

# **Utilização do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) como parte do processo de classificação de rochas ornamentais**

## **Use of the AHP (*Analytic Hierarchy Process*) method as part of the dimension stones classification**

**Bruna Xavier Faitanin**  
Bolsista PCI, Geóloga.

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**  
Supervisor, Engenheiro de Minas, D. Sc.

### **Resumo**

As rochas naturais possuem uma variedade de texturas, estruturas e componentes minerais, e que combinados, caracterizam os mais diversos tipos de materiais. Sua utilização como elemento construtivo, de revestimento ou para ornamentação deve atender a exigências acerca de sua qualidade, que é obtida por meio de ensaios tecnológicos e análise petrográfica. Utilizando o Processo de Hierarquia Analítica, que é uma ferramenta de apoio a tomadas de decisões complexas, pretende-se priorizar as propriedades tecnológicas e petrográficas das rochas ornamentais para auxiliar sua classificação de acordo com o uso pretendido. O desenvolvimento do trabalho se deu em 4 etapas: estruturação do problema, determinação dos critérios e atribuição de pesos nas matrizes de decisão/julgamento, avaliação da razão de consistência e geração de uma escala hierárquica dos critérios e classificação das rochas de acordo com o uso pretendido. Utilizando os parâmetros de referência para qualificação das rochas ornamentais e o ranking gerado pelo AHP, foi possível delimitar as rochas em três grupos.

**Palavras chave:** AHP, rochas ornamentais, classificação.

### **Abstract**

Natural rocks have a variety of textures, structures and mineral components, and that combined, characterize the most diverse types of materials. Its use as a constructive element, for cladding or for ornamentation must meet requirements regarding its quality, which is obtained through technological tests and petrographic analysis. Using the Analytical Hierarchy Process, which is a tool to support complex decision-making, it is intended to prioritize the technological and petrographic properties of dimension stones to aid their classification according to the intended use. The development of the work took place in 4 stages: structuring the problem, determining the criteria and assigning weights in the decision / judgment matrices, evaluating the consistency ratio and generating a hierarchical scale of the criteria and classifying the rocks according to the use intended. Using the reference parameters for the qualification of dimension stones and the ranking generated by the AHP, it was possible to delimit the rocks in three groups.

**Key words:** AHP, dimension stones, classification.

## 1. Introdução

As rochas naturais possuem uma variedade de texturas, estruturas e componentes minerais, e que combinados, caracterizam os mais diversos tipos de materiais, sendo esses amplamente utilizados para ornamentação e revestimento. Como as rochas possuem particularidades distintas, seu comportamento físico-mecânico varia de acordo com as solicitações de cada uso. Sua utilização como elemento construtivo, de revestimento ou para ornamentação deve atender a exigências acerca de sua qualidade, que é obtida por meio de ensaios tecnológicos e análise petrográfica. A partir desses resultados é que se tem um direcionamento para a aplicação das rochas. Tais parâmetros não são traduzidos de forma clara para profissionais especificadores - arquitetos e *designers* - visto que grande parte desses profissionais não possuem conhecimentos específicos sobre as propriedades dos materiais rochosos. Logo, as rochas naturais sofrem certa desvantagem em comparação com os materiais que competem com elas no mercado, como a cerâmica, por exemplo. Esses possuem propriedades tecnológicas definidas no seu processo industrial de fabricação e são feitos de acordo com a demanda de aplicação: para pisos, paredes, bancadas, fachadas etc. Segundo dados da Abirochas (2019), o consumo de rochas ornamentais no mercado interno atingiu 70,5 milhões de m<sup>2</sup>, enquanto que os revestimentos cerâmicos atingiram, no mesmo ano, a marca de 795,7 milhões de m<sup>2</sup> (ANFACER, 2019).

O método AHP, em português, Processo de Análise Hierárquica, é uma ferramenta de apoio a tomadas de decisões complexas, desenvolvida por Thomas L. Saaty no início dos anos 70, que auxilia na determinação de prioridades e torna a decisão racional e não intuitiva, quando se trabalha com múltiplos critérios. Baseia-se em quatro etapas: estruturação hierárquica; comparação paritária dos critérios; determinação da razão de consistência e síntese das prioridades. A estruturação hierárquica é segmentada em três níveis: objetivo do problema, critérios e alternativas. Segundo Saaty (1991) apud Silva (2007), para definir os componentes de cada nível, deve-se sempre tentar responder se é possível comparar os elementos de um nível abaixo usando os elementos do próximo nível superior como critérios dos elementos do nível inferior.

