

# Avaliação da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana

**Luís Bragança, PhD**

Universidade do Minho  
braganca@civil.uminho.pt

**Ricardo Mateus, PhD**

Universidade do Minho  
ricardomateus@civil.uminho.pt

## RESUMO

*Existe uma grande diversidade de razões que fazem com que a reabilitação urbana seja importante, necessária e, em muitos casos, urgente. Para o efeito, podem-se citar vários exemplos como a renovação do parque habitacional degradado, o aumento da eficiência energética, a preservação do património histórico, a criação de zonas verdes e de zonas de lazer, a melhoria da mobilidade urbana, etc. Qualquer que seja o motivo para se realizarem operações de reabilitação urbana e quaisquer que sejam essas operações de reabilitação, atualmente, a melhoria da sustentabilidade é um dos principais aspetos a ter em consideração uma vez que o ambiente construído é responsável por inúmeros impactos (ambientais, sociais e económicos) que influenciam direta ou indiretamente a qualidade de vida da população urbana. Este artigo tem por objetivo apresentar um método de apoio à tomada de decisões flexível, passível de ser adequado à realidade local, que tem em conta as razões que tornam necessárias as operações de reabilitação urbana, baseado nos princípios do desenvolvimento sustentável. Para desenvolver o referido método de apoio à tomada de decisões foram tidos em consideração os trabalhos propostos pelos diversos organismos internacionais e, em especial, as recentes normas ISO sobre o desenvolvimento sustentável de comunidades urbanas. Além disso, este novo método de apoio à tomada de decisões baseia-se, também, na adaptação à reabilitação urbana da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC), previamente desenvolvida pelos autores, a qual tem demonstrado ser um instrumento muito útil e versátil na seleção de soluções construtivas sustentáveis, de elevado desempenho e de baixo custo, quando considerado o ciclo de vida. Da análise acima referida e da adaptação da metodologia MARS-SC à reabilitação urbana resultou um novo instrumento de apoio à tomada de decisões que foi designado por Metodologia para a Avaliação Relativa da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana (MARS-ORU). Os resultados obtidos permitem concluir que a metodologia MARS-ORU pode constituir um poderoso instrumento de apoio à tomada de decisões relativamente ao planeamento e gestão das operações de reabilitação urbana que tenham como objetivo a melhoria da sustentabilidade urbana e, conseqüentemente, da qualidade de vida das populações.*

## INTRODUÇÃO

Devido ao processo de urbanização acelerado verificado no século XX, as cidades atualmente refletem um crescimento rápido e, muitas vezes, desordenado, que não considera a capacidade de suporte do lugar nas ações de planeamento. Esta situação influencia direta e negativamente a utilização de recursos naturais e energia. O crescimento exponencial da população, coincidente com a urbanização

e o inevitável crescimento das áreas urbanas, implica aumentos substanciais na procura por recursos materiais, água potável, fontes energéticas e também na geração de resíduos sólidos e efluentes (Bragança et al., 2016a).

A sustentabilidade das cidades depende das políticas públicas e, também, dos seus habitantes. Ambos constituem os elementos essenciais que inevitavelmente devem levar a um ambiente construído adequado para a manutenção da qualidade de vida (Rohecouste et al., 2014; Newton et al., 2014).

Qualquer que seja o motivo para se realizarem operações de reabilitação urbana e quaisquer que sejam essas operações de reabilitação, atualmente, a melhoria da sustentabilidade é um dos principais aspetos a ter em consideração uma vez que o ambiente construído é responsável por inúmeros impactos (ambientais, sociais e económicos) que influenciam direta ou indiretamente a qualidade de vida da população urbana.

Deste modo, é urgente repensar as políticas e mecanismos de regulação existentes, através do estabelecimento de princípios relativos a questões ambientais, sociais e económicas. Para o desenvolvimento de novos modelos de gestão urbana alicerçados no conceito de sustentabilidade, é necessário que se possa avaliar quantitativamente o nível de sustentabilidade das soluções propostas (Bragança, 2017a).

Os sistemas de avaliação da sustentabilidade são instrumentos que apoiam e permitem aos gestores, planeadores urbanos e às autoridades locais fazer uma análise cuidadosa dos novos desenvolvimentos urbanos, bem como das áreas já existentes, do ponto de vista ambiental, social e económico (Lützkendorf et al., 2016). Particularmente, no caso das áreas urbanas existentes, os sistemas de avaliação da sustentabilidade podem auxiliar na identificação de zonas problemáticas ou de baixo desempenho, servindo também como ferramenta auxiliar no desenvolvimento de estratégias de melhoria. Podem, ainda, auxiliar na monitorização contínua do sucesso e impacto das intervenções e medidas de sustentabilidade adotadas, permitindo a eventual correção das ações de planeamento. No entanto, dada a extraordinária complexidade da avaliação da sustentabilidade em áreas urbanas, esta deve ser feita através da análise de critérios prioritários, que podem servir de base para instrumentos de certificação das mesmas (Bragança et al., 2016b).

