

## Avaliação de sustentabilidade de Duas pontes emblemáticas e em construção numa importante via aérea usando a técnica Fuzzy Vikor: Um estudo de caso

S. Bansal\*<sup>1</sup>, A. Singh<sup>2</sup>, S. K. Singh<sup>1</sup>

\* Autor de Contato: [bansal.shishir@gmail.com](mailto:bansal.shishir@gmail.com)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.171>

Recebido: 10-08-2016 | Aceito: 19-12-2016 | Publicado: 31-01-2017

### RESUMO

Dois projetos de pontes emblemáticas sobre o rio Yamuna em Delhi, em construção, foram avaliadas a partir de critérios de sustentabilidade usando a técnica de Fuzzy-Vikor. O Projeto de Via Elevada de Barapulla foi considerado o mais sustentável em comparação com o Projeto Signature Bridge em termos de vários indicadores identificados durante o estudo. Em geral, os objetivos de fornecer recursos sustentáveis são os de encontrar um equilíbrio entre o que é importante para a comunidade, para o ambiente natural e é economicamente sólido. Durante o estudo, percebe-se que o social, o econômico e o ambiental são os parâmetros estabelecidos de sustentabilidade para os países desenvolvidos enquanto outras questões como governança, parâmetros técnicos e engenharia interna também desempenham um papel fundamental para economias em desenvolvimento como a Índia.

**Palavras chave:** sustentabilidade; Fuzzy-Vikor; governança; parâmetros técnicos; engenharia interna.

**Citado como:** S. Bansal, A. Singh, S. K. Singh (2017), “Avaliação de sustentabilidade de Duas pontes emblemáticas e em construção numa importante via aérea usando a técnica Fuzzy Vikor: Um estudo de caso”, Revista ALCONPAT, 7 (1), pp. 1-14, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.171>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Delhi Technological University, Delhi, India.

<sup>2</sup>M.tech. (Environmental Engineering).

### Informação Legal

Revista ALCONPAT é uma publicação da Associação Latino-americana Controle de Qualidade, Recuperação Patologia e Construção, Internacional, A. C., Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos ao No. 04-2013-011717330300-203 uso exclusivo, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional do Direito de Autor. Responsável pela atualização mais recente deste número, ALCONPAT Unidade Computing, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e imagens publicadas sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C é proibida. Qualquer discussão, incluindo a réplica dos autores, serão publicados na terceira edição do 2017, desde que a informação é recebida antes do encerramento da segunda edição de 2017.

## Sustainability evaluation of two iconic bridge corridors under construction using Fuzzy Vikor technique: A case study

### ABSTRACT

Two iconic bridge projects over River Yamuna in Delhi under construction have been evaluated from sustainability criteria using Fuzzy-Vikor technique. The Barapulla Elevated road project was more found to be more sustainable in comparison to the Signature Bridge Project in terms of various indicators identified during the study. In general, the goals of providing sustainable features are finding a balance between what is important to the community, to the natural environment and is economically sound. During the study, it was realized that social, economic and environmental are the established parameters of sustainability for developed countries only whereas other issues like Governance, Technical parameters and Inner Engineering also play a key role for developing economies like India.

**Keywords:** sustainability; Fuzzy-Vikor; governance; technical parameters; inner engineering.

### Evaluación de la sostenibilidad de dos corredores de puentes icónicos en construcción utilizando la técnica Fuzzy Vikor: Un estudio de caso

### RESUMEN

Dos proyectos en etapa de construcción de puentes icónicos sobre el río Yamuna en Delhi han sido evaluados a partir de criterios de sostenibilidad utilizando la técnica de Fuzzy-Vikor. El proyecto de paso elevado de Barapulla resultó ser más sostenible en comparación con el proyecto del puente Signature en términos de varios indicadores identificados durante el estudio. En general, los objetivos de proporcionar características de sostenibilidad ofrecen un equilibrio entre lo que es importante para la comunidad, el medio ambiente natural y lo económicamente sólido. Durante el estudio se verificó que los parámetros sociales, económicos y ambientales son los parámetros establecidos de sostenibilidad para los países desarrollados, mientras que otros como la gobernanza, los parámetros técnicos y la ingeniería interna también desempeñan un papel clave para las economías en desarrollo como la India.

**Palabras clave:** sostenibilidad; Fuzzy-Vikor; gobernanza; parámetros técnicos; ingeniería interna.

## 1. INTRODUÇÃO

A ideia de sustentabilidade tem sido aceita como uma necessidade mundial e é mais comumente entendida como "melhoria que aborda as questões do presente sem afetar a capacidade de eras futuras para resolver seus próprios problemas". Esta ideia permeou todos os setores da Engenharia, envolvendo a construção de estruturas de transporte.