## 2. Objetivos

Este trabalho objetiva utilizar o Processo de Análise Hierárquica para ponderar as propriedades tecnológicas e petrográficas das rochas ornamentais a fim de auxiliar a classificação de acordo com o uso pretendido.

## 3. Material e Métodos

Para o desenvolvimento desse trabalho utilizou-se uma ferramenta disponível na web, chamada *AHP Online System* - AHP-OS, a qual realizou todos os cálculos referentes ao método. Os ensaios utilizados neste trabalho foram Massa específica aparente (ME), Absorção d'água (AB), Desgaste Abrasivo Amsler (DE) Dilatação Térmica (DT), Compressão Uniaxial (CO), Resistência ao Impacto de Corpo Duro (IM), Resistência à Tração na Flexão (FL3) e Resistência à Flexão por carregamento em 4 pontos (FL4) e as características petrográficas foram granulação, grau de micro fissuramento, grau de alteração, estrutura, mineralogia, porcentagem de quartzo, porcentagem de feldspatos e porcentagem de calcita/dolomita.

Para determinação dos parâmetros tecnológicos para qualificação das rochas, foram utilizados os parâmetros de referência sugeridos nos documentos técnicos “As Rochas Ornamentais e de Revestimento” (CHIODI FILHO e CHIODI, 2019), “Orientações para Especificação de Rochas Ornamentais” (FRASCÁ, *et. al.*, 2019), no Guia de Aplicação de Rochas em Revestimentos - Projeto Bula (CHIODI FILHO e RODRIGUES, 2009) e as respectivas normas ABNT NBR de cada ensaio. Os ambientes de uso estabelecidos foram: pisos convencionais residenciais e públicos com e sem molhagem, paredes, fachadas convencionais, fachadas ventiladas e pias e bancadas. A metodologia do trabalho foi concebida em 4 etapas:

#### 1ª Etapa: Estruturação do problema

Visto que nem todas as rochas possuem todos os resultados de ensaio, dificultando a seleção das mesmas para cada uso, foram determinados três grupos: (1) Rochas recomendadas para o uso: possuem todos os resultados de ensaios enquadrados nos parâmetros de referência; (2) Rochas recomendadas para o uso com ressalvas: possuem, no mínimo, os ensaios mais importantes para aquele ambiente uso, segundo o método AHP; (3) Rochas com restrições ao uso: nenhum ensaio se enquadra dentro dos parâmetros de referência.

Para a hierarquização do problema analisou-se os elementos envolvidos: rochas, ambientes de uso, ensaios tecnológicos e características petrográficas e foi estabelecido que por se tratar de um grande número de rochas, tornando inviável a utilização delas como alternativas, a estruturação hierárquica consistiria somente de 2 níveis, critérios e subcritérios, e posteriormente seria realizado o processo de priorização dos mesmos. Como não é coerente realizar comparações paritárias dos ambientes de uso para o objetivo deste trabalho, não foram colocados todos em uma mesma hierarquia, realizando-se o processo de priorização dos critérios para cada ambiente de uso separadamente.

#### 2ª Etapa: Determinação dos critérios e atribuição de pesos nas matrizes de decisão/julgamento

Os critérios estabelecidos foram os ensaios tecnológicos e os subcritérios, as características petrográficas. Partiu-se então para as matrizes de julgamento, onde foram realizadas comparações par a par entre os critérios e subcritérios, atribuindo pesos baseados na Escala Fundamental proposta por Saaty (1991) apud Silva (2007) (Tabela 1), quanto à importância, a saber:

Tabela 1. Comparações do AHP. Modificado de Silva (2007).

<b>Valores</b>	<b>Julgamento</b>
1	Mesma importância
3	Importância pequena
5	Importância grande ou essencial
7	Importância muito grande ou essencial
9	Importância absoluta
2,4,6,8	valores intermediários entre os valores adjacentes

3ª Etapa: Avaliação da Razão de Consistência e Geração de uma escala hierárquica dos critérios.

Após as comparações par a par dos critérios, avaliou-se a consistência dos julgamentos das matrizes por meio da razão de consistência (RC). Segundo Alves (2015), a RC deve ser menor ou igual a 10% quando a quantidade de critérios (n) é maior que 4; menor que 9%, quando n é igual a 4; menor que 5%, para n igual a 3 e igual a zero, quando n = 2. Em alguns casos, a razão de consistência da matriz foi maior que 10%, indicando inconsistência nos julgamentos, então os pesos atribuídos foram revistos e alterados até se obter uma RC aceitável. Em seguida, a ferramenta AHP-OS gerou uma escala hierárquica dos critérios com as respectivas porcentagens de prioridade.

