita no presente artigo foi o de desenvolver um método de avaliação de projeto rodoviário utilizando Indicadores de Desempenho para emprego em um jogo educacional denominado Projeto Ponto de Partida. Em tal jogo, é simulada uma concorrência pública entre equipes e na fase da Abertura de Envelopes estas são classificadas através de uma Nota da Proposta de Preços – NPP e de uma Nota da Proposta Técnica – NPT.

Para compor a NPT foram concebidos nove Indicadores de Desempenho classificados nas dimensões Sequencial e Espacial-Contextual. Os indicadores foram nomeados, codificados, descritos e suas equações e unidades representadas. Para avaliar o peso de cada indicador na composição da NPT foram utilizadas as técnicas de Processo Analítico Hierárquico – AHP e a técnica do Painel de Especialistas.

O Painel de Especialistas utilizou quatro grupos atuantes na área de projetos rodoviários. O Processo Analítico Hierárquico – AHP indicou uma Razão de consistência (RC) válida para o conjunto dos grupos testados. Dentre as principais contribuições desta pesquisa pode-se citar:

- a concepção de Indicadores de Desempenho para avaliar projetos rodoviários;
- os pesos identificados para os Indicadores de Desempenho;
- a análise de relevância da área de Estudo de Traçado sobre o Projeto Geométrico e o Projeto de Terraplenagem, indicando a supremacia da dimensão sequencial Prévia sobre a Decorrente e Subsequente;
- a relevância dos indicadores ET2 – Porcentagem de declividades anômalas e ET3 – Interferências por quilômetro na Curva ABC;
- a representatividade da dimensão Espacial-Contextual nos três indicadores mais importantes (ET2 – altimétrico, ET3 seção transversal/contextual e PG1 – planimétrico);
- a homogeneidade dos pesos entre os diferentes grupos, identificando percepções bastante próximas.

É importante ressaltar que boa parte das disciplinas de Rodovias das universidades brasileiras não vem desenvolvendo atividades massivas de projeto com a inclusão da etapa de Estudo de Traçado. Como observado ao longo de todo este artigo, é nesta etapa que as definições têm o potencial de produzir os maiores benefícios ou os mais comprometedores prejuízos a um projeto rodoviário. O Projeto Ponto de Partida disponibiliza aos alunos de graduação em rodovias um cenário lúdico-real-didático que permite seu desenvolvimento mais abrangente. Com os Indicadores de Desempenho pretende-se disponibilizar uma ferramenta de avaliação de projetos rodoviários objetiva, simples, eficiente e didática.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa TRIUNFO CONCEPA pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baabak Ashuri, Kia Mostaan, and David Hannon. (2013). *How Can Innovative Project Delivery Systems Improve The Overall Efficiency Of GDOT In Transportation Project Delivery?* Georgia Institute of Technology. doi:10.13140/2.1.2627.4088.
- Barba-Romero, S. e J. C. Pomerol (2000) *Multicriterion Decision in Management: principles and practice*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Barrows, H. S. (1984). *A Specific, problem-based, self-directed learning method designed to teach medical problem-solving skills, self-learning skills and enhance knowledge retention and recall*. In H. G. Schmidt, & M. L. de Volder (Eds.), *Tutorials in problem-based learning. A new direction in teaching the health profession*. Assen: Van Gorcum.