O objetivo desta pesquisa começa com a representação do pensamento eminente sobre o que constitui a sustentabilidade da estrutura de transporte em meio ao desenvolvimento e como executá-lo. Além disso, o estudo identifica alguns dos principais problemas de sustentabilidade do sistema de transporte através da sua construção em cidades metropolitanas como Deli. Nesta pesquisa, os indicadores de sustentabilidade da via de transporte através do desenvolvimento em um domínio urbano foram notados e destacados. A pesquisa foi realizada sobre a Signature Bridge, que está sendo construída no rio Yamuna pelo DTTDC (Deli Corporação de Desenvolvimento de Turismo e Transportes Ltd.) e Barapulla Elevated Corridor, projeto sendo construído pelo PWD (Departamento de Obras Públicas). O estudo desta pesquisa foi feita em

ambos os locais durante os respectivos períodos de construção, e verificou-se que a sustentabilidade destes corredores (vias) de transporte, durante a fase de desenvolvimento, não é limitada a apenas três pilares, mas que na realidade, é muito além disso. Finalmente, o ponto central deste estudo reside em mostrar uma correlação entre os dois locais de construção mencionados por duas organizações governamentais, isto é PWD e DTTDC, em um ambiente urbano idêntico, utilizando a estratégia Fuzzy rationale para avaliar a sustentabilidade levando em conta a percepção dos apontadores de sustentabilidade utilizando informações coletadas através de diferentes revisões (forma de pesquisa) dos especialistas de campo e da população em geral (moradores/ suburbanos). Este trabalho de pesquisa obtém a sua motivação e orientação a partir de um projeto semelhante realizado por Shishir Bansal et al. "Indicadores de Sustentabilidade de um Corredor de Transporte durante a Construção em Ambiente Urbano".

Este estudo baseia-se na aplicação do método fuzzy. A lógica fuzzy é referida como uma maneira de "raciocínio com incerteza." Oferece um sistema todo caracterizado para controlar a informação duvidosa e não completamente caracterizada. Assim que seja encontrada uma incerteza na informação, a teoria fuzzy fornece um mecanismo para representar a construção linguística como "muitos", "baixo", "médio", "frequentes", "poucos". Noções como altas ou rápidas podem ser calculadas numericamente e preparadas com um objetivo final específico para aplicar uma mentalidade mais humana na programação. Como regra geral, o raciocínio fuzzy fornece uma estrutura lógica que capacita adequadamente o pensamento humano.

## 2. SELEÇÃO DO TERRENO

Duas pontes emblemáticas de Delhi que são a Signature Bridge e o viaduto elevado Barapulla foram levados em consideração para a análise de sustentabilidade.

**SIGNATURE BRIDGE EM WAZIRABAD:** O projeto da Signature bridge ou o projeto da ponte de Wazirabad é um projeto importante e de amplitude internacional. A ponte sobre o rio Yamuna consiste em uma ponte principal que liga a região oeste com a região, criando um destino turístico de acesso às ricas regiões citadas.

**BARAPULLA ELEVATED ROAD CORRIDOR:** O projeto de rodovia elevada sobre Barapulla Nallah é um corredor que liga o Leste ao Sul de Délhi. O projeto foi concebido em três fases com localizações nodais como Mayur Vihar ao leste de Delhi e Aurobindo Marg ao sul de Delhi, com conexões intermediárias como Sarai Kale Khan e Jawahar Lal Nehru Stadium.

Foi encontrado que ambos os projetos têm semelhanças impressionantes, o que levou à formação de um território comum para a comparação imparcial da sustentabilidade. As semelhanças acima mencionadas são as seguintes:

- i. Ambos os projetos são emblemáticos: Signature Bridge é uma ponte estaiada assimétrica com vão principal de 251m, enquanto a Ponte sobre o rio Yamuna, em Barapulla Fase III é ponte com multi-vãos de 120m. Em ambos os casos, o deck é suportado por cabos.
- ii. Ambos os projetos são concebidos com novos conceitos modernos
- iii. Ambos os projetos são realizados em fases que foram progressivamente abertas para uso público
- iv. Ambos os projetos foram construídos no mesmo período, ou seja, suas obras começam antes dos **XIX Jogos da Commonwealth** de 2010
- v. Ambos os projetos se destacam pelo uso de novas e altas tecnologias de construção. Foram adotadas construções por balanços sucessivos em ambos os projetos.
- vi. Ambos os projetos têm suas porções principais construídas fora das partes urbanas da cidade e geraram menos perturbação para o público. A vida normal não foi impedida de qualquer maneira.

### 3. METODOLOGIA APROVADA PARA A PESQUISA

Foi seguido, nesta pesquisa, o procedimento abaixo para identificar os indicadores de sustentabilidade.

- i. Seleção de uma via aérea em construção e definição dos critérios de infraestrutura para essa via.
- ii. Estabelecer categorias de indicadores de desenvolvimento de sustentabilidade
- iii. Identificação de indicadores de sustentabilidade
- iv. Compilação de um formulário que inclua indicadores de sustentabilidade e colunas para avaliação
- v. Atribuir classificações quantitativas e qualitativas aos indicadores reconhecidos, fornecendo avaliações das opiniões dos especialistas.

Primeiro, o levantamento preliminar dos locais selecionados foi realizado em diferentes momentos durante o dia e noite. O objetivo principal era identificar certas questões que impedem a circulação suave do tráfego e também as que são problemáticas na execução e proteção do projeto em curso. A lista de 43 dessas questões foi desenvolvida e depois foram classificadas em seis categorias e cada categoria é definida como Indicadores de Sustentabilidade. Para um ambiente urbano e uma cidade em desenvolvimento como Nova Délhi, o Conceito de linha de base tripla da sustentabilidade não se encaixa. Exige extensão para acomodar as condições locais. Assim, o conceito de linha de base tripla é estendido a seis indicadores gerais de sustentabilidade. Com base na classificação destes indicadores, foi elaborado um questionário e foi obtida a opinião de especialistas nestas áreas do CRRI, PWD, BRO, Consultores, RITES etc. e com o parecer dos especialistas, a classificação destes indicadores foi atribuída com base na metodologia Fuzzy.

