

ANÁLISE HIERÁRQUICA PARA A ESCOLHA DE ARGAMASSA COLANTE APLICADA NO ASSENTAMENTO DE PISO SOBRE PISO

Eduardo Pereira (UEPG) eduardopereira@uepg.com
Leidimara Aparecida Martins (Votorantim Cimentos) leidimara.martins@vcimentos.com.br
Marcelo Henrique Faria de Medeiros (UFPR) medeiros.ufpr@gmail.com
Marianne R. M. da Costa (UFPR) mariennecosta@uol.com.br

Resumo: A técnica de aplicação de piso sobre piso consiste no assentamento de uma nova camada cerâmica, utilizando-se argamassa colante especial para este tipo de aplicação, em sobreposição a um sistema de revestimento cerâmico já existente. O objetivo principal deste trabalho é a aplicação da ferramenta de Análise Hierárquica (AHP) para a escolha de uma melhor argamassa colante para aplicação desta técnica. Os dados analisados foram obtidos de Pereira (2012), que avaliou quatro argamassas colantes do mercado do tipo ACIII. Além disto, busca-se apresentar a AHP como ferramenta aberta a ser usada como auxílio na tomada de decisão. Os parâmetros utilizados para alimentar a AHP foram: teor de cimento, umidade, material passante na peneira 170, esfericidade da areia, densidade de massa anidra, índice de vazios anidro, densidade de massa fresca, teor de ar incorporado, retenção de água, Squeeze Flow, condições de cura, resistência de aderência. A argamassa com melhor desempenho foi a D, seguidas da C, A e B respectivamente. Além disto, a técnica mostrou-se eficiente como ferramenta de tomada de decisão podendo ser adaptada para outros parâmetros de entrada.

Palavras-chave: Análise Hierárquica, Argamassa Colante, Piso sobre Piso.

HIERARCHICAL ANALYSIS APPLIED ON ADHESIVE MORTAR USED FOR LAYING “TILE ON THE TILE”

Abstract: Systems for overlapping the existing ceramic coating consists of laying a new ceramic layer, using a special adhesive mortar and then apply the new tile; this technique is known as the tile on the tile. The main objective of this paper work is the application of Analytic Hierarchy Process (AHP) for choosing a better adhesive mortar for application of this technique. The analyzed data was obtained from Pereira (2012), which assessed four adhesive mortars of the type ACIII from the market. Furthermore, it seeks to present the AHP as open tool to be used as a support to make a decision. The parameters used to feed the AHP were: cement content, moisture, material passing the through a sieve with a 170 mm sieve opening, sphericity of sand, bulk density anhydrous, anhydrous empty index, fresh mass density, entrained air content, water retention, Squeeze flow, curing conditions, adhesive strength. The best mortar was D followed by C, A and B respectively. Also, the technique proved to be efficient as a decision-making tool and can be adapted to other input parameters.

Keywords: Hierarchical Analysis, Adhesive Mortar, “Tile on the tile”.

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de revestimento cerâmico usual é o resultado do assentamento de uma placa cerâmica sobre uma base ou substrato, com a utilização de argamassa colante, formando um conjunto de camadas aderido e contínuo. A técnica de aplicação de piso sobre piso consiste no assentamento de uma nova camada cerâmica, utilizando-se argamassa colante especial para este tipo de aplicação, em sobreposição a um sistema de revestimento cerâmico já existente (PEREIRA, 2012). A aplicação de um novo revestimento sem a necessidade de retirada do revestimento antigo torna o assentamento de piso sobre piso uma técnica prática para obras de reforma, evitando-se assim sujeira, barulho, resíduos e outros incômodos inerentes de uma reforma em que são utilizados os processos convencionais. Além da redução de entulhos, existe ainda a vantagem do menor tempo necessário para a liberação da área interdita, o que racionaliza o tempo de execução dos serviços.

A manifestação patológica mais comum em revestimento cerâmico é o descolamento de placas, sendo este presenciado nas mais diversas situações de uso da combinação de argamassa colante e substratos (SILVA, 2003). O descolamento está diretamente ligado à

resistência de aderência dos revestimentos, sendo esta a principal propriedade das argamassas colantes. Este parâmetro depende essencialmente da composição e reologia das argamassas, da natureza e características do substrato no qual a argamassa será aplicada, das condições de exposição e também dos procedimentos de assentamento do revestimento (CANDIA, FRANCO, 2000; BAUER, 2005; CARASEK, 2007).

