

# Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento

*Analytic hierarchy process to choose between natural aggregate and crushed rock sand for producing coating mortar*

**Alécio Júnior Mattana**  
**Marcelo Henrique Farias de Medeiros**  
**Narciso Gonçalves da Silva**  
**Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa**

## Resumo

Muitas vezes as tomadas de decisão na indústria da construção são complexas, pois envolvem muitas variáveis, sendo trabalhoso agrupá-las e realizar uma avaliação global do problema. O método de análise hierárquica (AHP) é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão em problemas de engenharia, nos quais diversos fatores devem ser levados em conta na escolha de métodos, produtos ou materiais. O objetivo principal deste artigo é mostrar a forma de aplicação do método de análise hierárquica para sistematizar tomadas de decisões na indústria de argamassas industrializadas. É apresentado um roteiro para verificar o traço de argamassa que apresenta melhor desempenho, considerando determinados resultados de ensaios e um conjunto de critérios previamente estabelecidos. A aplicação da AHP para esse problema resulta em um índice global que caracteriza o desempenho dos materiais com relação ao conjunto de critérios utilizado. O resultado apontou que a técnica de análise hierárquica pode ser eficaz para apoiar a tomada de decisões na escolha de argamassas industrializadas. Na análise hierárquica realizada neste estudo, concluiu-se que, para os materiais envolvidos neste trabalho, a substituição da areia natural por areia de britagem é vantajosa em 78% dos casos.

**Palavras-chave:** Argamassa. Areia natural. Areia britada. Análise hierárquica.

## Abstract

Often the decisions in the construction industry are complex because there are many variables involved, being time consuming to group them, and produce an overall assessment of the problem. In this context, the analytic hierarchy process (AHP) is a tool that supports decision making in engineering problems, in which many factors need to be considered in the choice of methods, products or materials. The aim of this research work is to show how to use the analytic hierarchy process for systematic decision-making in the industrialized mortar industry. A procedure for choosing the mortar mix that has the best performance is proposed, considering some test results as well as a set of previously established criteria. The application of AHP for this problem results in an overall index that assesses the performance of the material in relation to the set of criteria. The results indicated that this technique is effective for supporting decision-making in the choice of industrialized mortar. In the AHP carried out in this investigation, and for the materials involved in this work, the conclusion was made that the replacement of natural sand by crushing sand is advantageous in 78% of the cases.

**Keywords:** Mortar. Natural sand. Crushed sand. Analytic hierarchy process.

**Alécio Júnior Mattana**  
Departamento de Construção Civil  
Universidade Federal do Paraná  
Avenida Coronel Francisco H. dos  
Santos, s/n, Centro Politécnico,  
Jardim das Americas  
Curitiba - PR - Brasil  
CEP 81531-990  
Tel.: (41) 3361-3438  
E-mail: alehcio@gmail.com

**Marcelo Henrique Farias de  
Medeiros**  
Departamento de Construção Civil  
Universidade Federal do Paraná  
Tel.: (41) 3361-3438  
E-mail: medeiros.ufpr@gmail.com

**Narciso Gonçalves da Silva**  
Departamento Acadêmico de  
Matemática  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
Avenida Sete de Setembro, 3165,  
Centro  
Curitiba - PR - Brasil  
CEP 82230-901  
Tel.: (41) 3310-4649  
E-mail: ngsilva@utfpr.edu.br

**Marianne do Rocio de Mello  
Maron da Costa**  
Departamento de Construção Civil  
Universidade Federal do Paraná  
Tel.: (16) 3361-3010  
E-mail: mariennecosta@uol.com.br

Recebido em 14/03/12  
Aceito em 04/12/12

## Introdução

Os agregados miúdos naturais são materiais utilizados tradicionalmente na construção civil para a produção de argamassas e concretos. Porém, as restrições ambientais dos órgãos responsáveis pela fiscalização com relação à extração de agregado miúdo realizada nas várzeas e leitos de rios estão resultando na migração dos mineradores para locais cada vez mais distantes do mercado consumidor, o que onera o preço final do produto (ALMEIDA; SANTOS, 2008). Segundo Buest Neto (2006), a extração de agregados naturais gera impactos decorrentes da exploração das jazidas, muitas vezes desordenada, e causam graves problemas ambientais, pois agridem as calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens.

De acordo com Menossi *et al.* (2010), a quantidade de areia consumida anualmente na construção civil brasileira é de 320 milhões de m<sup>3</sup>. Quase toda essa areia é retirada nas baixadas e leitos de rios. O resultado desse grande consumo é que esse agregado, em volta das grandes cidades, está ficando escasso. Em São Paulo, por exemplo, a areia natural, em sua grande maioria, é transportada por distâncias superiores a 100 km. Desse modo, tem-se um aumento do custo do material, pois, além da maior distância do local de extração, pode-se mencionar ainda o incremento dos custos de transporte (com mais gastos com pedágio, por exemplo) (JOHN, 2008), emissão de dióxido de carbono e consumo de combustíveis fósseis adicionais.

Diante das restrições legais e ambientais impostas à extração de agregados miúdos naturais, o meio técnico tem procurado alternativas para sua substituição. Um caminho nesse sentido é o emprego de agregado miúdo resultante da britagem de rochas, que possui diferentes características em relação aos agregados miúdos naturais, entre as quais se destacam a presença de grande concentração de material pulverulento (material passante na peneira #200, 0,075 mm) e maior irregularidade do formato das partículas (BOUQUETY *et al.*, 2007; WESTERHOLM *et al.*, 2008).

Escolher uma formulação de argamassa de revestimento que seja mais eficiente para um material proveniente de britagem de rochas em substituição do agregado natural não é fácil devido ao grande número de parâmetros envolvidos e quantificáveis através de inúmeros ensaios. Ao mesmo tempo em que esses ensaios ajudam a caracterizar o desempenho desse material, o grande número de respostas torna difícil a tomada

de decisão global a respeito de que formulação seria a mais adequada. Desse modo, este trabalho propõe o uso da técnica de análise hierárquica para gerar uma interpretação sistêmica desse conjunto de dados, resultando em uma análise global das formulações de argamassas com agregado miúdo natural e agregado miúdo proveniente da britagem de rocha. A contribuição deste trabalho é mostrar ao meio técnico industrial o potencial da ferramenta análise hierárquica na condução de escolhas na indústria de argamassas industrializadas.

## Técnica da análise hierárquica

A técnica de análise hierárquica (*Analytic Hierarchy Process – AHP*) permite a realização de uma análise multicritério que ajuda na tomada de decisões. De acordo com Costa (2002), o método desenvolvido por Saaty em 1971 consiste em uma ferramenta de apoio à decisão para problemas multicritério, visando à escolha entre alternativas em um processo que considera muitas variáveis. Esse método tem como objetivo estruturar a decisão de uma forma hierárquica.

Segundo Saaty (2009), os modelos precisam incluir e medir todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, sejam eles tangíveis ou intangíveis. Sendo assim, um dos objetivos da AHP é aumentar a objetividade e diminuir ao máximo a subjetividade da decisão (GREGORIO, 2010).

O AHP permite considerar a subjetividade de alguns parâmetros e utiliza formas de julgamento para quantificar esses itens. Desse modo, são construídos níveis hierárquicos. Os resultados são apresentados com o formato de prioridades, possibilitando a determinação do quanto uma alternativa é superior a outra, ou seu grau de importância quanto a outras variáveis.

A vantagem dessa ferramenta é permitir ao decisor atribuir pesos relativos para os critérios, com base em seus objetivos, conhecimentos e convicções, ao mesmo tempo em que realiza comparações par a par entre eles.