Tabela 1. Indicadores de Sustentabilidade adotados

S. No.	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE
<b>A. AMBIENTAL</b>	
1.	Poluição do ar
2.	Sistema de drenagem existente
3.	Poluição sonora durante o dia
4.	Poluição sonora durante a noite
5.	Depleção de Green Belt
6.	Esquema de implantação
7.	Esquemas alternativos para tornar o projeto mais sustentável
<b>B. SOCIAL</b>	
8.	Saúde dos trabalhadores
9.	Atividades de bem-estar para a família de trabalhadores
10.	Condições de saneamento
11.	Primeiros socorros
12.	Medidas de segurança
13.	Aumento do nível de estresse dos residentes/passageiros
14.	Impacto na saúde dos residentes/passageiros
15.	Impacto na segurança dos residentes/passageiros
16.	Preservando os espaços sociais como cremação, Sur Ghat
17.	Atração pública com a estética do Projeto
18.	Utilidade do Projeto ao Público

19.	Preservar as estruturas do patrimônio
<b>C. ECONOMIA</b>	
20.	Aumento do tempo de viagem
21.	Aumento do tempo de viagem
22.	Perturbação ao negócio / Emprego dos residentes próximos
23.	Aumento do custo de construção devido à falta de recursos
24.	Aumento do custo de construção devido ao excesso de tempo
<b>D. TÉCNICO</b>	
25.	Exibição dos Detalhes do Projeto
26.	Desvio de tráfego
27.	Visibilidade e distância de visão para tráfego em movimento
28.	Iluminação de canteiro de obras
29.	Explorando o terreno
30.	Eficácia da tecnologia utilizada
31.	Manipulação de Resíduos C & D
32.	Garantia de Qualidade no Projeto
<b>E. GOVERNANÇA</b>	
33.	Garantir a mobilidade do tráfego dentro da área do projeto pelo tráfego Marshalls
34.	Manutenção do sistema de drenagem existente
35.	Manutenção de Barricadas
36.	Manutenção de utilitários existentes
37.	Manutenção da vegetação existente
38.	Tempo de execução devido ao atraso em gerenciar decisões
39.	Tempo de execução devido a má gestão no local
<b>F. ENGENHARIA INTERNA</b>	
40.	Instalações de Yoga / meditação
41.	Desempenho de Rituais no terreno como Vishwakarma Puja, Primeiro de Maio
42.	Celebração durante Festivais no local
43.	Motivação aos trabalhadores por política de recompensa ou de outra forma

Com base na teoria de Fuzzy, as classificações foram atribuídas a estes 43 indicadores, conforme refletido na Tabela 1. Em estágios posteriores, foi realizado um levantamento com usuários e residentes próximos para avaliar as medidas adotadas pelo cliente e pela agência de construção sob a forma de questionário com classificação com escala de 0 a 9. Onde 9 significava melhores arranjos e 0 significa menos arranjos causando o inconveniente máximo.

## 4. LÓGICA FUZZY

### 4.1 Preliminares da Teoria dos Conjuntos Fuzzy

Algumas definições relacionadas da teoria do conjunto fuzzy (Buckley 1985, Dubois e Prade, 1987, Kaufmann e Gupta, 1991, Klir e Yuan, 1995, Pedrycz, 1994, Zadeh, 1965) e Zimmermann (2001) são apresentadas como se segue.

#### 4.1.1 Definição 1

Um conjunto fuzzy  $\tilde{A}$  num universo de discurso  $X$  é caracterizado por uma função de associação  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  que mapeia cada elemento  $x$  em  $X$  para um número real no intervalo  $[0, 1]$ . O valor de

função  $\mu_{\tilde{a}}(x)$  é denominado grau de associação de  $x$  em  $\tilde{a}$  (Kaufmann e Gupta, 1991). Quanto mais próximo o valor de  $\mu_{\tilde{a}}(x)$  for para a unidade, maior será o grau de adesão de  $x$  em  $\tilde{a}$ .

#### 4.1.2 Definição 2

Um número triangular fuzzy (Fig. 1) é representado como um triplete  $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ . Devido à sua simplicidade conceitual e computacional, os números difusos triangulares são muito utilizados em aplicações práticas (Klir e Yuan, 1995; Pedrycz, 1994). A função de associação do número fuzzy triangular é dada por:  $\mu_{\tilde{a}}(x) = 0$ ,  $x \leq a_1$ ,  $\mu_{\tilde{a}}(x) = (x-a_1)/(a_2-a_1)$ , para  $a_1 < x \leq a_2$  e  $\mu_{\tilde{a}}(x) = (a_3-x)/(a_3-a_2)$  para  $a_2 < x \leq a_3$  e finalmente  $\mu_{\tilde{a}}(x) = 0$ , for  $x > a_3$ , onde  $a_1, a_2, a_3$  são números reais e  $a_1 < a_2 < a_3$ . O valor de  $x$  em  $a_2$  dá a nota máxima de  $\mu_{\tilde{a}}(x)$ , ou seja,  $\mu_{\tilde{a}}(x) = 1$ ; É o valor mais provável dos dados de avaliação. O valor de  $x$  em  $a_1$  dá a nota mínima de  $\mu_{\tilde{a}}(x)$  ou seja,  $\mu_{\tilde{a}}(x) = 0$ ; É o valor menos provável dos dados de avaliação. Quanto mais estreito o intervalo  $[a_1, a_3]$ , menor a nitidez dos dados de avaliação.