A aderência, um dos principais requisitos de avaliação do desempenho dos sistemas de revestimento de argamassa, é um fenômeno influenciado pelo maior contato entre as camadas constituintes do sistema de revestimento. Para que essa interação entre as camadas seja eficiente, a argamassa deve apresentar características reológicas adequadas ao tipo de substrato utilizado, bem como às condições de exposição e também dos procedimentos de assentamento do revestimento (COSTA, 2010; PEREIRA, 2012).

As características reológicas de argamassas são mensuradas através do seu comportamento no estado fresco, traduzidos pela plasticidade, viscosidade e consistência. São esses parâmetros que irão influenciar na trabalhabilidade da argamassa, proporcionando ao aplicador facilidade no espalhamento da mesma sobre o substrato e boa formação dos cordões com a desempenadeira. Esses são fatores no estado fresco que irão garantir maior área de contato da argamassa/substrato e argamassa/peça cerâmica, favorecendo o desenvolvimento de maior resistência de aderência e conseqüentemente influenciando na qualidade e durabilidade dos sistemas de revestimentos cerâmicos (COSTA, 2010; PEREIRA, 2012).

O objetivo principal deste trabalho é a aplicação da ferramenta de Análise Hierárquica (AHP) para a escolha de uma melhor argamassa colante para aplicação de piso sobre piso. Os dados analisados foram obtidos de Pereira (2012), que avaliou 4 argamassas colantes do mercado para assentamento de revestimentos cerâmicos tipo piso sobre piso. O autor obteve como resultado final valores de resistência de aderência muito próximos, chegando em alguns casos há não haver estatisticamente diferença entre estas. Tendo em vista que somente o valor de resistência de aderência obtidos em laboratório não se mostrou suficiente como critério de escolha por uma das argamassas, o método AHP foi aplicado nos dados de caracterização obtidos pelo pesquisador a fim de auxiliar na seleção do material e buscando-se avaliar qual argamassa apresenta melhor desempenho na técnica de assentamento de piso sobre piso, e conseqüentemente uma durabilidade maior aos revestimentos cerâmicos. Além disto, a ferramenta permite que seja avaliado qual fator apresenta maior influência sobre o desempenho final da argamassa na matriz da AHP.

Também é foco do trabalho mostrar a AHP como uma ferramenta aberta a ser usada como auxílio na tomada de decisão relativa a especificação de argamassas colantes para piso sobre piso. A palavra “aberta” se refere ao fato que a AHP permite ser adaptada em função das convicções do decisor, que no contexto seria o engenheiro responsável pela especificação da argamassa entre diversas opções do mercado.

1.1 Método de Análise Hierárquica - AHP

A AHP é uma técnica multicriterial ou multiobjetivo desenvolvido pelo matemático Norte-americano Thomas L. Saaty. Este método baseia-se no método newtoniano e cartesiano, que busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores claros e dimensionáveis, estabelecendo relações entre estes para depois sintetizar as informações (MARINS et al., 2009).

A propagação e a capacidade da AHP se devem principalmente ao conjunto de características como a simplicidade na aplicação, a naturalidade no trato de aspectos subjetivos e a flexibilidade do uso (LISBOA, WAISMAN, 2006). A grande vantagem do método é alternar etapas de cálculo com etapas de diálogo, ou seja, pressupõe uma influência contínua e direta do decisor ou de outros atores na construção da solução e não somente na definição do problema (LOZANO, 2006). Quando vários objetivos são importantes para o decisor, pode

ser difícil escolher entre as alternativas. Neste caso, o AHP é uma ferramenta que pode resolver problemas complicados em que os objetivos têm interações e correlações (GOMES, 2009).

Na AHP, as escolhas e as propriedades necessárias para julgar as alternativas, se estruturam em uma hierarquia. No nível superior fica o principal objetivo do problema. Este deve ser decomposto em vários níveis inferiores de atributos que pode ser subdividido, gerando uma árvore com vários níveis. Abaixo dos atributos elementares são colocadas as alternativas. O cálculo da hierarquia é realizado de maneira ascendente. O tomador de decisões compara todos os pares de atributos em cada nível, começando pelos atributos elementares e subindo pela hierarquia até atingir o objetivo final (SAATY, 1980).

As preferências são encontradas por comparações paritárias, ou par a par, das alternativas para cada atributo, usando uma escala de valor. A mesma escala é usada para determinar os pesos dos atributos por comparações paritárias dos critérios que têm o mesmo objetivo. As preferências das alternativas com respeito a seus níveis dos atributos são chamadas de prioridades e, os pesos dos atributos são calculados usando o método de autovalor. A prioridade final ou total é computada por uma função de valor aditivo que resume as prioridades dos níveis de atributos (COSTA, 2006).