Perante a necessidade de compreender quais as práticas de reabilitação urbanas mais sustentáveis começaram a ser desenvolvidos por diversas instituições, vários sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana. Dentre eles, destacam-se a metodologia BREEAM Communities (BREEAM, 2016), a certificação LEED for Neighborhood Development (USGBC, 2014), a metodologia SBTool PT PU (Ecochoice & LFTC-UMinho, 2013), a metodologia ESC (IDB, 2014) e as normas ISO 37120 e 37101-1, sobre o desenvolvimento sustentável de comunidades urbanas (ISO, 2014 e ISO, 2016).

Estes sistemas são constituídos por diferentes indicadores que avaliam o desempenho urbano ao nível de vários aspetos específicos (Bragança et al., 2017b). A avaliação desses indicadores é efetuada comparando o desempenho de uma determinada área urbana com práticas de referência (*benchmarks*). Essas práticas de referência são valores característicos de áreas urbanas de uma região ou país e permitem enquadrar o nível de desempenho em relação às práticas convencionais nessa região ou nesse país, possibilitando uma avaliação de sustentabilidade.

Com a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade (MARS), aplicada às operações de reabilitação urbana, pretende-se suprir essa necessidade, uma vez que permite avaliar o desempenho ambiental, funcional, sócio-cultural e económico de soluções alternativas de reabilitação urbana servindo de suporte à tomada de decisão dos gestores e planeadores urbanos na seleção de soluções mais sustentáveis. O nível de sustentabilidade das soluções alternativas é avaliado relativamente à solução existente, através da avaliação de um conjunto de indicadores englobados nas três dimensões da sustentabilidade.

## MARS-ORU – METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO RELATIVA DA SUSTENTABILIDADE DAS OPERAÇÕES DE REABILITAÇÃO URBANA

### Estrutura

A avaliação da sustentabilidade do ambiente construído, seja de uma cidade, de uma comunidade urbana, de um bairro, de um edifício, de uma solução construtiva ou mesmo de um produto ou material de construção, depende de um conjunto de aspetos técnicos, sociais, culturais, ambientais e económicos. Estes aspetos devem ser identificados, analisados e avaliados. Na metodologia MARS, a avaliação desses aspetos é efetuada através da avaliação do desempenho de um conjunto de indicadores, que são considerados importantes para a análise do nível de sustentabilidade do objeto em questão. Ao englobar indicadores das três dimensões da sustentabilidade, é possível evitar o erro, cometido no passado, de avaliar as soluções alternativas apenas sob o ponto de vista económico ou de associar a sustentabilidade apenas às questões ambientais.

Na avaliação da sustentabilidade pode ser incluída uma grande diversidade de indicadores que podem, ou não, estar correlacionados entre si mas que, geralmente, não se expressam na mesma grandeza. Por outro lado, o modo como cada um dos indicadores influencia a sustentabilidade não é consensual nem imutável ao longo do tempo. Assim, é difícil expressar a sustentabilidade em termos absolutos, através de um valor que integre todas as questões que devem ser analisadas e que permita a classificação do objeto analisado relativamente à sua sustentabilidade. Por exemplo, uma solução que apresente bom desempenho ambiental e, ao mesmo tempo, não cumpra as exigências funcionais mínimas, não pode ser considerada sustentável. Por outro lado, uma solução com bom desempenho ambiental e que cumpra todas as exigências funcionais, mas em que o custo de construção e/ou operação ultrapassa largamente o custo da solução convencional, não poderá também ser considerada sustentável, pois o seu elevado custo global pode constituir uma barreira à sua implementação.

A sustentabilidade é, assim, uma questão relativa, que deve ser avaliada comparativamente e relativamente a soluções de referência adequadas a um determinado país e/ou local. Deste modo, é possível verificar se, ao nível de cada indicador analisado, as soluções alternativas em estudo são melhores ou piores do que as soluções de referência. A solução mais sustentável depende, dessa forma, daquilo que o limite tecnológico pode proporcionar em cada momento no contexto de cada situação concreta (Mateus et al., 2009).