#### 4.2 Variáveis linguísticas e teoria dos conjuntos fuzzy

Na teoria do conjunto fuzzy, as escalas de conversão são usadas para transformar os termos qualitativos em números fuzzy. Uma escala de 0-9 é usada para classificar os critérios e as alternativas. A Tabela 2 representa os esquemas de conversão para as classificações qualitativas, alternativas e de critérios.

Tabela 2. Transformação fuzzy para critérios qualitativos de ponderação e classificação de terrenos

Critérios de ponderação		Classificações do terreno	
Classificação Qualitativa	Função de associação	Classificação Qualitativa	Função de associação
Muito baixo (VL)	(1,1,3)	Muito pobre (VP)	(1,1,3)
Baixo (L)	(1,3,5)	Pobre (P)	(1,3,5)
Médio (M)	(3,5,7)	Justo (F)	(3,5,7)
Alto (H)	(5,7,9)	Bom (G)	(5,7,9)
Muito Alto (VH)	(7,9,9)	Muito bom (VG)	(7,9,9)

#### 4.3 Método VIKOR

Em 1998 foi desenvolvido pelo Opricovic o método VIKOR (Vlse kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) para a otimização dos multicritérios dos sistemas complexos. O método VIKOR se concentra em classificar e classificar um conjunto de alternativas contra vários critérios de decisão assumindo que comprometer é adequado apenas para resolver conflitos. Assim como alguns outros métodos MCDM como TOPSIS, VIKOR depende de uma função de agregação que significa proximidade com o ideal, mas ao contrário do TOPSIS, introduz o índice de classificação com base nas medidas particulares de proximidade com as soluções ideais e, portanto, este método utiliza a normalização linear para eliminar unidades de funções de critério (Opricovic & Tzeng, 2004).

A estratégia VIKOR foi introduzida como um método apropriado para atualizar dentro da questão MCDM e foi produzida como uma escolha multicritérios para fazer um procedimento para resolver uma decisão discreta para um problema com critérios não comensuráveis e conflitantes. Este método centra-se na classificação e seleção de um conjunto de alternativas e avalia a solução de compromisso para um problema dentro de critérios conflitantes, o que pode ajudar os tomadores de decisão a chegar a uma solução final. A medida multicritério para barganhar

posicionamento é produzida a partir da métrica LP utilizada como capacidade de totalização como parte de um método de programação de trade off.

Assumindo que cada alternativa é avaliada de acordo com cada função de critério, a classificação de compromisso poderia ser realizada comparando a medida de proximidade com a alternativa ideal. As várias m alternativas são indicadas como  $A_1, A_2, \dots, A_m$ . Para a alternativa  $A_i$ , a classificação do j-ésimo aspecto é denotada por  $f_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ ), ou seja,  $f_{ij}$  é o valor da função do j-ésimo critério para a alternativa  $A_i$ , n é o número de critérios.

O algoritmo de classificação de compromisso do método VIKOR tem as seguintes etapas:

**Passo 1: Atribuir classificações a vários terrenos e critérios alternativos por tomadores de decisão (K Nos.) E especialistas (L Nos.)**

Tomemos um conjunto de m locais alternativos chamados  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  que precisamos avaliar contra um conjunto de n critérios, que é  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ .

- a) Os pesos dos critérios avaliados pelos especialistas são representados por  $w_j$  onde ( $j = 1, 2, \dots, n$ ). A classificação de cada especialista  $E_l$  ( $l = 1, 2, \dots, L$ ) para cada critério  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) é indicada por:  
( $a_{jl}, b_{jl}, c_{jl}$ ), onde  $j = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, L$ ;
- b) As classificações de desempenho do tomador de decisão  $D_k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) para cada alternativa  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) de acordo com os critérios  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) são indicados por:  
( $a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}$ ), onde  $j = 1, 2, \dots, n; i = 1, \dots, m; k = 1, 2, \dots, K$

**Passo 2: Calcular as classificações agregadas de nitidez ( $w_j$ ) para cada critério por especialistas e  $D_k$  correspondentes a cada critério de alternativas e critérios.**

Os pesos fuzzy agregados ( $w_{ij}$ ) correspondentes a cada critério são calculados como  $w_j = (w_{j1}; w_{j2}; w_{j3})$  onde

$$w_{j1} = \min \{w_{j1l}\}, w_{j2} = \frac{1}{l} \sum_{l=1}^L w_{j12}, w_{j3} = \max \{w_{j13}\} \quad (1)$$

$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  Correspondente a cada um dos critérios 'n'

Classificação Crisp  $w_j = (w_{j1} + 4*w_{j2} + w_{j3})/6$

Da mesma forma, a classificação difusa agregada para cada um dos terrenos m alternativos é calculada.