Segundo Saaty (1980) e Morita (1998), as etapas da aplicação do AHP são divididas em:

- Estruturar os objetivos, critérios e alternativas em uma hierarquia, do problema global até os estágios mais específicos;
- Realizar os julgamentos comparativos de cada par de fatores de decisão (os fatores de decisão são as alternativas, os indicadores e os critérios) em um dado nível, que são denominados de comparações paritárias;
- Determinar as prioridades relativas dos pesos dos fatores de decisão em cada nível ou grupo. Relacionar todos os pesos, propagando o efeito dos pesos nas estruturas até o nível das alternativas. A recomendação da decisão é dada pela classificação das alternativas da decisão, ordenadas relativamente ao objetivo global;
- Verificar o nível de consistência dos dados de julgamento de cada grupo, que é uma etapa adicional.

Na engenharia civil, o potencial da análise hierárquica tem sido pouco explorado, porém pode-se citar exemplos de estudos que usaram esta ferramenta como instrumento de decisão, tais como: 1 - Marchezetti et al. (2011), no tratamento de resíduos domiciliares; 2 - Silva e Souza (2011), na seleção de caminhões coletores-compactadores de resíduos sólidos; 3 - Lisboa e Waisman (2006) e Zayed et al. (2008) nas decisões relacionadas a área de projeto de rodovias; 4 - Pan (2008), na seleção de métodos de construção de pontes; 5 - Lai et al. (2008), no projeto de obras públicas; 6 - Pereira, Medeiros e Levy (2012), para a escolha de percentuais de substituição de resíduos de construção como agregados na dosagem de concretos; 7 - Mattana et al. (2012), na escolha de argamassas de revestimento.

2. Método: Aplicação da análise hierárquica

Os dados utilizados na aplicação da técnica da AHP foram extraídos de Pereira (2012) que se refere ao “*Estudo da influência das propriedades de argamassas colantes na resistência de aderência de revestimentos cerâmicos aplicados no assentamento de piso sobre piso*”. Dessa forma, foram selecionadas quatro argamassas colantes industrializadas, todas do tipo ACIII, sendo cada uma de um diferente fabricante. Ressalta-se que para a técnica de assentamento de piso sobre piso não existem normatizações, sendo considerado em laboratório um desempenho mínimo para o assentamento externo, definidos pela NBR 14081-1 (ANBT, 2012) e para assentamento em campo os requisitos mínimos definidos pela NBR 13749 (ABNT, 1996). As amostras foram identificadas como A, B, C e D, e para aplicação dos ensaios foi utilizado o teor de água recomendado por cada fabricante.

Para a utilização do método da AHP foi necessário realizar a definição do objetivo, identificação das alternativas e o conjunto de critérios. Atentando para que estes critérios estabelecidos não causem efeitos de superposições entre si e que consigam englobar todas as soluções do problema. A Figura 1 apresenta um esquema da estrutura hierárquica para a situação problema apresentada neste artigo.

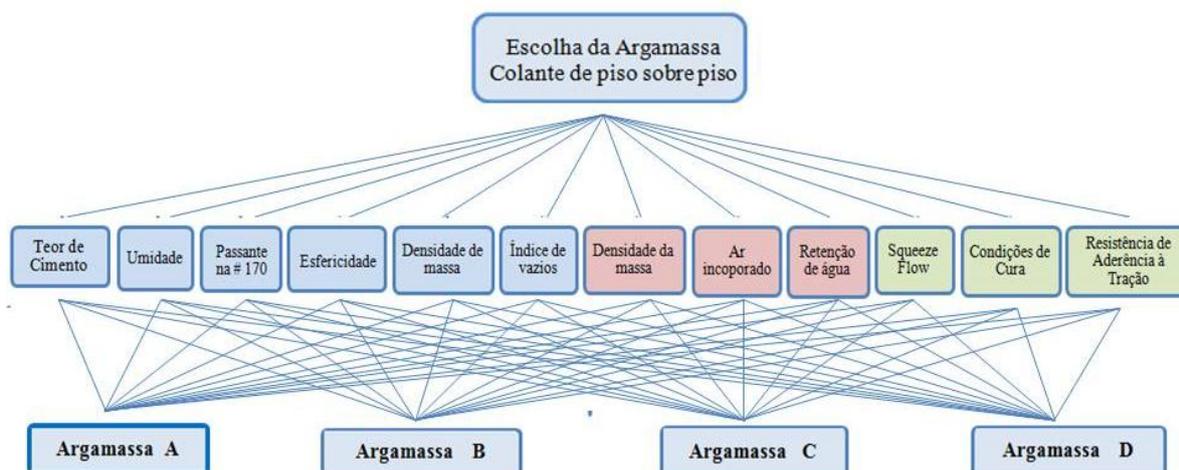


Figura 1: Rede de critérios e opções de escolha da AHP.