Na Metodologia para a Avaliação Relativa da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana (MARS-ORU) propõe-se que a sustentabilidade das soluções alternativas em estudo seja avaliada relativamente a uma solução de referência que consiste na situação atualmente existente. Cada indicador de desempenho de cada solução alternativa é analisado e comparado com os valores de desempenho correspondentes às restantes soluções alternativas em estudo. Este novo método de apoio à tomada de decisões baseia-se na adaptação à reabilitação urbana da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC), previamente desenvolvida pelos autores (Mateus et al., 2004), a qual tem demonstrado ser um instrumento muito útil e versátil na seleção de soluções construtivas sustentáveis, de elevado desempenho e de baixo custo quando considerado o ciclo de vida.

Na Figura 1 encontram-se esquematicamente representadas as diversas fases de aplicação da MARS-ORU.

A primeira fase da aplicação da metodologia MARS-ORU passa pela seleção dos indicadores a analisar. Tal como previamente discutido, esta seleção deve englobar aspetos ambientais, funcionais e sócio-culturais e económicos. Após esta seleção, o desempenho de cada solução, ao nível de cada indicador, pode ser determinado. De seguida é necessário proceder à normalização dos indicadores.

Efetuada a normalização é possível passar à representação gráfica do desempenho das soluções alternativas em estudo. Isto é efetuado através de um gráfico radial que permite visualizar o desempenho de cada solução ao nível de cada indicador e, assim, comparar as soluções entre si. Por fim é necessário

proceder à agregação dos indicadores para obter o nível global de sustentabilidade de cada solução. Nas secções seguintes, cada uma das fases de aplicação da metodologia MARS-ORU será devidamente explicada e aprofundada.



Figura 1. Representação esquemática das fases de aplicação da MARS-ORU.

### Seleção de Indicadores e Quantificação do seu Desempenho

O número de indicadores avaliados através da aplicação da metodologia MARS-ORU pode ser ajustado em função dos objetivos da avaliação, das características próprias das soluções a serem estudadas, das exigências ambientais, sócio-culturais, funcionais e económicas que se pretendam satisfeitas, das características particulares do local e dos dados disponíveis. De facto, esta possibilidade de adaptação do número e tipo de indicadores a avaliar é uma das grandes vantagens da MARS-ORU, uma vez que permite que a avaliação vá ao encontro dos interesses específicos de cada projeto. Na Tabela 1 são apresentados alguns exemplos de indicadores considerados nas diversas metodologias existentes que podem ser avaliados através da MARS-ORU.

### Normalização

Como mostrado na Tabela 1, na avaliação do nível de sustentabilidade de uma solução de reabilitação urbana podem ser analisados diferentes indicadores cujo desempenho é obtido em unidades diferentes. Por outro lado, o desempenho em alguns dos indicadores é tanto melhor quanto maior for o valor determinado na sua quantificação, enquanto que noutros, acontece o contrário. Por este motivo, a simples quantificação do nível de desempenho de cada indicador não permite, por si só, comparar de uma forma global diferentes soluções. É então necessário encontrar uma forma de evitar os efeitos de escala na agregação dos indicadores e resolver o problema de alguns serem do tipo “maior é melhor” e outros do tipo “maior é pior”. Na metodologia MARS este problema é resolvido através da normalização, que é um processo através do qual é possível determinar um valor para o nível de desempenho de cada indicador numa escala adimensional compreendida entre 0 (pior solução) e 1 (melhor solução) (Mateus et al., 2011).

No processo de normalização é utilizada a equação (1), conhecida como equação de Díaz-Balteiro (Díaz-Balteiro et al., 2004):

$$\bar{I}_i = \frac{I_i - I_{*i}}{I_i^* - I_{*i}} \quad (1)$$

Em que:

$I_i$  – Valor do indicador  $i$ ;

$I_{*i}$  – Valor do desempenho da pior solução para o indicador  $i$ ;

$I_i^*$  – Valor do desempenho da melhor solução para o indicador  $i$ .

