

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS
À ENGENHARIA E GESTÃO**

Gilberto da Silva Pereira Neto de Assis

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO
AGREGADO GRAÚDO CONVENCIONAL POR RESÍDUOS DE ROCHAS
ORNAMENTAIS BRITADOS NO CONCRETO**

Campos dos Goytacazes, RJ

2021

**INSTITUTO FEDERAÇÃO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA FLUMINENSE**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À
ENGENHARIA E GESTÃO**

Gilberto da Silva Pereira Neto de Assis

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO
CONVENCIONAL POR RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS BRITADOS, NO
CONCRETO**

Romeu e Silva Neto

(Orientador)

André Zotelle Destefani

(Coorientador)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte de requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Campos dos Goytacazes, RJ
2021

Biblioteca Anton Dakitsch
CIP - Catalogação na Publicação

dD278e

de Assis, Gilberto da Silva Pereira Neto
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO
AGREGADO GRAÚDO CONVENCIONAL POR RESÍDUOS DE
ROCHAS ORNAMENTAIS BRITADOS, NO CONCRETO / Gilberto da
Silva Pereira Neto de Assis - 2021.
88 f.: il. color.

Orientador: Romeu e Silva Neto
Coorientador: André Zotelle Destefani

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Fluminense, , Curso de , , RJ, 2021.
Referências: f. 68 a 74.

1. Concreto. 2. Resíduos. 3. Rochas Ornamentais. I. Neto, Romeu e
Silva, orient. II. Destefani, André Zotelle, coorient. III. Título.

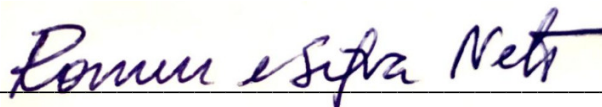
GILBERTO DA SILVA PEREIRA NETO DE ASSIS

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO
CONVENCIONAL POR RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS BRITADOS, NO
CONCRETO

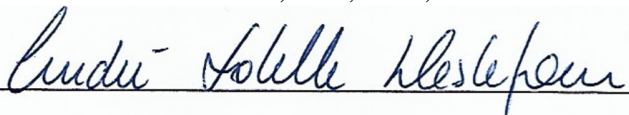
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, no Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão (MPSAEG), como parte de requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão.

Apresentado em 27 de outubro de 2021.

Banca Examinadora:



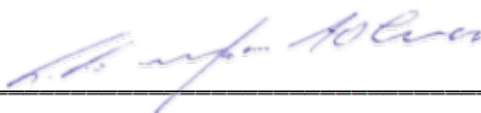
Romeu e Silva Neto, DSc, PUC, Orientador



André Zotelle Destefani, Dsc, UENF, Coorientador



Afonso Rangel Garcez de Azevedo, DSc, UENF



Tulio Marcio Aguiar Oliveira, DSc, UFRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que é o autor da vida e companheiro em todas as etapas da minha vida. Agradeço a meus pais, que sempre me incentivaram a estudar e querer ser uma pessoa melhor a cada dia. Agradeço a minha esposa Bianca Ribeiro de Assis Pereira e a meus filhos Davi de Assis Pereira Afonso e Theo de Assis Pereira Afonso que sempre me fizeram não desistir em meio às dificuldades. Agradeço a meu tio Orlando Pereira Afonso Júnior em sempre ter me encorajado a estudar cada vez mais e encarar novos desafios, sempre demonstrando acreditar em meu potencial. Agradeço ao professor Henrique Monteiro Rego da Hora pelos desafios lançados, que sempre me levaram a não desistir. Agradeço aos professores Romeu Silva e Neto e André Zotelle Destefani que não mediram esforços para me ajudar a alcançar o término do estudo. Não posso esquecer dos amigos que ganhei nessa jornada do mestrado, que sempre estavam juntos nos maiores desafios da graduação, e mesmo longe, se mostravam presentes pelas atitudes.