A etapa de estruturação do problema e construção da hierarquia é de extrema importância, pois é a partir dela que é possível realizar o processo de comparação dos critérios e, posteriormente das alternativas. A prática da tomada de decisões está ligada à avaliação das alternativas, todas satisfazendo um conjunto de objetivos pretendidos. No entanto, a tomada de decisão deve buscar uma opção que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou o melhor acordo entre as expectativas do decisor, considerando a relação entre os elementos. Pode-se definir a decisão como um processo de análise e escolha entre várias alternativas disponíveis do curso de ação que a pessoa deverá seguir (MARINS et al., 2009). Para o desenvolvimento de formulações, caracterização e controle de qualidade de argamassas colantes existem algumas propriedades que são avaliadas. Para esse estudo em específico foram selecionadas doze das propriedades avaliadas por Pereira (2012) e estas utilizadas para compor a matriz de decisão - AHP. São elas:

Teor de cimento: um dos principais componentes desse produto, pois o teor de cimento pode influenciar diretamente no desempenho da argamassa tanto no estado fresco, quanto endurecido. Conforme a classificação das argamassas colantes, maior pode ser o teor de cimento e aditivo em suas formulações devido ao desempenho que cada uma deve apresentar, sendo que o menor teor de cimento está na argamassa tipo I e o maior teor na do tipo III.

Umidade: é o teor de água presente na argamassa no estado anidro, proveniente do ambiente externo. Este parâmetro pode prejudicar o desempenho da argamassa devido à pré-hidratação do cimento. Este parâmetro será neutro em termos de influência se as argamassas forem novas e apresentem teor de umidade próximo de zero. A umidade passa a ser um fator de influência no momento em que existe variação no grau de hidratação das argamassas avaliadas por acondicionamento inapropriado, por exemplo.

Material passante na peneira 170 (abertura 90 μ m): Nesta faixa granulométrica está o percentual de agregado com diâmetro inferior a 90 μ m somados ao cimento e ao filer que irão compor a pasta da argamassa. O teor de finos irá influenciar a quantidade de água necessária para obter-se trabalhabilidade adequada das argamassas e irá proporcionar uma argamassa mais compacta, influenciando diretamente a reologia das misturas. Dessa forma, considera-se que quanto maior o teor de finos na composição da argamassa, melhor será o seu

desempenho, pois se tem o agregado envolvido por mais pasta, deixando a massa com melhor trabalhabilidade.

Esfericidade dos grãos de agregado: considera-se que quanto maior a esfericidade dos grãos, maior a facilidade de deslizamento entre partículas e maior trabalhabilidade para argamassa.

Densidade da massa anidra: quanto maior a densidade da argamassa anidra, maior será o empacotamento do sistema proporcionando assim maior resistência mecânica e é provável que isso reflita como elevação da resistência de aderência das argamassas colantes.

Índice de vazios: quanto maior a quantidade de vazios na massa anidra, pior tende a ser o desempenho da argamassa uma vez que esta apresentará um empacotamento de partículas menos eficiente.

Densidade de massa fresca: a densidade da massa no estado fresco tem grande influência na trabalhabilidade da argamassa. Uma densidade maior deixa a massa mais pesada diminuindo o rendimento e a produtividade do aplicador.

Ar incorporado no estado fresco: o principal efeito do ar incorporado é proporcionar uma melhor trabalhabilidade sem prejudicar a resistência mecânica do material.

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 et al., 1995). Desse modo, quanto maior a retenção de água da argamassa considerou-se uma condição melhor de aplicação. Esta propriedade é considerada importante porque permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e, conseqüentemente, ganho de resistência (MATTANA et al., 2012). Além disso, a argamassa que tem elevada retenção de água apresenta baixa tendência a perder água de hidratação quando em contato com o substrato de aplicação.

Tempo em aberto: é a propriedade de a argamassa colante manter sua adesividade no estado fresco após ter sido aplicada sobre o substrato e permitir que a peça cerâmica seja colada até 20 minutos após sua aplicação sem prejudicar a aderência de assentamento. Para as argamassas colantes do tipo ACI e ACII a norma especifica que a resistência de aderência à tração do tempo em aberto seja maior que 0,5 MPa, e para a argamassa do tipo ACIII maior que 1,0 MPa. Neste trabalho considerou-se que quanto maior o tempo em aberto, melhor, desde que esteja abaixo de 1 h, considerado tempo suficiente para a aplicação do material.