**Tabela 1. Exemplos de alguns dos indicadores que podem ser analisados através da MARS-ORU**

<b>Indicadores SBTool PT PU (Ecochoice &amp; LFTC-UM, 2013)</b>	<b>Indicadores BREEAM Communities (BREEAM, 2016)</b>	<b>Indicadores ISO 37120 (ISO 37120, 2014)</b>
Planeamento Solar Passivo	Prioridades e Necessidades Demográficas	Concentração de material particulado fino (PM 10 e PM 2.5)
Potencial de Ventilação	Riscos de Inundação	Emissão de gases de efeito de estufa, medida em toneladas per capita
Rede Urbana	Estratégia Energética	Uso de energia elétrica residencial total per capita (kWh/ano)
Aptidões Naturais do Solo	Estratégia de Água	Uso total de energia elétrica per capita (kWh/ano)
Densidade e Flexibilidade de Usos	Estratégia Ecológica	Consumo doméstico total de água per capita (litros por dia)
Reabilitação do Edificado	Uso do Solo	Consumo total de água per capita (litros por dia)
Rede de Infraestruturas Técnicas	Serviços, Instalações e Comodidades	Percentagem de perdas de água (água não faturada)
Energias Renováveis	Adaptação às Alterações de Climáticas	Percentagem da população urbana servida por sistemas de drenagem de esgoto
Conforto Térmico Exterior	Valorização Ecológica	Percentagem do esgoto da cidade, que não recebeu qualquer tratamento
Poluição Sonora	Trajetos Seguros e Apelativos	Percentagem da população urbana com recolha regular de resíduos sólidos
Proximidade a Serviços	Acesso ao Transporte Público	Percentagem de resíduos sólidos urbanos que são reciclados
Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos	...	...
...	...	...

### Representação do Perfil Sustentável

A representação gráfica do perfil sustentável de cada solução permite compreender facilmente as diferenças de desempenho de cada uma das soluções analisadas (Mateus et al. 2006). Na metodologia MARS, esta representação é efetuada através de um gráfico radial por o mesmo facilitar a compreensão do desempenho de cada solução ao nível de cada indicador. Nesse gráfico, o número de vértices é igual ao número de indicadores em análise.

Na Figura 2 são apresentados dois exemplos de perfil sustentável, em que a vermelho é apresentado o perfil sustentável da solução de referência e a preto o perfil de umas das alternativas em estudo. Na figura da esquerda é perceptível que a solução em estudo é melhor do que a solução de referência e na figura da direita, a solução em estudo é pior do que a solução de referência. É ainda possível visualizar facilmente em que indicadores as soluções têm desempenhos semelhantes e em que indicadores o seu desempenho é diferente.

### Sistema de Ponderação e Agregação

Após obtenção do desempenho de cada solução para cada um dos aspetos/indicadores em análise, é necessário passar à agregação destes valores para se poder obter o nível global do desempenho de cada solução em estudo. A agregação pode-se realizar a nível de cada dimensão (ambiental, funcional, sócio-cultural e económica) ou, caso se pretenda, pode-se realizar ao nível de todos os indicadores, para determinar o nível da sustentabilidade global. Em qualquer dos casos, a equação genérica (2) é utilizada nos cálculos.

$$NS_i = \sum_{j=1}^n P_j \times \bar{I}_j \quad (2)$$

Em que:

$NS_i$  – é o nível de sustentabilidade do cenário de reabilitação  $i$ ;

$n$  – é o número de indicadores em estudo;

$P_j$  – é o peso atribuído ao indicador  $j$ ;

$\bar{I}_j$  – é o valor normalizado do indicador  $j$ .

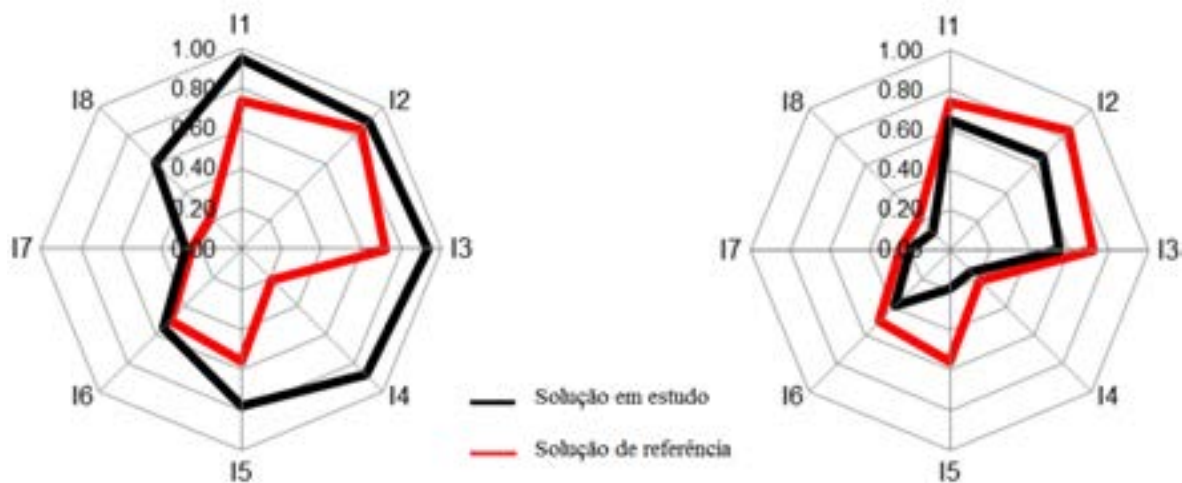


Figura 2. Exemplos de representação do perfil sustentável.