Essa avaliação influencia na qualidade e eficácia dos resultados obtidos, pois é de competência do avaliador a determinação da modelagem das alternativas, critérios e o julgamento dos valores atribuídos nas avaliações envolvidas. Desse modo, o avaliador necessita de certo conhecimento sobre as alternativas e critérios de escolha.

Na engenharia civil, o potencial da análise hierárquica tem sido pouco explorado, porém se

pode citar exemplos de estudos que usaram essa ferramenta como instrumento de decisão, tais como:

- (a) Marchezetti, Kaviski e Braga (2011), no tratamento de resíduos domiciliares;
- (b) Silva e Souza (2011), na seleção de caminhões coletores-compactadores de resíduos sólidos;
- (c) Lisboa e Waisman (2006) e Zayed, Amer e Pan (2008), nas decisões relacionadas à área de projeto de rodovias;
- (d) Pan (2008), na seleção de métodos de construção de pontes;
- (e) Lai, Wang e Wang (2008), no projeto de obras públicas; e
- (f) Pereira, Medeiros e Levy (2012), na escolha de percentuais de substituição de resíduos de construção como agregados na dosagem de concretos.

Para aprofundamento maior nas características e usos da AHP, sugere-se a leitura do artigo de Saaty (2009).

## Variáveis importantes na escolha de argamassas de revestimento

Para conhecer o desempenho de argamassas, vários ensaios são comumente executados. Alguns têm um caráter de importância maior que outros, mas todos são relevantes para avaliar o desempenho final do revestimento aplicado. A seguir está listada e explicada resumidamente a importância de cada ensaio considerado nesta pesquisa. É necessário deixar claro que o intuito deste trabalho não é defender a importância de uma propriedade sobre a outra, mesmo porque este é um tema bastante complexo e não consolidado no meio técnico-científico. Salienta-se também que uma propriedade pode influenciar outra, mas como todas são pontuadas, foi levada em consideração apenas sua característica dentro do desempenho das argamassas.

Dessa forma, o grau de importância foi adotado considerando-se a opinião dos quatro especialistas autores deste trabalho, e o objetivo principal deste artigo é mostrar a forma de aplicação e a versatilidade do método de análise hierárquica para sistematizar tomadas de decisões na indústria de produção de argamassas industrializadas.

Densidade de massa no estado fresco: esse ensaio mostra a relação entre massa e volume no estado fresco. Considera-se que, quanto menor o valor, mais favorável, pois se economiza material

utilizado. Contudo, valores muito baixos de densidade de massa no estado fresco podem caracterizar muito ar dentro da amostra, que pode prejudicar a resistência. Neste trabalho, esse parâmetro foi definido como uma característica com importância relativamente baixa para avaliação do desempenho. É importante ressaltar que essa forma de avaliação é considerada aplicável especificamente para as argamassas deste estudo, porque se encontram dentro dos valores de classificação fornecidos na NBR 13281 (ABNT, 2005a). Desse modo, as argamassas empregadas encontram-se com valores para esse parâmetro dentro dos valores comuns a argamassas de revestimento. Outros casos, principalmente os extremos para mais ou para menos, precisam ser discutidos de forma mais específica nas situações diversas. Consideraram-se como casos extremos os com valores muito acima de  $2.000 \text{ kg/m}^3$  e os muito abaixo de  $1.400 \text{ kg/m}^3$ , que são as faixas de argamassa de revestimento mais densa e menos densa da NBR 13281 (BANT, 2005a) respectivamente.

Teor de ar incorporado: obtido através do ensaio de densidade de massa, o teor de ar incorporado nas argamassas apresenta dois efeitos na direção contrária em termos de desempenho. Por um lado, quanto maior o teor de ar incorporado, melhor a trabalhabilidade, ou seja, maior a facilidade de aplicar a argamassa de revestimento. Por outro lado, quanto maior o teor de ar incorporado, menor a resistência mecânica, como demonstrado experimentalmente por Romano *et al.* (2009). Como a resistência mecânica elevada não é exatamente um fator primordial para o desempenho da argamassa de revestimento, de forma geral, considera-se que, quanto maior o valor do teor de ar incorporado, melhor, em termos de escolha, até o limite de 20% (ROMANO *et al.*, 2010), acima do qual a influência na resistência mecânica passa a ser um fator relevante, uma vez que a resistência pode vir a ser muito baixa. Essa característica foi definida como de importância relativamente baixa para avaliação do desempenho e, quanto maior o valor, melhor, até o limite de 20%, que não deve ser ultrapassado, senão a argamassa seria desconsiderada como opção na análise hierárquica.

Retenção de água: é a capacidade da argamassa, no estado fresco, de reter água quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal (CINCOTTO; SILVA; CASCUDO, 1995). Desse modo, quanto maior a retenção de água da argamassa, melhor a condição de aplicação. Essa propriedade é considerada importante porque permite que as

reações de endurecimento da argamassa tornem-se mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e, conseqüentemente, ganho de resistência.

Densidade de massa no estado endurecido: é a relação entre massa e volume no estado endurecido. Foi definido que, quanto menor o valor, melhor, pois resulta em um maior rendimento. Porém, vale ressaltar que essa afirmativa é considerada válida para este trabalho porque as argamassas avaliadas encontram-se dentro das faixas de densidade de massa no estado endurecido preconizadas pela NBR 13281 (ABNT, 2005a). Em casos extremos, superior (acima de  $1.800 \text{ kg/m}^3$ ) ou inferior (abaixo de  $1.200 \text{ kg/m}^3$ ), essa consideração pode passar a ser falsa. Além disso, essa propriedade foi considerada de importância relativamente baixa para avaliação do desempenho por acreditar-se que ela não seja uma das principais influenciadoras na eficiência do revestimento.

Índice de vazios: representa a quantidade de vazios presentes na argamassa endurecida. Pode-se seguir o mesmo raciocínio quanto ao rendimento; assim, quanto maior, melhor, mesmo sabendo que valores elevados de índice de vazios podem favorecer a percolação de água, mas como essa medida foi indiretamente avaliada por capilaridade, isso não foi considerado nesse critério. Foi definida como uma característica com baixa importância para avaliação do desempenho, desde que trate de argamassas com índice de vazios entre os valores apresentados pelas argamassas deste trabalho. Essa informação é importante porque não é correto acreditar que, quanto maior o índice de vazios, melhor, de forma indefinida, pois valores muito elevados de vazios prejudicam demasiadamente a resistência à abrasão do revestimento, por exemplo. Como os valores apresentados pelas argamassas deste estudo são semelhantes aos valores comuns das argamassas de revestimento, acredita-se que essa forma de raciocínio é válida para as argamassas que estão sendo avaliadas.