Squeeze flow: nas argamassas colantes esse ensaio está relacionado com a consistência e a trabalhabilidade do material. Não há ainda valores de referência para um bom desempenho das argamassas. Atualmente as pesquisas buscam uma padronização do ensaio e formas de correlacioná-lo com a aplicação da argamassa. Para que o aplicador tenha maior facilidade de execução, o comportamento que se espera da argamassa é a de menores cargas de compressão, pois isto representa maior facilidade de aplicação do material o que influenciará o desempenho final de resistência de aderência do revestimento.

Resistência de aderência à tração: principal propriedade das argamassas colantes. O ensaio é determinado pela norma NBR 14081-4 (ABNT, 2012), onde não está especificada a aplicação de piso sobre piso, sendo esta norma adaptada para esse tipo de aplicação. Quanto maior o resultado de resistência de aderência, melhor será o desempenho do sistema de revestimento assentado. Os resultados usados para alimentação da AHP referem-se a amostras moldadas nas condições de piso sobre piso e submetidas à cura normal (ambiente laboratorial), submersa e em estufa, conforme recomendado pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012).

O método de análise hierárquica permite atribuir pesos para variáveis onde valores numéricos não podem ser obtidos diretamente. Sendo assim, trabalha-se com uma matriz de decisão

onde é avaliada a importância de uma característica sobre a outra, utilizando-se para isto uma escala adequada. A norma ASTM E 1765 (2002) apresenta uma escala de julgamentos (Tabela 1).

Tabela 1: Escala de Importância (ASTM E 1765, 2002).

Escala de importância	
Igual	1
Levemente mais importante	3
Mais importante	5
Muito mais importante	7
Extremamente mais importante	9

Com o objetivo de eliminar a subjetividade da análise, todos os critérios foram considerados como tendo a mesma importância. Esta escolha pode levar a interpretações equivocadas, pois se a escala de importância variar para cada fator pode-se obter um resultado diferente, sendo influenciado pela avaliação de pesos de importância dadas pelo autor. Apesar de neste exercício de AHP ter sido decidido não estabelecer níveis de importância diferentes para cada critério, o sistema é aberto para o decisor poder atribuir os pesos que achar mais apropriado em função da sua experiência e convicções. A Tabela 2 apresenta a matriz de decisão utilizada neste trabalho, onde cada parâmetro tem um peso de 6% sobre o resultado final da AHP.

Para verificar a eficiência da AHP montada neste trabalho, decidiu-se verificar se existe correlação entre o índice de desempenho das 4 argamassas em condições de campo quando submetidas ao ensaio de resistência de aderência conforme preconizado pela NBR 13528 (ANBT, 2010).

Para avaliar a consistência de uma dada matriz de decisão de AHP, Costa (2006) relata que Saaty propôs o uso de uma operação matemática na Tabela 2. A operação consiste em dividir cada elemento de uma coluna pelo total geral desta mesma coluna. Isso gera uma nova matriz e se esta matriz for formada por colunas iguais, considera-se que a matriz é perfeitamente consistente.

Tabela 2: Matriz de decisão da Análise Hierárquica.

Matriz de Decisão											Squeeze Flow				Resist. de Aderência			Total da Linha	Importância relativa	
											0 min.		20 min.		Ambiente	Estufa	Submersa			
											0,1 mm/s	1,0 mm/s	0,1 mm/s	1,0 mm/s						
Escala de importância																				
Igual	1																			
Levemente mais importante	3																			
Mais importante	5																			
Muito mais importante	7																			
Extremamente mais importante	9																			
Cimento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Umidade	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Passante na #170	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Esfericidade	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Densidade de massa anidra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Índice de vazios	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Densidade de massa fresca	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Ar incorporado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Retenção de água	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	
Tempo em aberto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06	

Squeeze Flow - 0 min	0,1 mm/s	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06
	1,0 mm/s	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17
Squeeze Flow - 20 min	0,1 mm/s	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06
	1,0 mm/s	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06
Resistência de Aderência	Ambiente	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06
	Estufa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06
	Submersa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	0,06
Total Geral		17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	289	1,00

3. Resultados

A Tabela 3 apresenta os valores das variáveis selecionadas. Esses dados serão utilizados para alimentar a AHP buscando contribuir na tomada de decisão para a escolha da argamassa que apresenta melhor desempenho para assentamento de piso sobre piso. As variáveis destacadas na tabela são aquelas que apresentam desempenho do tipo “quanto maior, pior” para o desempenho do produto. Critérios rachurados são do tipo “quanto maior pior”.

Tabela 3: Variáveis de análise (resultados numéricos extraídos de Pereira, 2012).