$R_k = (a_k, b_k, c_k)$ , onde  $k = 1, 2, \dots, K$ , então a classificação difusa agregada é definida por  $R = (a, b, c)$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$  onde;

$$a = \min \{a_k\}, b = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_k, c = \max \{c_k\} \quad (2)$$

**Passo 3: Para calcular a matriz de decisão fuzzy para 'K' tomadores de decisão, 'm' locais alternativos e 'n' número de critérios**

A matriz de decisão fuzzy (D) para os critérios ( $C_j$ ) e as alternativas ( $A_i$ ) é construída como segue:

$$D = \begin{matrix} & & & & A_1 & A_2 & \dots & A_m \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} & , & i= 1, 2, \dots, m; & j= 1, 2, \dots, n \end{matrix} \quad (3)$$

**Passo 4: defuzzificar os elementos da matriz de decisão fuzzy correspondente às alternativas e os pesos dos critérios em valores nítidos.**

Um número fuzzy  $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$  pode ser convertido em um número nítido  $a$  empregando a seguinte equação:

$$a = (a_1 + 4a_2 + a_3)/6 \quad (4)$$

**Passo 5: Determinar os melhores e piores valores da classificação dos critérios onde  $f_j^*$  é melhor e valores  $f_j^-$  é o pior valor**

$$\begin{aligned} f_j^* &= \max_i \{x_{ij}\} \\ f_j^- &= \min_i \{x_{ij}\} \end{aligned} \quad (5)$$

**Passo 6: Para calcular os valores de  $S_i$  e  $R_i$  utilizando as equações apresentadas abaixo**

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^- - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (6)$$

$$R_i = \max_j w_j \frac{f_j^- - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (7)$$

**Passo 7: Para calcular os valores de  $Q_i$  usando**

$$Q_i = v \frac{s_i^- - s^*}{s^- - s^*} + (1 - v) \frac{R_i^- - R^*}{R^- - R^*} \quad (8)$$

Onde  $S^* = S_i$  mínimo,  $S^- = S_i$  máximo,  $R^* = R_i$  mínimo e  $R^- = R_i$  máximo e  $v$  é o peso para a estratégia de utilidade máxima de grupo e aqui é tomado como 0,5

**Etapa 8: Classificar as alternativas classificando os valores  $Q$ ,  $R$  e  $S$  em ordem crescente.**

Passo 9: Propor uma solução de compromisso para a alternativa ( $A^{(1)}$ ) que é o melhor classificado pela medida  $Q$  (mínimo) se as duas condições seguintes forem satisfeitas.

**C1: Vantagem aceitável**

$$\text{If } Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ \quad (9)$$

Onde  $A^{(2)}$  é a alternativa que ocupa a segunda posição na lista de classificação de acordo com  $Q$  e

$$DQ = 1/J-1, \text{ Onde } j \text{ é o número de critérios} \quad (10)$$

**C2: Estabilidade aceitável na tomada de decisões**

A alternativa A<sup>(1)</sup> também deve ser a melhor classificada por R ou/e S. A solução de liquidação é estável somente dentro de um processo de tomada de decisão específico, e essa poderia ser a estratégia de utilidade máxima do grupo (quando  $v > 0,5$  é necessária), Ou - por consenso quando  $v = 0,5$ , ou - com veto ie ( $v < 0,5$ ). Se uma das condições acima não for satisfeita, então um conjunto de soluções de assentamento é proposto, que consiste em:

- Alternativas A (1) e A (2) se apenas a condição C2 não for satisfeita Ou
- Alternativas A (1), A (2), ... A (M) se a condição C1 não for satisfeita;

A (M) é determinada pela relação

$Q(A(M)) - Q(A(1)) < DQ$  para M máximo (a posição destas alternativas está na proximidade).

**5. APLICAÇÃO NUMÉRICA DA LÓGICA FUZZY**

Nesta seção, a avaliação da sustentabilidade dos dois corredores de transporte como locais alternativos, nomeadamente A1 e A2, em Delhi, em construção, foi realizada usando a técnica Fuzzy VIKOR. Estes locais do projeto são o corredor elevado de Barapulla (A1) construído pelo PWD e a Signature Bridge (A2) construída pelo DTTDC.

Foi formado um comitê de 10 especialistas (E1, E2 ... E10) para obter as classificações qualitativas dos critérios e das alternativas.

Tabela 3. Avaliações qualitativas e classificações agregadas de critérios fuzzy

Critério	Classificação qualitativa										Peso agregado Fuzzy	Classificação Crisp (W <sub>j</sub> )
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10		
C1	VH	VH	VH	H	H	VH	VH	H	VH	VH	(5,8,4,9)	7.93
C2	H	VH	M	VH	M	M	H	VH	VH	H	(3,7,2,9)	6.80
C3	M	H	H	H	L	H	M	M	M	M	(1,5,6,9)	5.40
C4	H	VH	VH	VH	VH	H	H	H	H	VH	(5,8,9)	7.67
C5	VH	VH	M	H	H	VH	VH	H	H	H	(3,7,6,9)	7.07
C6	VH	VH	VH	H	H	M	H	M	H	H	(3,7,2,9)	6.80
C7	H	M	M	VH	H	H	VH	VH	H	H	(3,7,2,9)	6.80
C8	VH	VH	H	VH	H	VH	H	H	H	VH	(5,8,9)	7.67
C9	VH	H	L	VH	H	H	H	M	H	H	(3,6,8,9)	6.53
C10	VH	VH	H	VH	H	VH	H	H	H	H	(5,7,8,9)	7.53
C11	VH	VH	VH	VH	H	VH	VH	VH	H	VH	(5,8,6,9)	8.07
C12	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	(7,9,9)	8.67
C13	H	VH	VL	VH	M	VH	VH	H	M	VH	(1,7,9)	6.33
C14	VH	VH	VH	VH	M	VH	VH	H	H	H	(3,8,9)	7.33
C15	VH	VH	VH	VH	H	VH	VH	VH	VH	H	(5,8,6,9)	8.07
C16	H	VH	M	M	H	VH	VH	H	VH	H	(3,7,4,9)	6.93
C17	M	H	L	H	H	VH	M	M	H	M	(1,6,9)	5.67
C18	VH	VH	M	H	M	H	VH	VH	H	VH	(3,7,6,9)	7.07
C19	VH	M	M	M	M	H	VH	VH	VH	H	(3,7,9)	6.67
C20	VH	VH	VH	VH	M	VH	H	H	VH	H	(3,8,9)	7.33
C21	VH	VH	VH	VH	M	M	H	H	VH	H	(3,7,6,9)	7.07