Módulo de elasticidade: segundo Sabbatini (1984), elasticidade é a capacidade que a argamassa no estado endurecido apresenta de deformar-se sem apresentar ruptura quando sujeita a solicitações diversas, e de retornar à dimensão inicial quando cessam tais solicitações. De acordo com Cincotto, Silva e Cascudo (1995), a elasticidade é uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento. A qualidade e a durabilidade de um revestimento de argamassa estão diretamente ligadas à capacidade de absorver deformações, que são representadas pelo módulo de elasticidade. O nível de elasticidade das argamassas foi medido pelo módulo de elasticidade dinâmico, que é

inversamente proporcional à capacidade de deformação. Assim, quanto menor esse valor, melhor para o desempenho da argamassa. Para garantir que a AHP montada neste trabalho não iria escolher argamassas com módulo de elasticidade acima dos usuais para argamassas de revestimento, resolveu-se consultar trabalhos de alguns autores, uma vez que a NBR 13281 (ABNT, 2005a) não especifica faixas de variação desse parâmetro. Desse modo, baseou-se nos valores de módulo de elasticidade dinâmico mais altos encontrados nos trabalhos de Bastos *et al.* (2010), que foi de 10 GPa, de Moura (2007), que apresenta 7,5 GPa, de Guacelli (2010), com 11 GPa, e Stolz (2011), com 7,8 GPa. Como o valor máximo entre as argamassas deste estudo é de 9,8 GPa, considera-se que as argamassas consideradas estão de acordo com as empregadas convencionalmente para revestimentos, pois não apresentam valores muito mais elevados em relação aos máximos encontrados por outros pesquisadores. Esse parâmetro foi definido como uma característica com muita importância para o desempenho da argamassa de revestimento, já que tem forte relação com a ocorrência de fissuras de retração e de origem térmica.

Resistência à compressão: é um ensaio tradicional para caracterização de materiais cimentícios, principalmente por sua simplicidade de execução. Dentro da faixa de resistência comum em argamassas de revestimento, quanto maior a resistência mecânica, melhor. De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005a), considera-se que as argamassas deste estudo encontram-se com valores de resistência à compressão dentro da faixa de argamassas de revestimento, o que valida a aplicação da consideração formulada. Esse parâmetro foi definido como uma característica importante para verificar o desempenho.

Resistência à tração na flexão: esforços de tração estão presentes nas argamassas de revestimentos de paredes e tetos como consequência de movimentações originadas por variações térmicas, por variações de umidade e por retração. Neste trabalho considerou-se que, quanto maior o valor de resistência à tração, melhor a argamassa para uso em revestimento. Porém, teve-se o cuidado de verificar que os valores obtidos para esse parâmetro nos materiais estudados encontram-se em uma faixa comum às argamassas de revestimento segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005a). Esse cuidado é importante porque a elevação exagerada da resistência à tração poder resultar no aumento do módulo de elasticidade e comprometer o desempenho da argamassa em aplicações reais. Desse modo, é importante que a verificação do enquadramento na faixa de valores

(convencionais para revestimento) de resistência à tração seja feito para evitar casos de escolha de argamassas inapropriadas para aplicação em revestimento, fazendo com que a técnica de AHP seja equivocada. Essa propriedade foi definida como uma característica muito importante para a determinação do desempenho.

Segundo Sabbatini (1984), a aderência da argamassa ao substrato pode ser definida como sendo a capacidade que a interface argamassa-substrato possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper. Manifestações patológicas como o descolamento em placas que ocorre junto à interface argamassa-substrato podem ser relacionadas com a inadequada condição do substrato para possibilitar a penetração da pasta de aglomerante em seus poros, como, por exemplo, base impregnada com pulverulência e com gordura (CARVALHO JUNIOR; BRANDÃO; FREITAS, 2005). Casos como esses não estão em questão nesse critério de escolha porque não são associados exclusivamente às propriedades das argamassas, e sim às condições específicas e inapropriadas de aplicação. Melhorar a aderência à base é um ponto-chave para um revestimento de argamassa, uma vez que essa propriedade é uma das principais controladoras do desempenho desse material em uso (SCARTEZINI *et al.*, 2002). Essa propriedade foi definida como extremamente importante para o desempenho, uma vez que se refere a esforços presentes em todos os casos em que as argamassas de revestimento são aplicadas, além de sua inegável importância para a eficiência do revestimento. Na montagem da análise hierárquica foi considerado que, quanto maior a resistência de aderência, melhor a situação. Porém, esses autores consideram essa afirmativa válida para as argamassas usadas neste trabalho com resistência de aderência variando entre 0,1 MPa e 0,3 MPa, ou seja, dentro da faixa comum às argamassas de revestimento. Para argamassas fora desse intervalo de valores, o caso deve ser mais bem investigado, pois outras propriedades, como o módulo de elasticidade, podem ser afetadas, de forma a comprometer o desempenho em uso.

Absorção por capilaridade: o ensaio de absorção de água por capilaridade consiste em determinar a absorção capilar em um corpo de prova ao longo do tempo, em função da variação de massa até sua estabilização. Assim, quanto mais interligados forem os poros capilares, dependendo da quantidade e do diâmetro, maior será a absorção apresentada. Trata-se de um ensaio que caracteriza indiretamente a durabilidade; quanto menor o valor, melhor. Foi definida como uma característica importante para o desempenho.

Nesse caso, também se teve o cuidado de verificar que o intervalo de variação dos resultados está dentro do estabelecido na NBR 13281 (ABNT, 2005a), ou seja, trata-se de valores comuns às argamassas de revestimentos, o que viabiliza o uso da avaliação proposta para os materiais deste trabalho.

Na exposição dos critérios a serem considerados nessa aplicação de AHP ficou evidente que a avaliação aplica-se para argamassas com propriedades dentro do campo das aplicadas para revestimento de parede, como as avaliadas neste trabalho. Isso é importante porque uma argamassa que não atenda aos valores estipulados em norma ou mesmo não normalizados, porém consagrados na prática pelo meio técnico, pode ter uma eficiência baixa, e a aplicação da AHP da forma aqui proposta pode falhar. No caso de argamassas fora desse espaço amostral, a avaliação de sua adequação ao uso precisa ser investigada a partir de ensaios de simulação de condições de serviço.

O motivo desta discussão é que existe uma interação entre as propriedades avaliadas, ou seja, pode-se dosar uma argamassa que tenha alta resistência à tração, de aderência e à compressão, porém esse material pode ter um módulo de elasticidade altíssimo e fora do convencional para argamassas de revestimento. No final da aplicação da AHP esse material pode ser bem conceituado, porém uma argamassa com essa característica provavelmente vai fissurar pelo fato de ser muito rígida. Desse modo, casos como estes não devem nem ser considerados como opções de escolha, ou seja, nem entrar na avaliação por AHP.

## Argamassas avaliadas

Os dados para a aplicação da técnica de análise hierárquica referem-se a uma parte do trabalho realizado por Silva (2006) em sua dissertação de mestrado, que foi compilada em um artigo realizado por Silva, Campiteli e Gleize (2007) intitulado “Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia de britagem de rocha calcária”.

A areia natural empregada no experimento de Silva (2006) é proveniente da bacia do Rio Iguaçu da cidade de Curitiba, PR, e a areia de britagem é de rocha calcária calcítica, proveniente de pedreira do município de Rio Branco do Sul, PR, produzida através de moinho de bolas.

Os aglomerantes usados no experimento foram o cimento Portland do tipo CII Z 32 e a cal hidratada do tipo CH-III.

No trabalho de Silva (2006) foram avaliadas nove formulações diferentes de argamassa com cimento, cal e areia. Foram executadas essas formulações

para areia natural e para areia de britagem de calcário, totalizando dezoito argamassas, nove com areia natural (nomenclatura N) e nove com areia de britagem (nomenclatura B). Todas as argamassas tinham índice de consistência de  $270 \pm 10$  mm, ensaio de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005b). As proporções empregadas são mostradas na Tabela 1, e a Figura 1 apresenta uma visão geral da rede de escolha montada para a AHP deste estudo.

## Apresentação dos resultados

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados dos ensaios realizados nas argamassas no estado fresco e no estado endurecido para o caso de emprego de areia de britagem e de areia natural

respectivamente. Esses dados foram retirados de Silva, Campiteli e Gleize (2007).