Para aplicar a expressão (2) é necessário estabelecer um sistema de ponderação que defina a importância relativa de cada indicador. A definição do sistema de ponderação é uma das principais dificuldades na aplicação desta metodologia e de qualquer metodologia de avaliação da sustentabilidade.

No caso presente, para se obter o sistema de ponderação, sugere-se a adoção da metodologia desenvolvida pela associação iiSBE – International Initiative for Sustainable Built Environment, responsável pelo desenvolvimento da metodologia internacional SBTool (Larsson, 2016). Esse sistema de ponderação pode ser descrito como um método quasi-objetivo e foi concebido para encontrar um equilíbrio entre o rigor científico e a usabilidade. O sistema de ponderação segue os princípios gerais ilustrados na Tabela 2, separando as cargas e os impactes. Entende-se que as cargas são entradas ou saídas do projeto e os impactes, os efeitos nos sistemas naturais ou humanos. Nessa metodologia, o peso de cada indicador é obtido através da classificação do seu impacto ao nível de aspectos, aos quais é atribuída a respectiva pontuação de acordo com a Tabela 2: A - extensão dos efeitos potenciais; B - duração dos efeitos potenciais; C - intensidade dos efeitos potenciais; e D - sistema primário diretamente afetado.

A importância (peso) de cada indicador resulta da multiplicação dos pontos obtidos em cada um dos aspectos acima referidos ( $A \times B \times C \times D$ ), podendo ser ajustada, para cima ou para baixo, em função da especificidade local até ao limite máximo de 10%. Logo, o peso de cada indicador pode ser calculado através da expressão (3):

$$P_i = \frac{A_i \times B_i \times C_i \times D_i}{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i \times C_i \times D_i} \times EL_i \quad (3)$$

Em que:

$P_i$  – é o peso calculado de cada indicador  $i$ ;

$n$  – é o número de indicadores em estudo;

$A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  e  $D_i$  – são fatores de ponderação da importância de cada indicador relativamente à extensão, à duração, à intensidade dos potenciais efeitos e ao sistema primário diretamente afetado, de acordo com a Tabela 2;

$EL_i$  – é o ajustamento relativamente aos eventuais efeitos locais, de acordo com a Tabela 2.



**Tabela 2. Fatores de ponderação da importância relativa dos indicadores (Larsson, 2016)**

Valores pré-definidos				Efeito Local
A	B	C	D	Ajustável
Extensão dos potenciais efeitos (1 a 5 pontos)	Duração dos potenciais efeitos (1 a 5 pontos)	Intensidade dos potenciais efeitos (1 a 3 pontos)	Sistema primário diretamente afetado (1 a 5 pontos)	
Edifício – 1 pt	1 a 3 anos – 1 pt	Menor – 1 pt	Funcionalidade e serviços – 1 pt	Muito pequeno (-10%)
Local – 2 pt	3 a 10 anos – 2 pt		Custos e economia – 1 pt	Pequeno (-5%)
Bairro – 3 pt	10 a 30 anos – 3 pt	Moderado – 2 pt	Bem-estar, segurança e produtividade – 2 pt	Médio (0%)
Regional – 4 pt	30 a 75 anos – 4 pt		Questões sociais e culturais – 2 pt	Grande (+5%)
Global – 5 pt	>75 anos – 5 pt	Maior – 3 pt	Recursos da terra – 3 pt	Muito grande (+10%)
			Recursos materiais não renováveis – 3 pt	
			Recursos hídricos não renováveis – 3 pt	
			Ecosistema(s) – 3 pt	
			Recursos energéticos não renováveis – 4 pt	
			Atmosfera local e regional – 4 pt	
			Clima global – 5 pt	

### EXEMPLO DE APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA MARS-ORU

Nesta secção é exemplificada uma aplicação prática da metodologia MARS-ORU a uma situação hipotética de reabilitação urbana de um arruamento (Rua X), para a qual se pretende comparar a sustentabilidade de quatro cenários (cenário existente mais três alternativas). A solução atualmente existente e as três soluções alternativas de reabilitação urbana do arruamento encontram-se esquematicamente apresentadas e resumidamente descritas na Figura 3.