4ª Etapa: Classificação das rochas de acordo com o ambiente de uso

Utilizou-se um total de 199 rochas e seus respectivos resultados de ensaios, fornecidos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e disponíveis no Atlas de Rochas Ornamentais do Espírito Santo (CPRM, 2013), que foram compiladas e cadastradas em um banco de dados. Com a escala hierárquica dos ensaios tecnológicos em mãos e por meio de uma estrutura de desenvolvimento externa ao banco de dados classificaram-se as rochas nos três grupos citados anteriormente. A priorização das características petrográficas foi utilizada para uma segunda avaliação e seleção das rochas, pois a rocha pode ter se enquadrado em um grupo específico, mas analisando suas características petrográficas, constata-se que ela poderia se enquadrar em outro.

#### 4. Resultados e Discussões

A partir das comparações paritárias dos critérios e subcritérios e avaliação da razão de consistência (RC) das matrizes, que quanto mais próxima de zero for, mais forte é a consistência, obteve-se uma escala prioritária das características petrográficas para cada ensaio tecnológico, a qual foi utilizada para todos ambientes de uso, já que a correlação entre elas e os ensaios tecnológicos não muda e também uma escala de prioridade dos ensaios tecnológicos para cada ambiente de uso. A Tabela 2 reúne os ensaios tecnológicos e as respectivas porcentagens de prioridade de cada característica petrográfica e razões de consistência da matriz.

Tabela 2. Priorização das características petrográficas.

	RC (%)	Granulação	Micro fissuramento	Alteração	Estrutura	Mineralogia	% Quartzo	% Feldspato	% Calcita/Dolomita
AB	4,3	12,4%	24,7%	18,6%	4,8%	5,8%	1,9%	15,9%	15,9%
DE	7	14,3%	2,2%	9%	7,5%	16,6%	2,1%	6,5%	41,8%
DT	1,8	4,4%	23,1%	4,1%	4,7%	26,9%	27%	4,9%	5%
IM	2	30,8%	5,3%	13,7%	28,5%	5,3%	5,3%	5,3%	5,8%
CO	4,7	34,4%	4,8%	12,5%	27,2%	5,2%	5%	5%	5,2%
FL3	3	22,6%	6,1%	18,9%	32,9%	4,9%	4,9%	4,9%	4,9%
FL4	3	22,6%	6,1%	18,9%	32,9%	4,9%	4,9%	4,9%	4,9%
ME	2,3	5,2%	16%	5,4%	5,8%	48,1%	7,8%	5,8%	5,8%

RC: Razão de consistência, AB: Absorção d'água, DE: Desgaste Amsler, DT: Dilatação Térmica, IM: Resistência ao Impacto de Corpo Duro, CO: Compressão Uniaxial, FL3: Resistência à Tração na flexão, FL4: Resistência à flexão em 4 pontos, ME: Massa específica aparente.

As características intrínsecas das rochas que mais influem nos resultados estão grifadas em negrito. Para o ensaio de absorção d'água, as características somam um total de 75,1% de prioridade. Para o ensaio de desgaste abrasivo Amsler, 72,7% de prioridade. As características que mais afetam os resultados do ensaio de dilatação térmica somam 77% de prioridade. Quanto à resistência ao impacto de corpo duro, as principais características petrográficas somam 73% de prioridade. Para compressão uniaxial, somam um total de 74,1% de prioridade. Os ensaios de resistência à tração na flexão e resistência a flexão em 4 pontos possuem a mesma escala prioritária, somando 57,4% de prioridade. E a massa específica aparente da rocha depende principalmente da mineralogia, com 48,1% de prioridade e do grau de micro fissuramento, com 16% de prioridade.

A escolha dos principais ensaios tecnológicos foi feita por meio das porcentagens de prioridade, utilizando sempre as mais representativas. No caso de prioridades iguais, utilizaram-se ambos ensaios. Os principais ensaios tecnológicos para cada ambiente estão grifados em negrito no quadro abaixo (Quadro 1).

Quadro 1. Priorização dos ensaios tecnológicos para cada ambiente de uso.