Escolher entre várias opções de argamassa, com base em vários parâmetros de avaliação, é uma tarefa difícil. Dessa maneira, a AHP foi empregada neste trabalho para buscar classificar cada ensaio com o peso atribuído, agrupar valores para cada resultado e definir uma nota final, que caracteriza o desempenho de cada material. Assim, a partir dos parâmetros e critérios de peso definidos, pode ser mais fácil identificar a potencialidade de cada traço e compará-los entre si de forma sistêmica, considerando todos os resultados de forma conjunta.

Tabela 1 - Caracterização das argamassas

	Nomenclatura das argamassas	Proporções de materiais secos (cimento : cal : areia)		água/cimento
		Volume	Massa	
Areia de britagem	T1B	1 : 1 : 4	1 : 0,58 : 5,32	1,56
	T2B	1 : 1 : 6	1 : 0,58 : 7,98	2,23
	T3B	1 : 1 : 8	1 : 0,58 : 10,64	2,63
	T4B	1 : 2 : 6	1 : 1,15 : 7,98	2,74
	T5B	1 : 2 : 9	1 : 1,15 : 11,97	3,42
	T6B	1 : 2 : 12	1 : 1,15 : 15,96	4,23
	T7B	1 : 3 : 8	1 : 1,73 : 10,64	3,78
	T8B	1 : 3 : 12	1 : 1,73 : 15,96	4,92
	T9B	1 : 3 : 16	1 : 1,73 : 19,94	6,02
Areia natural	T1N	1 : 1 : 4	1 : 0,58 : 4,99	1,58
	T2N	1 : 1 : 6	1 : 0,58 : 7,48	2,16
	T3N	1 : 1 : 8	1 : 0,58 : 9,97	2,74
	T4N	1 : 2 : 6	1 : 1,15 : 7,48	2,74
	T5N	1 : 2 : 9	1 : 1,15 : 11,22	3,38
	T6N	1 : 2 : 12	1 : 1,15 : 14,96	4,45
	T7N	1 : 3 : 8	1 : 1,73 : 9,97	3,88
	T8N	1 : 3 : 12	1 : 1,73 : 14,96	4,92
	T9N	1 : 3 : 16	1 : 1,73 : 19,94	6,12

Fonte: Silva (2006).

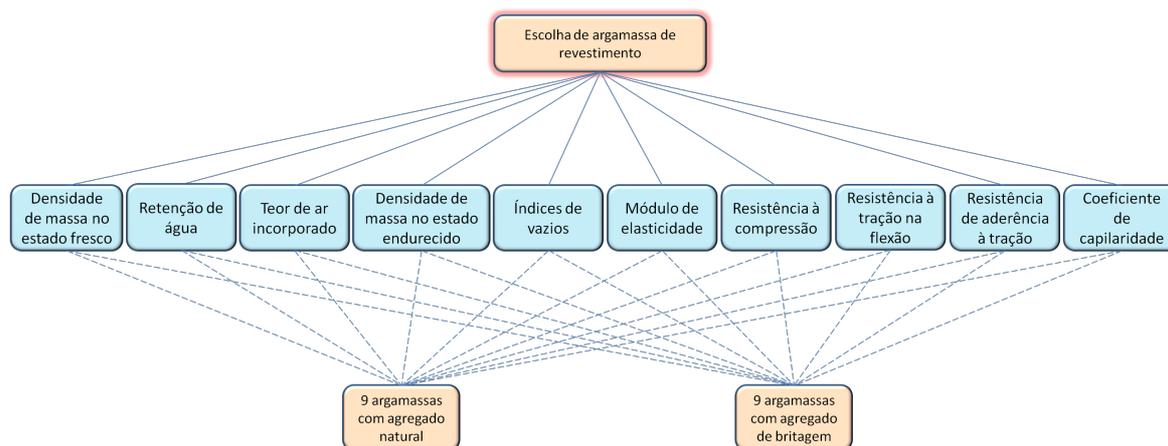


Figura 1 - Rede de critérios e opções de escolha da AHP deste trabalho

Tabela 2 - Resultados dos ensaios realizados nas argamassas com areia de britagem

AREIA DE BRITAGEM Ensaio (unidade) - Método	T1B	T2B	T3B	T4B	T5B	T6B	T7B	T8B	T9B
Densidade de massa no estado fresco (kg/m <sup>3</sup> ) - NBR 13278 (ABNT, 2005c)	2080	2066	2076	2000	2036	2026	1973	2001	2022
Retenção de água (%) - (CSTB 2669-4 (CENTRE..., 1993))	69,68	64,03	53,7	66,94	53,7	51,53	62,9	54,3	47,89
Teor de ar incorporado (%) - NBR 13278 (ABNT, 2005c)	0,21	0,33	1,44	0,42	0,71	2,01	0,08	0,5	0,66
Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> ) - NBR 13280 (ABNT, 2005d)	1831	1774	1812	1655	1721	1753	1624	1670	1657
Índices de vazios (%) - NBR 9778 (ABNT, 2005c)	30,69	33,48	32,39	36,89	35,19	34,87	36,73	36,29	34,33
Módulo de elasticidade (GPa) - (BS-1881 - Part 203 (BRITISH..., 1986))	9,81	4,23	3,39	2,41	1,78	1,46	1,66	1,28	1,08
Resistência à compressão (MPa) - NBR 13279 (ABNT, 2005e)	7,73	2,82	2,1	1,92	1,12	0,74	0,99	0,57	0,38
Resistência à tração na flexão (MPa) - (DINEN 1015 - Part 11 (DEUTSCHES..., 1999))	2,32	1,07	0,75	0,74	0,5	0,27	0,42	0,23	0,19
Resistência de aderência à tração (MPa) - NBR 13528 (ABNT, 1995c)	0,29	0,25	0,2	0,22	0,19	0,16	0,16	0,12	0,11
Coeficiente de capilaridade (kg/m <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup> ) - (CSTB 2669-4 (CENTRE..., 1993))	1,72	2,64	2,43	2,76	2,74	3,45	3,08	3,01	2,86

Tabela 3 - Resultados dos ensaios realizados nas argamassas com areia natural

AREIA DE BRITAGEM Ensaio (unidade) - Método	T1N	T2N	T3N	T4N	T5N	T6N	T7N	T8N	T9N
Densidade de massa no estado fresco ( $\text{kg/m}^3$ ) - NBR 13278 (ABNT, 2005c)	2001	1986	1957	1929	1928	1920	1889	1909	1920
Retenção de água (%) - (CSTB 2669-4 (CENTRE..., 1993))	61,80	46,22	40,15	58,71	53,63	49,13	64,38	54,02	50,58
Teor de ar incorporado (%) - NBR 13278 (ABNT, 2005c)	0,26	1,04	2,53	0,05	2,51	2,37	0,38	1,40	1,47
Densidade de massa aparente no estado endurecido ( $\text{kg/m}^3$ ) - NBR 13280 (ABNT, 2005d)	1711	1724	1718	1592	1639	1632	1538	1583	1618
Índices de vazios (%) - NBR 9778 (ABNT, 2005f)	32,05	32,38	33,19	36,95	35,74	34,03	39,33	37,47	30,44
Módulo de elasticidade (GPa) - (BS-1881 – Part 203 (BRITISH..., 1986))	8,05	4,11	3,09	2,29	1,49	0,98	1,31	0,77	0,65
Resistência à compressão (MPa) - NBR 13279 (ABNT, 2005e)	6,46	2,87	1,64	1,79	0,91	0,42	0,78	0,39	0,25
Resistência à tração na flexão (MPa) - (DINEN 1015 – Part 11 (DEUTSCHES..., 1999))	1,64	0,78	0,44	0,61	0,32	0,15	0,31	0,17	0,14
Resistência de aderência à tração (MPa) - NBR 13528 (ABNT, 1995)	0,28	0,27	0,18	0,20	0,18	0,12	0,13	0,09	0,10
Coefficiente de capilaridade ( $\text{kg/m}^2/\text{min}^{1/2}$ ) - (CSTB 2669-4 (CENTRE..., 1993))	1,65	2,45	2,83	2,93	2,64	3,74	3,15	3,73	1,47

Para elaborar a AHP foram utilizados os dez critérios a seguir:

- densidade de massa no estado fresco;
- retenção de água;
- teor de ar incorporado;
- densidade de massa no estado endurecido;
- índices de vazios;
- módulo de elasticidade;
- resistência à compressão;
- resistência à tração na flexão;
- resistência de aderência à tração; e
- coeficiente de capilaridade.