**Solução 1** - rua composta por uma faixa de rodagem com três vias de circulação automóvel com apenas um sentido e dois passeios de circulação pedonal separados da faixa de rodagem por duas linhas de árvores. Esta é a solução atualmente existente e, por isso, considerada como sendo a solução de referência.



**Solução 2** - rua composta por uma faixa de rodagem com duas vias de circulação com apenas um sentido, uma destinada a automóveis e outra a transportes públicos, e uma ciclovia com duas vias de circulação com dois sentidos. Existem ainda dois passeios de circulação pedonal separados da faixa de rodagem e da ciclovia por duas linhas de árvores.



**Solução 3** - rua composta por uma faixa de rodagem com duas vias de circulação automóvel com apenas um sentido e uma ciclovia com duas vias de circulação com dois sentidos. Existem ainda dois passeios de circulação pedonal separados da faixa de rodagem e da ciclovia por duas linhas de árvores.



**Solução 4** - rua composta por uma faixa de rodagem com duas vias de circulação automóvel e uma de transportes públicos, com apenas um sentido. Existem ainda dois passeios compostos por uma via de circulação pedonal e uma ciclovia, cuja separação entre ambos é feita por uma linha de árvores.

*Figura 3. Soluções de reabilitação urbana de um arruamento.*

### Seleção dos indicadores e quantificação do seu desempenho

A primeira de fase de aplicação da metodologia MARS-ORU consiste na seleção dos indicadores de análise. Tendo em consideração os objetivos do projeto hipotético bem como o conjunto dos eventuais dados disponíveis selecionaram-se os indicadores apresentados na Tabela 3.

Tendo em conta estes aspetos, para cada um dos indicadores em estudo, foram obtidos os valores de desempenho apresentados na Tabela 4.

**Tabela 3. Indicadores considerados na análise através da MARS-ORU**

Indicador	Justificação e considerações
I <sub>1</sub>	Número total de veículos particulares motorizados I <sub>1</sub> quantifica o número total de veículos particulares (ligeiros, motociclos e pesados) que por dia passam na Rua X. Este indicador é do tipo “quanto menor, melhor”
I <sub>2</sub>	Emissões de CO <sub>2</sub> I <sub>2</sub> quantifica as emissões de CO <sub>2</sub> por dia que se verificam na Rua X, dependendo do número total de veículos motorizados que circulam na mesma. Este indicador é do tipo “quanto menor, melhor”
I <sub>3</sub>	Acessibilidade a diferentes tipos de transporte I <sub>3</sub> quantifica o número dos diferentes tipos de transportes a motor, ou não, que podem ser utilizados na Rua X, tendo em conta as vias de circulação disponibilizadas. Este indicador é do tipo “quanto maior, melhor”
I <sub>4</sub>	Acessibilidades a transportes públicos I <sub>4</sub> quantifica o índice de acessibilidades a transportes públicos, sendo calculado de acordo com o método cálculo do indicador equivalente existente no SBTTool PT PU (Ecochoice & LFTC-UMinho, 2013). Este indicador é do tipo “quanto maior, melhor”
I <sub>5</sub>	Custo de investimento inicial I <sub>5</sub> quantifica o custo de investimento inicial de cada solução apresentada, sendo que para tal foram utilizados os valores de referência de mercado consultados na plataforma CYPE (CYPE, 2017). Este indicador é do tipo “quanto menor, melhor”
I <sub>6</sub>	Número total de pessoas transportadas I <sub>6</sub> quantifica o número total de pessoas que são transportadas por dia na Rua X, quer seja em veículos motorizados ou não. Este indicador é do tipo “quanto maior, melhor”

**Tabela 4. Valores obtidos na quantificação dos indicadores para cada uma das soluções**

Solução	I <sub>1</sub> (veículos/dia)	I <sub>2</sub> (t/km <sup>2</sup> .dia)	I <sub>3</sub> (nº dif. trans.)	I <sub>4</sub> (ac. trans.)	I <sub>5</sub> (Euro)	I <sub>6</sub> (nº pessoas)
1	16450	7.70 x 10 <sup>-05</sup>	2	2.51	0	36 028
2	5484	2.60 x 10 <sup>-05</sup>	3	5.00	133 298	24 254
3	10967	5.16 x 10 <sup>-05</sup>	3	2.51	103 322	32 461
4	13709	6.42 x 10 <sup>-05</sup>	3	5.00	155 840	36 566

#### Normalização do desempenho dos indicadores calculados

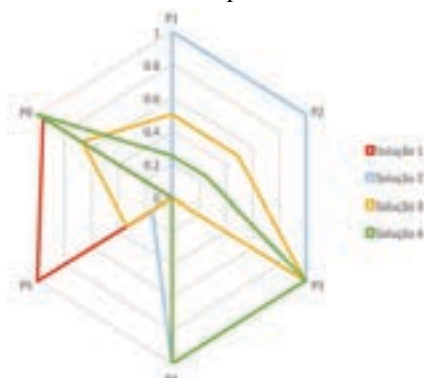
Na Tabela 5 são apresentados os valores de desempenho normalizado para todas as soluções e indicadores.