Propriedades		unidade	A	B	C	D	
Estado Anidro	Cimento	%	42,30	46,30	49,70	31,70	
	Umidade	%	0,21	0,27	0,29	0,16	
	Passante na #170 (abertura 90µm)	%	36,28	41,64	25,94	23,17	
	Esfericidade		0,83	0,82	0,89	0,84	
	Densidade de massa anidra	g/cm³	1,38	1,35	1,52	1,53	
	Índice de vazios	%	0,49	0,49	0,43	0,44	
Estado a fresco	Densidade de massa fresca	g/cm³	1,80	1,74	1,69	1,77	
	Ar incorporado	%	13,87	9,74	16,89	15,82	
	Retenção de água	%	84,71	85,36	89,77	92,5	
	Tempo em aberto	MPa	1,30	1,20	1,10	0,90	
	Squeeze Flow - 0 min	0,1 mm/s	N	15,35	21,88	16,57	15,35
		1,0 mm/s	N	27,83	26,61	20,16	17,79
	Squeeze Flow - 20 min	0,1 mm/s	N	11,12	11,26	13,2	10,11
1,0 mm/s		N	19,94	14,06	17,36	15,69	
Estado endurecido	Resistência de Aderência	Ambiente	MPa	1,80	1,50	1,30	1,50
		Estufa	MPa	1,20	1,20	1,10	1,20
		Submersa	MPa	0,50	0,50	0,80	0,90

A Tabela 4 apresenta a etapa onde é realizada a padronização dos dados. Esta operação consiste em inverter os valores que apresentam a tendência de “quanto maior o valor, pior é o desempenho da argamassa”. Esta inversão de valores é importante para fazer com que todos os dados da AHP se comportem da mesma maneira, ou seja, seguindo a tendência de quanto maior o valor, melhor.

Outra operação realizada nos dados e representada na Tabela 4 é a normalização, que consiste em dividir os valores de cada linha pelo maior valor da mesma linha. Este artifício tem o objetivo de fazer com que todos os critérios considerados estejam na mesma escala, ou seja, variando de 0 a 1. Este detalhe possibilita o tratamento conjunto dos dados, fixando a escala de variação de todos os critérios considerados na AHP.

Tabela 1: Dados Gerais (padronizados e normalizados) da Análise Hierárquica.

Dados de análise	Dados padronizados				Maior Valor	Dados normalizados			
	A	B	C	D		A	B	C	D
Cimento	42,30	46,30	49,70	31,70	49,70	0,85	0,93	1,00	0,64

Umidade	4,76	3,70	3,45	6,25	6,25	0,76	0,59	0,55	1,00	
Passante na #170	36,28	41,64	25,94	23,17	41,64	0,87	1,00	0,62	0,56	
Esfericidade	0,83	0,82	0,89	0,84	0,89	0,93	0,92	1,00	0,94	
Densidade de massa anidra	1,38	1,35	1,52	1,53	1,53	0,90	0,88	0,99	1,00	
Índice de vazios	2,04	2,04	2,33	2,27	2,33	0,88	0,88	1,00	0,98	
Densidade de massa fresca	0,56	0,57	0,59	0,56	0,59	0,94	0,97	1,00	0,95	
Ar incorporado	13,87	9,74	16,89	15,82	16,89	0,82	0,58	1,00	0,94	
Retenção de água	84,71	85,36	89,77	92,50	92,50	0,92	0,92	0,97	1,00	
Tempo em aberto	1,30	1,20	1,10	0,90	1,30	1,00	0,92	0,85	0,69	
Squeeze Flow - 0 min	0,1 mm/s	0,07	0,05	0,06	0,07	0,07	1,00	0,70	0,93	1,00
	1,0 mm/s	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,64	0,67	0,88	1,00
Squeeze Flow - 20 min	0,1 mm/s	0,09	0,09	0,08	0,10	0,10	0,91	0,90	0,77	1,00
	1,0 mm/s	0,05	0,07	0,06	0,06	0,07	0,71	1,00	0,81	0,90
Resistência de Aderência	Ambiente	1,80	1,50	1,30	1,50	1,80	1,00	0,83	0,72	0,83
	Estufa	1,20	1,20	1,10	1,20	1,20	1,00	1,00	0,92	1,00
	Submersa	0,50	0,50	0,80	0,90	0,90	0,56	0,56	0,89	1,00

Foi multiplicado cada valor normalizado de cada resultado de ensaio (Tabela 4) pela importância relativa de cada quesito analisado (Tabela 3), como apresentado na Tabela 5. A última etapa da AHP é somar os valores de cada célula referente aos quesitos analisados de todas as características das argamassas para obter o **índice de desempenho** de cada combinação analisada. A Tabela 5 apresenta o resultado final da AHP bem como os índices de desempenho de cada argamassa.