A partir da escolha desses critérios utilizou-se uma escala de importância indicada pela norma ASTM E 1765 (AMERICAN..., 2002) para estimativa de um peso relativo para cada critério (Tabela 4). Essa norma americana trata da aplicação de AHP para análise de decisões relacionadas a investimentos na área de construções e de sistemas construtivos.

Tal prática tem a finalidade de determinar a importância relativa de cada critério na escolha das argamassas. Os pesos relativos possuem escolhas

de cunho técnico e fatores com algum grau de subjetividade; portanto, devem ser elaborados para cada situação estudada. A Tabela 4 exemplifica a relação de um critério “A” em relação a outro “B”.

Com a escala determinada, foi realizado um pareamento de um ensaio em relação ao outro, verificando o grau de importância entre eles. Deve-se notar que a escala da Tabela 4 faz referência a “A” sendo mais importante do que “B”. Quando ocorre o contrário, ou seja, “A” é menos importante do que “B”, é só usar o valor invertido. Um exemplo disso, usando as considerações da Tabela 5, é que a densidade de massa foi considerada menos importante do que a retenção de água e, deste modo, sua nota foi 1/5 na Tabela 5.

Essas classificações foram determinadas com um enfoque técnico, com a observação da literatura e de maneira subjetiva a partir da experiência dos quatro autores deste trabalho, sendo passível de questionamentos. Porém, já foi mencionado que o intuito deste trabalho é mostrar o potencial da análise hierárquica como método de sistematização de escolhas da indústria de produção de argamassas industrializadas, colocando como contextualização a escolha entre argamassas com agregado natural ou com areia de britagem, ou seja, simulando a necessidade de mudança de

agregado miúdo em uma fábrica, de modo a fazer a melhor opção usando-se uma gama de critérios disponíveis. A opinião dos quatro autores para montagem dos critérios e pesos deste trabalho representa o gestor da indústria, que se fundamentaria em seus conhecimentos e convicções para chegar a uma decisão final.

Com a realização do referido pareamento, montou-se a matriz de decisão e foi executado o cálculo do peso relativo (Pr) de cada critério considerado. Para isso, considera-se a soma individual de cada critério, dividindo-o pela soma total dos critérios e multiplicando-se por cem. Ou seja, é dado um peso percentual para cada critério em relação à pontuação total. A Tabela 5 apresenta a matriz de decisão gerada.

Com isso, foram definidos os pesos de cada critério (resultados de ensaios). Nota-se que, com as considerações realizadas por estes autores, a resistência de aderência por tração direta foi o parâmetro com maior peso, pois se trata de um dos ensaios mais importantes para a caracterização de desempenho de argamassas de revestimento.

É importante enfatizar que alguns resultados representam melhor desempenho quanto menor seu valor. Isso acontece com os seguintes ensaios:

- densidade de massa no estado fresco;
- densidade de massa no estado endurecido;
- índices de vazios;
- módulo de elasticidade; e
- coeficiente de capilaridade.

Para executar o tratamento desses dados por análise hierárquica, é necessário utilizar o inverso desses valores, pois a matriz de decisão caracteriza o material com maior nota como sendo o melhor. Desse modo, as Tabelas 2 e 3 foram modificadas com essa prática de inversão nos parâmetros necessários, o que gerou as Tabelas 6 e 7. É importante ressaltar que essa prática foi adotada para fazer com que todos os parâmetros sigam a mesma tendência de ser diretamente proporcionais ao desempenho, fator primordial para a aplicação da AHP.

Tabela 4 - Escalas de importância para os critérios analisados conforme ASTM E 1765 (AMERICAN..., 2002)

Escalas de comparação	
A igual importância que B	1
A pouco mais importante que B	3
A mais importante que B	5
A muito mais importante que B	7
A extremamente mais importante que B	9

Tabela 5 - Matriz de decisão

		Est. fresco			Estado endurecido								
		1	1/5	1/3	1	1/3	1/5	1/3	1/7	1/9			1/5
Est. fresco	Densidade de massa	1	1/5	1/3	1	1/3	1/5	1/3	1/7	1/9	1/5	3,9	1,9%
	Retenção de água	5	1	3	5	3	1	3	1	1/5	1/3	22,5	11,2%
	Teor de ar incorporado	3	1/3	1	1	1	1/5	1/3	1/5	1/7	1/3	7,5	3,7%
Estado endurecido	Densidade de massa	1	1/5	1	1	1	1/5	1/3	1/5	1/7	1/5	5,3	2,6%
	Índices de vazios	3	1/3	1	1	1	1/5	1	1/5	1/7	1/3	8,2	4,1%
	Módulo de elasticidade	5	1	5	5	5	1	3	1	1/5	1	27,2	13,5%
	Resistência à compressão	3	1/3	3	3	1	1/3	1	1/5	1/7	1/5	12,2	6,1%
	Resistência à tração na flexão	7	1	5	5	5	1	5	1	1/3	1	31,3	15,6%
	Resistência de aderência à tração	9	5	7	7	7	5	7	3	1	5	56,0	27,8%
	Coeficiente de capilaridade	5	3	3	5	3	1	5	1	1/5	1	27,2	13,5%
											201,4	100,0%	

Após esse passo, os resultados de cada ensaio (linha) foram divididos pelo maior valor do ensaio (de cada linha). Essa prática chama-se normalização dos dados, e seu objetivo é obter os resultados na escala de 0 a 1 para todos os ensaios considerados. Desse modo, as Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados para argamassas com areia de britagem e com areia natural respectivamente, com a operação de normalização descrita.

Feita a normalização, o valor de cada célula foi multiplicado pelo peso de cada ensaio, que foi definido pela matriz de decisão (Tabela 5). Assim, fez-se o somatório de cada argamassa e obteve-se a nota de cada formulação. As Tabelas 10 e 11 mostram o índice de desempenho final de cada argamassa com areia de britagem e com areia natural respectivamente.