**Tabela 5. Valores normalizados do desempenho dos indicadores em cada uma das soluções**

Solução	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>
1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.96
2	1.00	1.00	1.00	1.00	0.15	0.00
3	0.50	0.50	1.00	0.00	0.34	0.67
4	0.25	0.25	1.00	1.00	0.00	1.00

#### Representação do Perfil Sustentável das Soluções Estudadas

Tendo por base os valores normalizados apresentados na Tabela 5, apresenta-se na Figura 4 o perfil sustentável de cada cenário estudado. Assim, é perceptível que a Solução 2 é a que apresenta melhor desempenho relativamente aos indicadores I<sub>1</sub> e I<sub>2</sub>, o que resulta da diminuição do número de veículos a circular na artéria. No que diz respeito ao indicador I<sub>6</sub>, a Solução 4 apresenta-se como a melhor alternativa apesar de acarretar custos de investimento superiores a todas as outras soluções.

*Figura 4. Perfil sustentável da solução existente e das soluções alternativas.*



## Agregação e Determinação do Nível de Sustentabilidade das Diversas Soluções

Tendo por base a metodologia descrita anteriormente para o desenvolvimento do sistema de pesos, apresentam-se na Tabela 6 os pesos a considerar na agregação dos indicadores utilizados neste exemplo de aplicação prática.

**Tabela 6. Peso dos indicadores considerados na análise**

<b>Indicador</b>	<b>Peso (%)</b>
Número total de veículos particulares (I <sub>1</sub> )	33,5
Emissões de CO <sub>2</sub> (I <sub>2</sub> )	10,6
Acessibilidades a diferentes tipos de transporte (I <sub>3</sub> )	26,3
Acessibilidades a transportes públicos (I <sub>4</sub> )	8,4
Custo de investimento inicial (I <sub>5</sub> )	3,5
Número total de pessoas transportadas (I <sub>6</sub> )	17,6

A equação (2) é utilizada na agregação dos indicadores apresentando-se na Tabela 7 o resultado da quantificação do nível de sustentabilidade de cada solução.

**Tabela 7. Nível de desempenho sustentável de cada solução**

<b>Solução</b>	<b>Nível de desempenho global de sustentabilidade</b>
1	0,20
2	0,79
3	0,61
4	0,63

Em termos globais, conclui-se que a Solução 2 é aquela que apresenta melhor desempenho.

## CONCLUSÕES

Numa época em que a reabilitação urbana é a atividade com maior potencial para o desenvolvimento do setor da Arquitetura, Engenharia e Construção, é essencial compreender, identificar e avaliar, de uma forma cientificamente correta, o nível de sustentabilidade dos projetos e das operações de reabilitação urbana. A Metodologia para a Avaliação Relativa da Sustentabilidade das Operações de Reabilitação Urbana (MARS-ORU) permite compreender, identificar e avaliar o nível de sustentabilidade de zonas urbanas apresentando vantagens que permitem, nomeadamente: i) integrar diferentes aspetos de sustentabilidade em função das necessidades e objetivos do projeto; ii) comparar diferentes aspetos apresentados em diferentes unidades funcionais; iii) selecionar e definir indicadores de acordo com as necessidades e objetivos do projeto; iv) agregar o nível de desempenho de diferentes soluções de reabilitação urbana num valor único, através do sistema de ponderação quasi-objectivo e de base científica, desenvolvido pela iiSBE, fundamentado na extensão, duração e intensidade dos efeitos potenciais e do sistema primário diretamente afectado; e v) obter um resultado final, de fácil interpretação e comparação, que exprime o nível de desempenho global de sustentabilidade de cada solução em análise.