O objetivo de aplicar a AHP neste estudo foi auxiliar na tomada de decisão de qual argamassa utilizar, baseado em seu desempenho referente a algumas propriedades analisadas. Conforme resultados obtidos, verifica-se que a argamassa “D” é a melhor opção para assentamento de piso sobre piso comparativamente as demais analisadas, pois foi essa argamassa que obteve o maior índice de desempenho. O resultado obtido na AHP é coerente com o desempenho da argamassa “D”, pois apesar da argamassa “D” apresentar desempenho similar com as demais argamassas em relação a sua principal propriedade no estado endurecido “resistência de aderência”, foi a argamassa que apresentou melhor comportamento no estado fresco, considerando suas características reológicas e retenção de água.

Tabela 5: Avaliação final da Análise Hierárquica.

	A	B	C	D	
Cimento	0,050	0,055	0,059	0,038	
Umidade	0,045	0,035	0,032	0,059	
Passante na #170 (abertura 90µm)	0,051	0,059	0,037	0,033	
Esfericidade	0,055	0,054	0,059	0,056	
Densidade de massa anidra	0,053	0,052	0,058	0,059	
Índice de vazios	0,052	0,052	0,059	0,057	
Densidade de massa fresca	0,055	0,057	0,059	0,056	
Ar incorporado	0,048	0,034	0,059	0,055	
Retenção de água	0,054	0,054	0,057	0,059	
Tempo em aberto	0,059	0,054	0,050	0,041	
Squeeze Flow - 0 min	0,1 mm/s	0,059	0,041	0,054	0,059
	1,0 mm/s	0,038	0,039	0,052	0,059
Squeeze Flow - 20 min	0,1 mm/s	0,053	0,053	0,045	0,059
	1,0 mm/s	0,041	0,059	0,048	0,053
Resistência de Aderência	Ambiente	0,059	0,049	0,042	0,049

	Estufa	0,059	0,059	0,054	0,059
	Submersa	0,033	0,033	0,052	0,059
Índice de desempenho		0,86	0,84	0,88	0,91

Verifica-se pelos resultados que as propriedades que mais influenciaram o índice de desempenho da argamassa D foram umidade, retenção de água e aderência em cura submersa, sendo esta última propriedade destacada também pelo trabalho de Pereira (2012) como aquela que melhor representa o desempenho de uma argamassa assentada em ambiente externo. Outro ponto a ser destacado é que esta argamassa é a que apresenta o menor teor de finos e de cimento em sua composição, demonstrando que para argamassas colantes um teor elevado de cimento não é sinônimo de melhor aderência e sim se deve buscar uma sinergia entre os elementos da composição da argamassa.

Na Figura 2 observa-se uma correlação dos resultados de resistência de aderência à tração em campo aos 28 dias para revestimentos de piso sobre piso assentados com as argamassas colantes analisadas e o índice de desempenho obtido pela AHP.

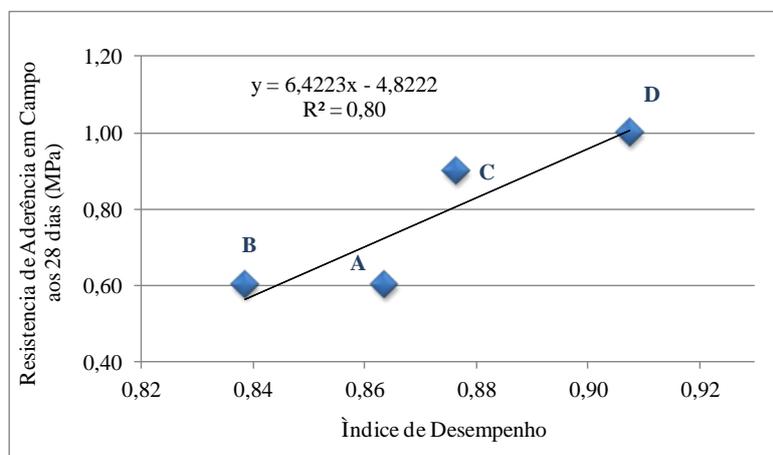


Figura 2 – Correlação a resistência de aderência à tração em campo com o índice de desempenho da AHP.

Verifica-se que os valores de resistência de aderência aumentam na medida em que o índice de desempenho aumenta, podendo obter-se uma linha de tendência entre os valores e uma correlação $R^2 > 0,80$. O valor R^2 obtido demonstra uma boa correlação, validando os resultados de índice de desempenho obtido. Ressalta-se que esta análise é válida uma vez que os valores de resistência de aderência em campo não foram utilizados para implementação da matriz da AHP, indicando que a avaliação por análise hierárquica deste trabalho refletiu as condições de campo.