Tabela 6 - Resultados de cada ensaio de argamassas com areia de britagem (com inversão)

AREIA DE BRITAGEM Ensaio (unidade) - Método	T1B	T2B	T3B	T4B	T5B	T6B	T7B	T8B	T9B
Densidade de massa no estado fresco ( $\text{kg/m}^3$ ) - NBR 13278 (ABNT, 2005c)	0,00048	0,00048	0,00048	0,00050	0,00049	0,00049	0,00051	0,00050	0,00049
Retenção de água (%) - (CSTB 2669-4 (CENTRE..., 1993))	69,68	64,03	53,7	66,94	53,7	51,53	62,9	54,3	47,89
Teor de ar incorporado (%) - NBR 13278 (ABNT, 2005c)	0,21	0,33	1,44	0,42	0,71	2,01	0,08	0,5	0,66
Densidade de massa aparente no estado endurecido ( $\text{kg/m}^3$ ) - NBR 13280 (ABNT, 2005d)	0,00055	0,00056	0,00055	0,00060	0,00058	0,00057	0,00062	0,00060	0,00060
Índices de vazios (%) - NBR 9778 (ABNT, 2005f)	30,69	33,48	32,39	36,89	35,19	34,87	36,73	36,29	34,33
Módulo de elasticidade (GPa) - (BS-1881 - Part 203 (BRITISH..., 1986))	0,101937	0,236407	0,294985	0,414938	0,561798	0,684932	0,60241	0,78125	0,925926
Resistência à compressão (MPa) - NBR 13279 (ABNT, 2005e)	7,73	2,82	2,1	1,92	1,12	0,74	0,99	0,57	0,38
Resistência à tração na flexão (MPa) - (DINEN 1015 - Part 11 (DEUTSCHES..., 1999))	2,32	1,07	0,75	0,74	0,5	0,27	0,42	0,23	0,19
Resistência de aderência à tração (MPa) - NBR 13528 (ABNT, 1995)	0,29	0,25	0,2	0,22	0,19	0,16	0,16	0,12	0,11
Coefficiente de capilaridade ( $\text{kg/m}^2/\text{min}^{1/2}$ ) - (CSTB 2669-4 (CENTRE..., 1993))	0,58140	0,37879	0,41152	0,36232	0,36496	0,28986	0,32468	0,33223	0,34965

Tabela 7 - Resultados de cada ensaio de argamassas com areia natural (com inversão)

AREIA NATURAL Ensaio (unidade)- Método	T1N	T2N	T3N	T4N	T5N	T6N	T7N	T8N	T9N
Densidade de massa no estado fresco (kg/m <sup>3</sup> ) - NBR 13278:2005	0,0005	0,000504	0,000511	0,000518	0,000519	0,000521	0,000529	0,000524	0,000521
Retenção de água (%) – (CSTB 2669-4/1993)	61,8	46,22	40,15	58,71	53,63	49,13	64,38	54,02	50,58
Teor de ar incorporado (%) - NBR 13278:2005	0,26	1,04	2,53	0,05	2,51	2,37	0,38	1,4	1,47
Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> ) - NBR 13280:2005	0,000584	0,00058	0,000582	0,000628	0,00061	0,000613	0,00065	0,000632	0,000618
Índices de vazios (%) - NBR 9778:2005	32,05	32,38	33,19	36,95	35,74	34,03	39,33	37,47	30,44
Módulo de elasticidade (GPa) - (BS-1881 – Part 203/1986)	0,124224	0,243309	0,323625	0,436681	0,671141	1,020408	0,763359	1,298701	1,492537
Resistência à compressão (MPa) - NBR 13279:2005	6,46	2,87	1,64	1,79	0,91	0,42	0,78	0,39	0,25
Resistência à tração na flexão (MPa) - (DINEN 1015 – Part 11/1999)	1,64	0,78	0,44	0,61	0,32	0,15	0,31	0,17	0,14
Resistência de aderência à tração (MPa) - (NBR 13528:1995)	0,28	0,27	0,18	0,2	0,18	0,12	0,13	0,09	0,1
Coefficiente de capilaridade (kg/m <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup> ) - (CSTB 2669-4/1993)	0,606061	0,408163	0,353357	0,341297	0,378788	0,26738	0,31746	0,268097	0,680272

Tabela 8 - Resultados das argamassas com areia de britagem (escala de 0 a 1)

AREIA DE BRITAGEM Ensaio (unidade) - Método	T1B	T2B	T3B	T4B	T5B	T6B	T7B	T8B	T9B
Dens. de massa fresco (kg/m <sup>3</sup> )	0,94856	0,95499	0,95039	0,98650	0,96906	0,97384	1	0,98601	0,97577
Retenção de água (%)	1	0,91892	0,77067	0,96068	0,77067	0,73952	0,90270	0,77928	0,68728
Teor de ar incorporado (%)	0,10448	0,16418	0,71642	0,20896	0,35323	1	0,03980	0,24876	0,32836
Dens. de massa endurec. (kg/m <sup>3</sup> )	0,88695	0,91545	0,89625	0,98127	0,94364	0,92641	1	0,97246	0,98008
Índices de vazios (%)	0,83193	0,90756	0,87802	1	0,95392	0,94524	0,99566	0,98374	0,93060
Módulo de elasticidade (GPa)	0,11009	0,25532	0,31858	0,44813	0,60674	0,73973	0,65060	0,84375	1
Resistência à compressão (MPa)	1	0,36481	0,27167	0,24838	0,14489	0,09573	0,12807	0,07374	0,04916
Resistência à tração na flexão (MPa)	1	0,46121	0,32328	0,31897	0,21552	0,11638	0,18103	0,09914	0,08190
Resistência aderência - tração (MPa)	1	0,86207	0,68966	0,75862	0,65517	0,55172	0,55172	0,41379	0,37931
Coef. capilaridade (kg/m <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup> )	1	0,65152	0,70782	0,62319	0,62774	0,49855	0,55844	0,57143	0,60140

Tabela 9 - Resultados das argamassas com areia natural (escala de 0 a 1)

AREIA NATURAL Ensaio (unidade) - Método	T1N	T2N	T3N	T4N	T5N	T6N	T7N	T8N	T9N
Dens. de massa fresco (kg/m <sup>3</sup> )	0,944028	0,951158	0,965253	0,979264	0,979772	0,983854	1	0,98952	0,983854
Retenção de água (%)	0,959925	0,717925	0,623641	0,911929	0,833023	0,763125	1	0,83908	0,785648
Teor de ar incorporado (%)	0,102767	0,411067	1	0,019763	0,992095	0,936759	0,15020	0,55336	0,581028
Dens. de massa endurec. (kg/m <sup>3</sup> )	0,89889	0,892111	0,895227	0,96608	0,938377	0,942402	1	0,97157	0,950556
Índices de vazios (%)	0,8149	0,82329	0,843885	0,939486	0,908721	0,865243	1	0,95271	0,773964
Módulo de elasticidade (GPa)	0,08323	0,163017	0,216828	0,292576	0,449664	0,683673	0,51145	0,87013	1
Resistência à compressão (MPa)	1	0,444272	0,25387	0,27709	0,140867	0,065015	0,12074	0,06037	0,0387
Resistência à tração na flexão (MPa)	1	0,47561	0,268293	0,371951	0,195122	0,091463	0,18902	0,10366	0,085366
Resistência aderência - tração (MPa)	1	0,964286	0,642857	0,714286	0,642857	0,428571	0,46429	0,32143	0,357143
Coef. capilaridade (kg/m <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup> )	0,890909	0,6	0,519435	0,501706	0,556818	0,393048	0,46667	0,39410	1

Tabela 10 - Resultados de cada ensaio realizado nas argamassas com areia de britagem em %