C22	H	H	VH	VH	L	M	H	H	H	M	(1,6,8,9)	6.53
C23	H	H	H	VH	VH	VH	H	H	VH	VH	(5,8,9)	7.67
C24	H	H	H	VH	VH	VH	H	H	VH	VH	(5,8,9)	7.67
C25	H	H	M	H	L	L	H	M	VH	L	(1,5,6,9)	5.40
C26	VH	H	(5,8,8,9)	8.20								
C27	VH	VH	H	VH	M	VH	VH	VH	H	H	(3,8,9)	7.33
C28	VH	VH	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H	(5,8,6,9)	8.07
C29	VH	VH	H	VH	H	VH	VH	H	VH	VH	(5,8,4,9)	7.93
C30	VH	H	H	H	M	M	M	H	VH	H	(3,6,8,9)	6.53
C31	H	H	M	VH	H	VH	VH	H	H	H	(3,7,4,9)	6.93
C32	VH	H	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H	H	(5,8,4,9)	7.93
C33	VH	VH	VH	VH	VL	VH	H	VH	VH	VH	(1,8,9)	7.00
C34	VH	VH	H	VH	H	VH	H	VH	VH	VH	(5,8,4,9)	7.93
C35	H	M	H	VH	H	VH	H	VH	H	M	(3,7,2,9)	6.80
C36	VH	H	VH	VH	VH	VH	H	VH	H	H	(5,8,2,9)	7.80
C37	VH	VH	M	VH	H	H	H	H	H	VH	(3,7,6,9)	7.07
C38	H	H	VH	VH	VH	H	H	M	VH	VH	(3,7,8,9)	7.20
C39	H	H	VH	VH	M	M	VH	VH	VH	H	(3,7,6,9)	7.07
C40	M	M	M	H	VL	M	VL	L	VL	L	(1,3,4,9)	3.93
C41	VL	L	H	VH	VH	M	VL	M	H	L	(1,5,9)	5.00
C42	M	VL	VH	H	VL	M	VL	M	M	VL	(1,3,8,9)	4.20
C43	VH	VH	H	H	VH	VH	H	H	VH	VH	(5,8,2,9)	7.80

As classificações qualitativas em números triangulares fuzzy e, em seguida, geradas classificações agregadas usando a equação (1). A tabela a seguir apresenta a matriz de decisão fuzzy agregada para os dois locais alternativos.

Gerar classificações agregadas de nitidez para ambos os locais alternativos usando a equação (4). Com base nestes valores, calcularemos os melhores  $f_j^*$  e os piores valores  $f_j^-$  de todos os 43 critérios usando a equação (5)

Tabela 4. Os melhores valores  $f_j^*$  e os piores valores  $f_j^-$  dos 43 critérios

Critério	Avaliação Crisp		Pior valor $F_j^-$	Melhor valor $F_j^*$
	A1 (PWD)	A2 (DTTDC)		
C1	6.15	6.01	6.01	6.15
C2	6.17	6.15	6.15	6.18
C3	6.28	6.17	6.17	6.28
C4	6.32	6.19	6.19	6.32
C5	6.83	6.53	6.53	6.83
C6	4.44	4.57	4.44	4.57
C7	6.75	6.59	6.59	6.75
C8	6.15	6.01	6.01	6.15
C9	4.33	4.52	4.33	4.52
C10	4.36	4.57	4.36	4.57

C11	6.8	6.53	6.53	6.85
C12	6.15	6.01	6.01	6.15
C13	6.09	6.12	6.09	6.12
C14	6.64	6.59	6.59	6.64
C15	6.8	6.51	6.51	6.8
C16	6.64	6.53	6.53	6.64
C17	6.15	6.01	6.01	6.15
C18	6.85	6.51	6.51	6.85
C19	6.85	6.53	6.53	6.85
C20	6.93	6.61	6.61	6.93
C21	6.85	6.53	6.53	6.85
C22	6.83	6.53	6.53	6.83
C23	6.85	6.56	6.56	6.85
C24	6.75	6.51	6.51	6.75
C25	6.83	6.53	6.53	6.83
C26	6.83	6.59	6.59	6.83
C27	6.83	6.51	6.51	6.83
C28	6.85	6.59	6.59	6.85
C29	6.83	6.53	6.53	6.83
C30	6.88	6.56	6.56	6.88
C31	6.85	6.53	6.53	6.85
C32	6.64	6.53	6.53	6.64
C33	6.64	6.56	6.56	6.64
C34	6.59	6.53	6.53	6.59
C35	6.83	6.56	6.56	6.83
C36	6.61	6.56	6.56	6.61
C37	5	5.72	5	5.72
C38	6.85	6.53	6.53	6.85
C39	6.59	6.53	6.53	6.59
C40	6.64	6.56	6.56	6.64
C41	6.64	6.56	6.56	6.64
C42	6.44	6.15	6.15	6.44
C43	6.64	6.51	6.51	6.64

A tabela a seguir apresenta os valores de  $S_i$ ,  $R_i$  e  $Q_i$  para as duas alternativas calculadas pelas equações (6) - (8). Os valores de  $S^* = 0,736$ ,  $S^- = 5,76$ ,  $R^* = 0,163$ ,  $R^- = 0,188$  são calculados utilizando a equação (9).