- Barrows, H. S. (1996). *Problem-Based Learning in Medicine and Beyond: A Brief Overview*. *New Directions for Teaching and Learning*, 1996, 3-12.
- Bodnar, Cheryl A., D. Anastasio, J. A. Enszer, e D. D. Burkey. (2016) *Engineers at Play: Games as Teaching Tools for Undergraduate Engineering Students: Research Review: Games as Teaching Tools in Engineering*. *Journal of Engineering Education* 105, no. 1: 147–200. doi:10.1002/jee.20106.
- BRASIL. (2003) Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra – Estrutura de Transportes. Assessoria de Cadastro e Licitação – ACL/DG/DNIT. EDITAL Nº 318/2003-00, *Tomada De Preços Para Seleção De Empresas De Consultoria Para Execução De Projeto*. Processo nº 50600006278/2003-51. <http://www1.dnit.gov.br/anexo/Edital/Edital_edital0318_03-00_0.pdf>. Dezembro de 2003.
- Carvalho, J. M. C. (2002). *Logística*. 3ª ed. Edições Silabo, Lisboa.
- Egilmez, G.; S. Gumus e M. Kucukvar (2015) *Environmental sustainability benchmarking of the U.S. and Canada metropolises: An expert judgment-based multi-criteria decision making approach*. *Cities*, v. 42.
- García, D. S. P. et al. (2016) *Projeto Ponto de Partida: o ensino de projeto de rodovias através de uma abordagem lúdico-real-didática*. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET (30. : 2016 : Rio de Janeiro, RJ). Anais [recurso eletrônico], Rio de Janeiro: ANPET, 2016. [12] f.
- Huang, A., e D. Levinson. (2012) *To Game or Not to Game: Teaching Transportation Planning with Board Games*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2307: 141–49. doi:10.3141/2307-15.
- Kablan M. M. (2004) *Decision support for energy conservation promotion: analytic hierarchy process approach*. *Energy Policy*, v. 32, n. 10, p. 1151-1158.
- Kapp, K., Blair, L., & Mesch, R. (2013). *The gamification of learning and instructional field-book*. Hoboken, NJ: Wiley Publishers Inc.
- Liao, Chen-Fu, H. Liu, e D. Levinson. (2009) *Simulating Transportation for Realistic Engineering Education and Training: Engaging Undergraduate Students in Transportation Studies*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2109: 12–21. doi:10.3141/2109-02.
- Love, P. E. D., D. J. Edwards, Z. Irani, e A. Sharif. (2012). *Participatory Action Research Approach to Public Sector Procurement Selection*. *Journal of Construction Engineering and Management* 138 (3): 311–22. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000440.
- Molenaar, K., e D. Navarro. (2011). *Key Performance Indicators in Highway Design and Construction*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2228 (December): 51–58. doi:10.3141/2228-07.
- Nosal, K. e K. Solecka (2014) *Application of AHP method for multi-criteria evaluation of variants of the integration of urban public transport*. *Transportation Research Procedia*, v. 3, p. 269-278.
- Ruiz-Padillo, A.; D. P. Ruiz; A. Torija e A. Ramos-Ridao (2016) *Selection of suitable alternatives to reduce the environmental impact of road traffic noise using a fuzzy multi-criteria decision model*. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 61, p. 8-18.
- Saaty, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. (1990) *How to Make a Decision*. *European Journal of Operational Research*, v. 48, p. 9-26.
- Savi, R.; Ulbricht, V. R. (2008) *Jogos Digitais Educacionais: Benefícios e Desafios*. *RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 6, p. 1-10, 2008.
- Sun, H.; Y. Zhang; Y. Wang; L. Li e Y. Sheng (2015) *A social stakeholder support assessment of low-carbon transport policy based on multi-actor multi-criteria analysis: The case of Tianjin*. *Transport Policy*, v. 41.
- Touran, Ali (2009) National Research Council (U.S.), Transit Cooperative Research Program, United States, and Transit Development Corporation. *A Guidebook for the Evaluation of Project Delivery Methods*. TCRP Report 131. Washington, D.C: Transportation Research Board.
- Turoff, M. (1970). *The design of a policy Delphi*. *Technological Forecasting and Social Change* v. 2, p. 149-171.
- United Nations Development Programme. (2016). *Human development report 2016: Human Development for Everyone*. Retirado de http://hdr.undp.org/sites/default/files/2016_human_development_report.pdf

Daniel Sergio Presta García (daniel.garcia@ufrgs.br)

Alejandro Ruiz-Padillo (alejandro.ruiz-padillo@ufsm.br)

Gustavo R. Di Rado (gdirado@ing.unne.edu.ar)

César Luís Andriola (andriola.cesar@gmail.com)

Cristhiane Paludo Demore (cristhianedemore@gmail.com)

Tiago Kirsch Lanes (tiagokirschlanes@gmail.com)

Laboratório de Sistemas de Transportes – Departamento de Engenharia de Produção e Transportes

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Av. Osvaldo Aranha, 99 – Porto Alegre. RS. Brasil