AREIA DE BRITAGEM Ensaio (unidade) - Método	T1B	T2B	T3B	T4B	T5B	T6B	T7B	T8B	T9B
Dens. de massa fresco (kg/m <sup>3</sup> )	1,815522	1,827824	1,81902	1,888142	1,854757	1,863912	1,913981	1,887199	1,867599
Retenção de água (%)	11,19064	10,28325	8,624246	10,7506	8,624246	8,275743	10,10177	8,720606	7,691157
Teor de ar incorporado (%)	0,391371	0,615012	2,683687	0,782742	1,323207	3,74598	0,149094	0,931836	1,230023
Dens. de massa endurec. (kg/m <sup>3</sup> )	2,324062	2,398736	2,348431	2,571213	2,472607	2,427471	2,620294	2,548118	2,568109
Índices de vazios (%)	3,391843	3,700192	3,579726	4,077064	3,889181	3,853814	4,059381	4,010752	3,794134
Módulo de elasticidade (GPa)	1,487145	3,44891	4,303507	6,053481	8,196005	9,992389	8,788487	11,39757	13,50823
Resistência à compressão (MPa)	6,063568	2,212065	1,647282	1,506087	0,878551	0,580471	0,776576	0,44712	0,29808
Resistência à tração na flexão (MPa)	15,56095	7,176818	5,03048	4,963407	3,353653	1,810973	2,817069	1,54268	1,274388
Resistência aderência - tração (MPa)	27,81106	23,97505	19,18004	21,09805	18,22104	15,34403	15,34403	11,50803	10,54902
Coef. capilaridade (kg/m <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup> )	13,50823	8,800816	9,561381	8,418172	8,479619	6,734538	7,543557	7,718988	8,123831
<b>SOMA</b>	<b>83,5</b>	<b>64,4</b>	<b>58,8</b>	<b>62,1</b>	<b>57,3</b>	<b>54,6</b>	<b>54,1</b>	<b>50,7</b>	<b>50,9</b>

Tabela 11 - Resultados de cada ensaio realizado nas argamassas com areia natural em %

AREIA NATURAL Ensaio (unidade) - Método	T1N	T2N	T3N	T4N	T5N	T6N	T7N	T8N	T9N
Dens. de massa fresco (kg/m <sup>3</sup> )	1,806852	1,820499	1,847476	1,874293	1,875265	1,883078	1,913981	1,893929	1,883078
Retenção de água (%)	10,74218	8,034039	6,978941	10,20507	9,322058	8,53986	11,19064	9,389848	8,791902
Teor de ar incorporado (%)	0,384962	1,539849	3,74598	0,074031	3,716367	3,50908	0,562637	2,072874	2,176518
Dens. de massa endurec. (kg/m <sup>3</sup> )	2,355355	2,337594	2,345758	2,531415	2,458824	2,46937	2,620294	2,545807	2,490737
Índices de vazios (%)	3,322397	3,356606	3,440573	3,830346	3,704914	3,52765	4,077064	3,884251	3,1555
Módulo de elasticidade (GPa)	1,124287	2,202072	2,928969	3,95219	6,07417	9,235218	6,908789	11,75391	13,50823
Resistência à compressão (MPa)	6,063568	2,693876	1,539358	1,680153	0,854156	0,394226	0,732134	0,366067	0,234658
Resistência à tração na flexão (MPa)	15,56095	7,40094	4,174889	5,787915	3,036283	1,423258	2,941399	1,613025	1,328374
Resistência aderência - tração (MPa)	27,81106	26,81781	17,87854	19,86504	17,87854	11,91903	12,91228	8,93927	9,932522
Coef. capilaridade (kg/m <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup> )	12,0346	8,104938	7,016642	6,777166	7,521628	5,309384	6,303841	5,323619	13,50823
<b>SOMA</b>	<b>81,2</b>	<b>64,3</b>	<b>51,9</b>	<b>56,6</b>	<b>56,4</b>	<b>48,2</b>	<b>50,2</b>	<b>47,8</b>	<b>57,0</b>

Os resultados mostram que as argamassas com traço 1:1:4, tanto para argamassa com areia britada quanto para areia natural, apresentaram as melhores notas. Assim, considerando esses critérios e pesos, essas argamassas são as de melhor desempenho. Deve-se ter ciência de que não foram adotados critérios relacionados ao custo para essas formulações, o que poderia vir a modificar a interpretação.

Em alguns casos observou-se também que, comparando os mesmos traços para os dois tipos de agregado miúdo, a melhor nota não apresentou uma tendência clara, ora indicando melhores resultados para areia de britagem, ora para areia natural. Porém, pode-se afirmar que na maioria dos casos a argamassa com areia de britagem apresenta melhor desempenho, uma vez que isso aconteceu em 78% das argamassas estudadas. A Figura 2 ajuda a visualizar essa ocorrência. Esse tipo de

resultado pode ser utilizado caso haja necessidade de alterar o tipo de areia empregada, de natural para de britagem de rocha, ou vice-versa, podendo-se concluir se a alteração foi benéfica ou não para o desempenho da argamassa. Vale enfatizar que o resultado ora obtido não é universal, uma vez que, alterando a origem dos materiais usados nas argamassas, os resultados de comparação podem modificar-se. Além disso, o pareamento foi realizado em consenso entre quatro especialistas da área, mas que pode ser modificado dependendo das premissas dos avaliadores que venham a fazer uso da ferramenta. Isso ocorre porque não existe um consenso na área de argamassas sobre o grau de importância comparativa entre uma propriedade e outra. Porém, direcionando a atenção para a metodologia, fica claro o potencial da ferramenta de análise hierárquica para fundamentar e sistematizar escolhas na indústria de produção de argamassas industrializadas.

## Conclusões

Verificou-se que a aplicação de AHP pode ser importante para a escolha entre argamassas de revestimento, pois se agruparam através de uma nota todos os resultados dos ensaios realizados. Assim, cada material foi visto de maneira global e, desse modo, fica como contribuição deste trabalho a apresentação da AHP como uma ferramenta para a tomada de decisão quanto à escolha do proporcionamento de argamassas.

Observou-se também a facilidade da metodologia proposta para compararem-se mesmos traços com agregados miúdos diferentes, o que pode ser interessante para definições de mudanças na formulação de argamassas que se façam

necessárias em casos específicos. Essa pode ser uma contribuição para auxiliar a mudança de traços de argamassas na indústria de produção de argamassas industrializadas, balizando tomadas de decisão quanto à dosagem e adoção de novos componentes.

Considerando os critérios e avaliação por pares realizada neste trabalho, as argamassas com traço 1:1:4 com areia natural e com areia de britagem de rocha foram as que apresentaram melhores notas, assim classificadas como as de melhor desempenho para uso como revestimento de parede.

Também é conclusão deste trabalho a informação de que o uso de agregado de britagem de rocha, de modo geral, não comprometeu o desempenho das argamassas de revestimento. O estudo indicou até melhora em 78% das formulações estudadas. Essa conclusão é válida para o caso dos materiais usados neste estudo, sendo possível mudar as tendências em casos de materiais de outras origens e propriedades, ainda que também sejam provenientes de britagem de rocha.

Lembra-se que as importâncias quanto aos critérios foi definida pelos autores e que a intenção deste trabalho não é estabelecer de forma fechada e engessada os critérios a serem empregados e a importância relativa entre eles. O intuito do trabalho foi o de mostrar a utilidade e aplicação do AHP na escolha entre diversas possibilidades de formulações de argamassas destinadas a determinada aplicação. Assim, para outros materiais e outros critérios, as conclusões podem ser diferentes e adaptadas para as necessidades de produção da indústria de argamassas industrializadas.