Tabela 5. Valores de  $S_i$ ,  $R_i$  e  $Q_i$

	A1(PWD)	A2(DTTDC)
$S_i$	0.74	5.75
$R_i$	0.16	0.19
$Q_i$	0	0

A Tabela 6 classifica as duas alternativas, classificando os valores de  $S_i$ ,  $R_i$  e  $Q_i$  obtidos da Tabela 5 em ordem ascendente. Pode ser observado a partir dos resultados acima apresentados na Tabela 6 que o terreno 1 que é Corredor Elevado de Barapulla pela PWD é o melhor classificado

pela medida de menor valor de  $Q_i$ . Portanto, agora será analisado para as duas condições dadas que foram discutidas anteriormente.

Tabela 6. Classificação das alternativas

$S_i$	A1	A2
$R_i$	A1	A2
$Q_i$	A1	A2

### 1). C1: vantagem aceitável, isto é, equação 9

Utilizando a equação 9  $DQ = 1/43 - 1 = 1/42 = 0,0238$ .

Agora, para satisfazer a condição  $Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ$ , onde  $A^{(1)}$  é o melhor classificado pela medida  $Q$  (mínimo) e no nosso caso é A1

Temos

$Q(A2) - Q(A1) = 1 - 0 = 1 > 0,0238$ , portanto, a condição  $QA^{(1)} - QA^{(2)} \geq DQ$  é satisfeita.

### 2). C2: Estabilidade aceitável na tomada de decisão usando a equação 10

Uma vez que o terreno A1 é melhor classificado por  $S_i$  e  $R_i$  (considerando o - "por consenso regra  $v = 0,5$ "), portanto, é declarado como um corredor mais sustentável.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Resultados

A técnica Fuzzy VIKOR foi aplicada para avaliação de sustentabilidade de dois corredores (vias aéreas) de transporte principais em construção, isto é, (A1, A2), na cidade de Nova Déli. Esses projetos foram o Corredor Elevado de Barapulla sendo construído por PWD (A1) e Ponte de Assinatura construída pela DTTDC (A2). Os resultados finais após a aplicação numérica do método Fuzzy VIKOR mostram que o terreno A1, isto é, o Corredor Elevado de Barapulla que está sendo construído pelo PWD, é considerado mais sustentável nas condições dadas e os indicadores de sustentabilidade escolhidos.

### 6.2 Discussões

A metodologia de cinco etapas definida nesta pesquisa pode ser usada para qualquer corredor de transporte para desenvolver indicadores de sustentabilidade. Os cinco passos são

- i. Seleção de um corredor em construção e definição dos critérios de infraestrutura para o corredor
- ii. Desenvolvimento das categorias de indicadores de sustentabilidade
- iii. Identificação dos indicadores de sustentabilidade
- iv. Compilação de um formulário que inclua indicadores de sustentabilidade e colunas correspondentes para avaliação
- v. Atribuir as classificações quantitativas e qualitativas aos indicadores reconhecidos, fornecendo as classificações das opiniões dos especialistas de campo

Cada uma dessas etapas pode ser aplicada para avaliar um corredor de transporte sustentável em construção em um ambiente urbano. Este processo começou com o requisito para a categorização da sustentabilidade de três pilares existentes, ou seja, aspectos econômicos, sociais e ambientais e se destacou com o desenvolvimento de três categorias mais vitais, ou seja, Governança, Técnica e Engenharia Interna. Em fases posteriores, os parâmetros / indicadores individuais destas 6 categorias de sustentabilidade foram reconhecidos visitando os corredores em construção e consulta com os especialistas de campo. Finalmente, o processo foi concluído com a compilação

Avaliação de sustentabilidade de Duas pontes emblemáticas e em construção num importante via aérea usando a técnica Fuzzy Vikor: Um estudo de caso

de um formulário que fornece avaliações qualitativas e quantitativas a cada indicador de sustentabilidade identificado pelos especialistas.

## 7. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões são extraídas do estudo acima:

- i. Através deste estudo de pesquisa foi definido que a sustentabilidade não é apenas baseada em três parâmetros, mas também dependem de vários outros indicadores que foram identificados neste estudo.
- ii. Diversos Indicadores de Sustentabilidade através da fase de construção foram identificados para um corredor (via) de transporte elevado e, portanto, são classificados em várias categorias como as abrangidas nesta pesquisa.
- iii. Os três pilares da sustentabilidade, a saber, sociais, econômicos e ambientais, são viáveis apenas para os países desenvolvidos, enquanto que em economias em desenvolvimento como a Índia, onde vários outros fatores, como o aumento exponencial da população etc., entram em jogo a necessidade de introduzir parâmetros adicionais.
- iv. O estudo comparativo de 2 corredores (vias) de transporte emblemáticas e em construção, o Corredor Elevado de Barapulla sendo construído por PWD (A1) e Signature Bridge construída pela DTTDC (A2) definiu uma metodologia para futuros estudos de sustentabilidade
- v. Os resultados deste estudo mostraram também que o corredor elevado de Barapulla é mais sustentável em comparação com a Signature Bridge.