O método AHP permitiu que o problema fosse modelado pela construção de hierarquias, nas quais são considerados múltiplos critérios de decisão. Entretanto, a análise multicritério é altamente sensível a variações de julgamentos de valor realizadas pelos decisores, podendo pequenas alterações nos valores da decisão, alterarem completamente os resultados obtidos. Há que se discutirem ainda métodos de elencar as propriedades influentes em um processo a fim de reduzir esta sensibilidade inerente a técnica. Um caminho pode ser a associação de outras ferramentas que mapeiem os fatores influentes sobre um processo a fim de que fatores relevantes não sejam desconsiderados.

5. CONCLUSÕES

O método AHP demonstrou ser uma ferramenta eficiente para a escolha da argamassa colante para ser utilizada no assentamento de piso sobre piso, que nesse caso foi a argamassa “D”.

Pelos dados originais utilizados para implementar a AHP observa-se que as propriedades analisadas são muitas e apresentaram valores similares entre as alternativas, o que dificulta a tomada de decisão quanto a melhor alternativa a ser adotada sem o emprego de uma técnica de avaliação global como a AHP. Dessa forma, a AHP mostrou-se eficaz, pois a partir de seu maior índice de desempenho, verificou-se que a argamassa selecionada pelo método também é a que demonstra maior desempenho em campo quanto à resistência de aderência, indicando coerência no processo de análise hierárquica montada neste estudo, apesar de ter sido adotado como premissa a igualdade dos pesos dos critérios considerados.

De acordo com a AHP montada neste trabalho, pode-se classificar as 4 argamassas deste estudo em ordem decrescente de desempenho como indicado a seguir:

Maior desempenho	Menor desempenho
D > C > A > B	

Por fim, deve-se destacar como resultado deste estudo a exemplificação da AHP como técnica de escolha entre argamassas colantes para aplicação de piso sobre piso. O exemplo desenvolvido pode ser utilizado e adaptado por qualquer decisor, servindo de auxílio para os profissionais que se encontram com a missão de escolher de forma racional entre diversas opções de argamassa ofertadas no mercado da construção civil.

REFERÊNCIAS

AMERICAM 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. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749. Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-1. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 1 - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-4. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012.

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, 2010.

BAUER, E. Revestimentos de argamassa - características e peculiaridades. 1. ed. Brasília: LEM-UnB - SINDUSCON/DF. 2005.

CANDIA, M. C; FRANCO, L. S. Avaliação do tipo de preparo da base nas características superficiais do substrato e dos revestimentos de argamassa. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. Anais ANTAC. Salvador. 2000.

CARASEK, H. Argamassas. In: G. C. Isaia. (Org.). Materiais de Construção Civil. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2007, v. 1.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de Revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. Boletim Técnico. São Paulo: IPT, 1995.

COSTA, E. B. C.; ANTUNES, R.P.N.; JOHN; V.M.; PILEGGI, R.G. Avaliação do efeito da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa. Boletim Técnico, USP, 2010.

COSTA, H.G. Auxílio Multicritério à Decisão: método AHP. ABEPRO, 2006.

GOMES, M. F. Metodologia de análise hierárquica aplicada para a escolha do sistema de disposição de subprodutos da mineração com ênfase nos rejeitos de minério de ferro. Programa de Pós Graduação e Pesquisa em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2009.

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: Urban transport, XII, Anais. 2006, Praga.

LOZANO, F. A. E. Seleção de locais para barragens de rejeito usando o método de análise hierárquica. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 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, v. 11, n. 2, p. 173-187, 2011.

MARINS, C. S; SOUZA, D. O; BARROS, M. S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – Um estudo de caso. XLI SBPO – Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. Porto Seguro, 2009.

MATTANA, A. J; MEDEIROS, M. H. F; SILVA, N. G; COSTA, M. R. M. M. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural ou areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. Ambiente Construído, v. 12, p. 63-79, 2012.

MORITA, H. Revisão do método de análise hierárquica – MAH (AHP – Analytic Hierarchy Process). Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 1998.

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. Estudo da influência das propriedades de argamassas colantes na resistência de aderência de revestimentos cerâmicos aplicados no assentamento de piso sobre piso. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil – UFPR. Curitiba, 2012.

PEREIRA, E; MEDEIROS, M. H. F; LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. *Ambiente Construído*. v. 12, n. 3, p. 125-134, 2012.

SAATY, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. USA: McGraw-Hill, 1980.

SILVA, C. O. Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 2003.

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.

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.