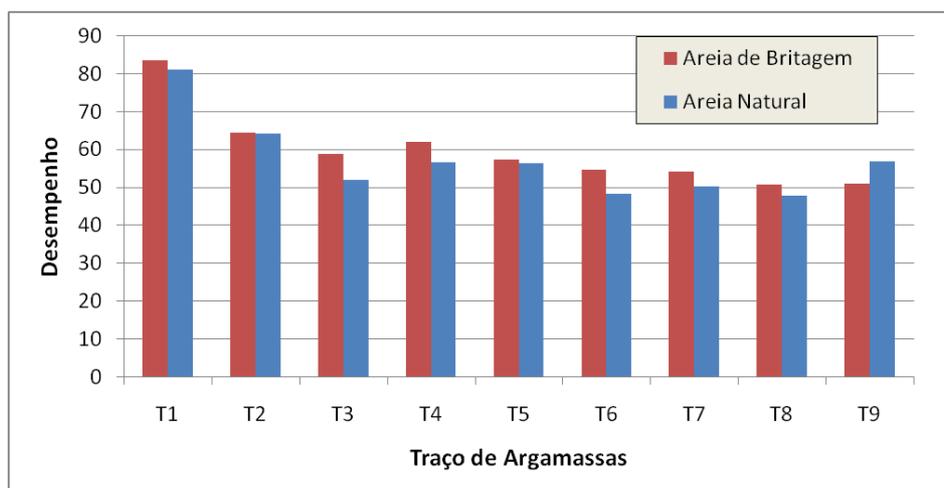


Figura 2 - Comparação entre formulações e tipos de areia

Uma observação muito importante sobre a aplicação do método é que ele funciona bem para argamassas com propriedades dentro dos parâmetros convencionais de argamassa de revestimento, seja com base nas normas vigentes, seja na experiência técnica na área. Nos casos de opções de argamassas com propriedades fora do convencional, sua adequação deve ser investigada com ensaios de desempenho em uso, e não simplesmente com a AHP.

## Referências

- ALMEIDA, S. L. M.; SANTOS, L. S. **Areia Artificial Para Uso em Construção Civil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral; Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008. Boletim Técnico.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 1765**: standard practice for applying analytical hierarchy process (AHP) to multiattribute decision analysis of investments related to buildings and buildings systems. West Conshohocken, PA, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2005f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2005e.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.
- BASTOS, P. K. X. *et al.* Estudo do Módulo de Elasticidade de Argamassas de Revestimento Sujeitas à Sucção de Água Pela Base. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., Lisboa, 2010. **Anais...** Lisboa, 2010.
- BOUQUETY, M. N. *et al.* Experimental Study of Crushed Aggregate Shape. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 4, p. 865–872, 2007.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1881**: part 203: testing concrete: recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete. Londres, 1986.
- BUEST NETO, G. T. **Estudo da Substituição de Agregados Miúdos Naturais Por Agregados Miúdos Britados em Concretos de Cimento Portland**. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- CARVALHO JUNIOR.; A. N.; BRANDÃO, P. R. G.; FREITAS, J. M. C. Relação Entre a Resistência de Aderência de Revestimento de Argamassa e o Perfil de Penetração de Pasta de Aglomerante nos Poros do Bloco Cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIADAS ARGAMASSAS, 6., Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 518-529.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification des Enduits Monocouches d'Imperméabilisation: modalités d'essais. **Cahiers du CSTB**, Paris, Livraison 341, n. 2669-4, jui./août. 1993.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de Revestimento**: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: IPT, 1995. Boletim Técnico n. 68.
- COSTA, H. G. **Introdução ao Método de Análise Hierárquica**: análise multicritério no auxílio à decisão. Niterói: Edição do autor, 2002.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 1015**: part 11: determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Berlin, 1999.

- GREGORIO, C. A. G. **Método Para Análise de Oportunidades de Imobilização em Imóveis Corporativos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- GUACELLI, P. A. G. **Substituição da Areia Natural Por Areia de Britagem de Rochas Basálticas Para Argamassas de Revestimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.
- JOHN, V. M. **A Construção, o Meio Ambiente e a Reciclagem**. Disponível em: <[http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a\\_construcao\\_e.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm)>. 2008. Acesso em: 12 fev. 2012.
- LAI, Y.; WANG, W.; WANG, H. AHP and Simulation-Based Budget Determination Procedure For Public Building Construction Projects. **Automation in Construction**, v. 17, n. 5, p. 623-632, 2008.
- LISBOA, M. V.; WAISMAN, J. Multicriteria Analysis in the Selection of Urban Highway Alignment Alternatives With Application of the Analytic Process: an environmentally sustainable approach. In: URBAIN TRANSPORT, 12., Praga, 2006. **Proceedings...** Praga: ANTAC, 2006.
- MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do Método de AHP Para a Hierarquização das Alternativas de Tratamento de Resíduos Sólidos Domiciliares. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 173-187, abr./jun. 2011.
- MENOSSI, R. T. *et al.* Pó de Pedra: uma alternativa ou um complemento ao uso da areia na elaboração de misturas de concreto? **HOLOS Environment**, v. 10, n. 2, p. 209-222, 2010.
- MOURA, C. B. **Aderência de Revestimentos Externos de Argamassa em Substratos de Concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco**. Porto Alegre, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- PAN, N. Fuzzy AHP Approach For Selecting the Suitable Bridge Construction Method. **Automation in Construction**, v. 17, n. 8, p. 958-965, 2008.
- PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F.; LEVY, S. M. Durabilidade de Concretos Com Agregados Reciclados: um aplicação de análise hierárquica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 125-134, jul./set. 2012.
- ROMANO, R. C. O. *et al.* Impacto do Tipo de Misturador e do Tempo de Mistura nas Propriedades de Argamassas Industrializadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 109-118, 2009.
- ROMANO, R. C. O. *et al.* Efeito do Procedimento de Mistura nas Características de Argamassas de Revestimento Industrializadas. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., Lisboa, 2010. **Anais...** Lisboa: ANTAC, 2010.
- SAATY, T. L. An Essay on How Judgement and Measurement Are Different in Science and in Decision Making. **International Journal of Analytic Hierarchy Process**, v. 1, n. 1, p. 61-62, 2009.
- SAATY, T.L. On Polynomials and Crossing Numbers of Complete Graphs. **Journal Combinatorial Theory**, v. 10, n. 2, p. 183-184, 1971.
- SABBATINI, F. H. **O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Silicocalcária**. 298 f. São Paulo, 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- SCARTENINI, L. M. B. *et al.* Influência do Prepare da Base na Aderência e na Permeabilidade à Água dos Revestimentos de Argamassa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 85-92, abr./jun. 2002.
- SILVA, N. G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SILVA, N. G.; CAMPITELI V. C.; GLEIZE, P. J. P. Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., Recife, 2007. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.
- SILVA, F. J. A.; SOUZA, R. O. AHP na Seleção de Caminhões Coletores-Compactadores de Resíduos Sólidos. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 3, p. 259-264, 2011.
- STOLZ, C. M. **Influência da Interação Entre os Parâmetros Reológicos de Argamassas e a Área Potencial de Concreto de Substrato na Aderência de Argamassas de Revestimento**. Porto Alegre, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

WESTERHOLM, M. *et al.* Influence of Fine Aggregate Characteristics on the Rheological Properties of Mortars. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 4, p. 274-282, 2008.

ZAYED, T.; AMER, M.; PAN, J. Assessing Risk and Uncertainty Inherent in Chinese Highway Projects Using AHP. **International Journal of Project Management**, v. 26, n. 4, p. 408-419, 2008.

**Revista Ambiente Construído**  
Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído  
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro  
Porto Alegre - RS - Brasil  
CEP 90035-190  
Telefone: +55 (51) 3308-4084  
Fax: +55 (51) 3308-4054  
[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)  
E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)