A versatilidade, objectividade e fundamentação científica da metodologia MARS-ORU pode constituir um poderoso instrumento de apoio à tomada de decisões relativamente à gestão e planeamento das operações de reabilitação urbana que tenham como objetivo a melhoria da sustentabilidade urbana e da qualidade de vida da população.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CYTED - *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo* - e aos colegas Maria de Fátima Castro, Stefano Gomes e José Pedro Carvalho que contribuíram com o seu trabalho e com o fornecimento de dados para o desenvolvimento deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- Bragança, L.; Guimarães, E.; Barbosa, J. A.; Araújo, C. (2016a). Metodologia Portuguesa de Avaliação de Sustentabilidade de áreas urbanas SBTool PT-PU. In Comunidades Urbanas Energeticamente Eficientes, editado por Cristina Engel de Alvarez e Luis Bragança, 1ª Edição. Vol. 1, p. 22-30. Vitória: EDUFES
- Bragança, L.; Guimarães, E.; Barbosa, J. A.; Araújo, C.; Alvarez, C. E. De; Ulian, G. (2016b). Avaliação do nível de sustentabilidade em comunidades urbanas energeticamente eficientes. In Comunidades Urbanas Energeticamente Eficientes, editado por Cristina Engel de Alvarez e Luis Bragança, 1ª Edição. Vol. 1, p. 12-21. Vitória: EDUFES
- Bragança, L. (2017a). SBTool Urban - Instrumento para a Promoção da Sustentabilidade Urbana, SINGEURB 2017 - Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana, São Carlos / SP, Brasil, 25-27 de Outubro de 2017
- Bragança, L.; Alvarez, C. E. de; Ulian, G.; Hermida, M. A. (2017b). Bases Conceituais para a Avaliação da Sustentabilidade em Comunidades Urbanas Visando a Eficiência Energética, SINGEURB 2017 - Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana, São Carlos / SP, Brasil, 25-27 de Outubro de 2017
- BREEAM (2016). BREEAM - Building Research and Consultancy's Environmental Assessment Method. Disponível em: <http://www.breeam.org>
- CYPE (2017). Gerador de Preços. Portugal. Disponível em: <http://www.geradordeprecos.info>
- Díaz-Balteiro, L. and C. Romero (2004). In search of a natural systems sustainability index. *Ecological Economics* 49(3): 401-405
- Ecochoice & LFTC-UMinho (2013). Ecochoice & Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho, SBTool PT PU – Metodologia para Planeamento Urbano – Manual de Avaliação. Relatório Final do Projeto SBTool PT STP – Ferramenta para a avaliação e certificação da sustentabilidade da construção. 2013
- IDB (2014). Inter-American Development Bank Methodological Guide – Emerging and Sustainable Cities Initiative, Second edition, July 2014. Disponível em: <http://www.iadb.org/en/topics/emerging-and-sustainable-cities/implementing-the-emerging-and-sustainable-cities-program-approach,7641.html>
- ISO 37120 (2014). International Organization for Standardization. Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life. Switzerland, 2014. 112 p.
- ISO 37101-1 (2016). International Organization for Standardization. Sustainable development in communities – Management system for sustainable development – Requirements with guidance for use. Switzerland, 2016. 42 p.
- Larsson, N. (2016). SBTool 2016 Description. International Initiative for a Sustainable Built Environment. Disponível em: <http://www.iisbe.org/system/files/private/SBTool%202016%20description%2021Jul16.pdf>
- Lutzkendorf, T.; Balouktsi, M. (2016). Assessing a Sustainable Urban Development: Typology of Indicators and Sources of Information. *Procedia Environmental Sciences*, v 38, 2017, p. 546-553
- Mateus R. e Bragança L. (2004). “Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Desenvolvimento de uma Metodologia para a Avaliação da Sustentabilidade de Soluções Construtivas”. I Congresso Sobre Construção Sustentável, Exponor, 28 e 29, Outubro, 2004.
- Mateus, R. e Bragança, L. (2006). *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Edições Ecopy, 2006. ISBN 978-989-95194-1-1. p. 294
- Mateus, R. e Bragança, L. (2009). *Guia de Avaliação SBTool<sup>PT</sup>-H*. Edições iiSBE Portugal. Guimarães.Portugal. ISBN: 978-989-96543-0-3
- Mateus, R. and L. Bragança (2011). Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTool<sup>PT</sup>-H. *Building and Environment* 46(10): 1962-1971
- Newton, Peter W. (2014). City transitions - Infrastructure innovation, green economy and the eco-city. In *Resilient Sustainable Cities A Future*. Eds. Pearson, L; Newton, P; Roberts, P. New York: Rutledge, pp 91-104, 2014
- Rochecoste, G. and Pearson, L.J. (2014). Delivering resilient, sustainable cities is all about people and place. In *Resilient Sustainable Cities A Future*. Eds. Pearson, L; Newton, P; Roberts, P. New York: Rutledge, pp 44-51, 2014
- USGBC (2014). LEED Reference Guide for Neighborhood Development. US Green Building Council. Disponível em: <https://www.usgbc.org/resources/leed-reference-guide-neighborhood-development-0>