Pisos residenciais internos – molhagem eventual (RC: 5,1%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>23,5</b> %	12,7%	12,4%	12,7%	<b>33%</b>	1,9%	1,9%	1,9%
Pisos residenciais internos – molhagem frequente (RC: 8,2%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>36,9</b> %	11,1%	10%	12%	<b>24,6%</b>	1,8%	1,8%	1,8%
Pisos residenciais externos (RC: 4%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>23,3</b> %	13,2%	<b>23,3%</b>	11,1%	<b>23,3%</b>	1,9%	1,9%	1,9%
Pisos ambiente público internos – molhagem eventual (RC: 6,7%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
11,4 %	<b>31%</b>	11,1%	11,3%	<b>29,7%</b>	1,9%	1,9%	1,9%
Pisos ambiente público internos – molhagem frequente (RC: 8,7%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>28,8</b> %	<b>28,8%</b>	9,4%	9,4%	<b>18,2%</b>	<b>1,8%</b>	1,8%	1,8%
Pisos ambiente público externos (RC: 7,1%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>23,9</b> %	<b>23,9%</b>	<b>23,9%</b>	8,8%	14,1%	1,8%	1,8%	1,8%
Paredes – molhagem eventual (RC: 5,8%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
12,5 %	2%	8,3%	21,8%	<b>29,4%</b>	18,9%	2,1%	5%
Paredes – molhagem frequente (RC: 9,2%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>32%</b>	1,7%	4,6%	13,9%	<b>28,9%</b>	13,4%	1,9%	3,6%
Fachadas convencionais (RC: 7,3%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>26,5</b> %	1,8%	<b>26,5%</b>	12,7%	<b>19,3%</b>	9,4%	1,9%	1,8%
Fachadas ventiladas (RC: 6,5%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>19,2</b> %	1,6%	<b>18,1%</b>	6,9%	<b>9,7%</b>	<b>21,5%</b>	<b>21,5%</b>	1,6%
Pias/lavatórios e bancadas (RC: 5,9%)							
AB	DE	DT	IM	CO	FL3	FL4	ME
<b>23%</b>	1,8%	3,7%	6,6%	11,2%	<b>25,6%</b>	<b>25,6%</b>	2,4%

Utilizando os parâmetros de referência para qualificação das rochas ornamentais e o ranking gerado pelo AHP, foi possível delimitar as rochas nos três grupos estabelecidos.

## 5. Conclusão

A utilização do método AHP como ferramenta auxiliar para classificação de rochas ornamentais se mostrou satisfatória, visto que foi possível estabelecer uma priorização entre os ensaios tecnológicos e características petrográficas e utilizar esses dados para selecionar rochas que continham todos os ensaios tecnológicos enquadrados nos parâmetros de referência e rochas com, no mínimo, os ensaios mais importantes para determinada aplicação.

Para a próxima fase desse trabalho pretende-se adicionar novos usos pretendidos, como pisos elevados, arte funerária, estatuária etc., e utilizar a presença de minerais deletérios como um novo atributo para avaliação da qualidade das rochas.

## 6. Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida (Processo 300667/2020-5), ao IPT por fornecer resultados de ensaios, ao meu co-supervisor D. Sc. Leonardo L. Lyrio da Silveira por toda orientação e ao CETEM.

## 7. Referências Bibliográficas

ABIROCHAS. 2020. Exportações/Importações Brasileiras - Balanço. Disponível em: <https://abirochas.com.br/site/balancos/>. Acesso em: 22/09/2020.

ALVES, J. R. X.; ALVES, J. M. **Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP)**. Production, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 13-26, jan./mar. 2015. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132015000100013&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132015000100013&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 25/08/2020.

ANFACER. 2020. Setor cerâmico - Números do setor. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/numeros-do-setor>. Acesso em: 22/09/2020

CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. **As rochas ornamentais e de revestimento**. Brasília: ABIROCHAS, 2019. Disponível em: [http://cms.academiadarocha.com.br/wp-content/uploads/2020/06/DT\\_Arquitetura/DTA\\_01/DTA-01.html](http://cms.academiadarocha.com.br/wp-content/uploads/2020/06/DT_Arquitetura/DTA_01/DTA-01.html). Acesso em: 25/08/2020

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos - Projeto Bula**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009.

FILHO, R. S. *et al.* **Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo**. Brasília: CPRM, 2013.

FRASCÁ, M. H. B. de O.; RODRIGUES, E. de P.; PALDÊS, R. J. A. **Orientações para especificação de rochas ornamentais**. Brasília: ABIROCHAS, 2019. Disponível em: [http://cms.academiadarocha.com.br/wp-content/uploads/2020/06/DT\\_Arquitetura/DTA\\_11/DTA-11.html](http://cms.academiadarocha.com.br/wp-content/uploads/2020/06/DT_Arquitetura/DTA_11/DTA-11.html). Acesso em: 25/08/2020

SILVA, D. M. R. **Aplicação do método AHP para a avaliação de projetos industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 128. 2007. Disponível em: [http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0511098\\_07\\_cap\\_03.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0511098_07_cap_03.pdf). Acesso em: 11/11/2019.