## 8. REFERÊNCIAS

- Awasthi A., Chauhan S. S., Omrani H. (2011), “*Application of fuzzy TOPSIS in evaluating sustainable transportation systems*”, Expert Systems with Applications, V. 38 pp.12270–12280.
- Awasthi A., Omrani H., Philippe G. (2013), “*Multi-criteria decision making for sustainability evaluation of urban mobility projects*”, CEPS Instead, Working Paper No 2013-01.
- Buckley, J. J. (1985), “*Fuzzy hierarchy analysis.*” Fuzzy Sets and Systems 17: 233-47.
- Christy Mihyeon J., (2007), “*Incorporating sustainability into transportation planning and decision making: definitions, performance measures, and evaluation*” Ph.D. Thesis in the School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Congress Proceedings:
- Dubois D. and Prade H. (1987), “*Possibility theory: An approach to computerized processing of uncertainty*” New York: Plenum Ed.
- Jeon, C. M. and Amekudzi, A. (2005) “*Addressing sustainability in transportation systems: Definitions, Indicators, and Metrics*” Journal of Infrastructure Systems, American Society of Civil Engineers (ASCE). V.11, N. 1, pp. 31-50.
- Kaufmann, A., and Gupta, M. M. (1991), “*Introduction to fuzzy arithmetic: Theory and Application*”, New York: Van Nostrand Reinhold.
- Klir, G. J. and Yuan, B. (1995), *Fuzzy Sets and fuzzy logic. Theory and Applications*. Upper Saddle River: Pr
- Litman T. (2009), *A good example of bad transportation performance evaluation*, Working paper, Victoria Transport Policy Institute.
- Litman, T. (2008), “*Well Measured: Developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning*”. British Columbia: Victoria Transport Policy Institute.

- Litman, T. and Burwell, D. (2006), “*Issues in sustainable transportation*”, Journal of Global Environmental Issues, V., N.4, pp331-346.
- Litman, T., (2009), “*Sustainable transportation indicators- A recommended research program for developing sustainable transportation indicators and data*”. In Proceedings of the 2009 transportation research board annual conference, CD-ROM, Washington, DC, January 11-15
- Opricovic, G. H. T. (2004), *Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS*, I.ropean Journal of Operational Research, 156, pp. 445–455
- Opricovic, T. (2002), “*Multicriteria planning of post-earthquake sustainable reconstruction*, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering”, V.17, N.3, pp. 211–220
- Ott, W. (1978), “*Environmental indices: Theory and Practice*”. Ann Arbor: Ann Arbor Science.
- Pedrycz, W. 1994. “*Why triangular membership functions?*” Fuzzy Sets and Systems 64 (1): 21-30.
- Robert, “*Sustainable transportation and quality of life*”, Department of Psychology, University of Victoria, Victoria BC V8W 3P5, Canada.
- Shishir B., Kurian J., Singh S. K., (2013), “*Application of environmental friendly systems to protect the environment during construction of grade separators in new delhi*”, First international conference on concrete sustainability, Tokyo, Japan, Being Organised By Japan Concrete Institute, May 27-29, 2013
- Shishir B., Sameer V., Singh S. K. (2014), “*Sustainability indicators of a transportation corridor during construction in an urban environment*”, International Conference on sustainable civil infrastructure, American Society of Civil Engineers, India Section, Hyderabad (2014)
- Shishir B., Sameer V., Singh S. K. (2015), “*Identificaton of sustainability indicators and evaluation of transportation corridors during construction using fuzzy Vikor method*”, Journal of Civil Engineering and Architecture, V.9, N.10, pp -1217-1228.
- Shishir B., Singh S. K., Kurian J., (2013), “*Environmental impacts and mitigation measures in infrastructure projects in new delhi*”, First International Conference on Concrete Sustainability, 27-29 May 2013, Tokyo Japan, Program & Paper abstracts, pp 177
- Steg L., (2005) Department of Psychology, University of Groningen, Netherlands, Gifford,
- Stuart Samberg, RK&K Engineers, Bassok Alon, (2011) Puget Sound Regional Council and Holman Shawna, P., “*Method for evaluation of sustainable transportation toward a comprehensive approach*”
- Sunita B., Srijit B., Singh S. K. (2015), “*Approach of fuzzy logic for evaluation of green building rating system*”, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), V.2, N.3, pp 35-39.
- Sunita B., Srijit B., Singh S. K. (2015), “*Fuzzy modelling for selection of most economical green building out of N-Alternatives*”, International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST), V. 36, N.3, pp 7-11
- Sunita B., Srijit B., Singh S. K. (2015), “*Selection of most economical green building out of n-alternatives: approach of vague fuzzy logic*”, International Journal of Research in Engineering and Technology, V.4, N.2, pp. 164-168.
- World Commission on Environment and Development (WCED), (1987) “*Our Common Future*”, Oxford University Press, Oxford, England
- Zadeh, L. (1965), “*Fuzzy sets.*”, Information and Control 8(3): 338-53.
- Zimmermann, H. J., (2001), “*Fuzzy set theory and its applications*”, 4th ed. Boston: Kluwer Academic Publishers. entice-Hall PTR.