RESUMO

A construção civil é um segmento de grande importância por conta de sua participação positiva na economia global. Apesar de grande participação do setor construtivo na economia, suas atividades são responsáveis por grande consumo de recursos naturais e geração de resíduos. A gestão dos resíduos que são gerados em várias etapas produtivas ainda é um grande desafio para a maioria das empresas e municípios. Deste modo, o objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo que visa analisar e validar a utilização dos resíduos gerados pela indústria da Construção Civil como matéria prima, buscando atender o artigo 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) priorizando a reutilização desses resíduos. A partir disto, o primeiro artigo analisa duas alternativas de reutilização de Resíduos de Construção Civil (RCC): pavimentação primária e produção de peças de concreto não estrutural; e também a alternativa de descarte destes resíduos em aterro sanitário, aplicado a um município de pequeno porte. Esta análise foi feita a partir do método multicriterial *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Os resultados indicam a hierarquia de prioridades para o destino final de RCC sendo pavimentação primária (47%), peças de concreto não estrutural (41%) e o descarte em aterro sanitário (12%). No segundo artigo, o objetivo é analisar o comportamento estrutural do concreto experimental, que foi confeccionado com agregado graúdo obtido através da britagem do resíduo de rochas ornamentais. Esta análise foi feita pela comparação com o concreto referência, por meio de experimentos em laboratório que analisaram o comportamento das amostras de concreto observando a propriedade tecnológica de resistência à compressão, tração e trabalhabilidade. Através dos ensaios executados e resultados obtidos foi possível concluir que não houve grande diferença de comportamento entre o concreto referência e o concreto experimental. Em resumo, os agregados graúdos utilizados obtiveram uma caracterização física semelhante e utilizadas no concreto, apresentaram comportamento semelhante no que se diz a trabalhabilidade (slump test), resistência à compressão e resistência à tração se comparado ao concreto referência.

Palavras-chave: Construção Civil, Resíduos, Reutilização

ABSTRACT

Civil construction is a segment of great importance because of its positive participation in the global economy. Despite the large participation of the construction sector in the economy, its activities are responsible for large consumption of natural resources and waste generation. The management of the waste that is generated in various production stages is still a major challenge for most companies and municipalities. Thus, the general objective of this work is to conduct a study that aims to analyze and validate the use of waste generated by the construction industry as raw material, seeking to meet the Article 9 of the National Solid Waste Policy (NSWP) prioritizing the reuse of these wastes. Based on this, the first article analyzes two alternatives for the reuse of Civil Construction Waste (CCW): primary paving and production of non-structural concrete pieces; and also the alternative of disposal of this waste in landfills, applied to a small-sized municipality. This analysis was done using the multicriteria Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The results indicate the hierarchy of priorities for the final destination of CCW being primary paving (47%), non-structural concrete pieces (41%) and landfill disposal (12%). In the second article, the objective is to analyze the structural behavior of experimental concrete, which was made with coarse aggregate obtained by crushing waste dimension stone. This analysis was done by comparison with the reference concrete, through laboratory experiments that analyzed the behavior of concrete samples observing the technological properties of compressive strength, tensile strength and workability. Through the tests performed and the results obtained it was possible to conclude that there was no great difference in behavior between the reference concrete and the experimental concrete. In summary, the coarse aggregates used obtained a similar physical characterization and used in the concrete, showed similar behavior with regard to workability (slump test), compressive strength and tensile strength when compared to the reference concrete.

Keywords: Civil Construction, Waste, Reuse

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1: Estrutura hierárquica do problema proposto	23
Figura 2: Localização da cidade de São Fidélis no Estado do Rio de Janeiro	24
Figura 3: Obra de reforma no centro da cidade gerando RCC.....	25
Figura 4: Depósito de RCC	29
Figura 5: Resultado obtido através da aplicação do método AHP para a destinação final de RCC do município de São Fidélis	33

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 6: Localização de Santo Antônio de Pádua no Estado do Rio de Janeiro	43
Figura 7: Redução da rocha sã em maciços	46
Figura 8: Redução dos maciços em blocos menores	47
Figura 9: Redução dos blocos em placas.....	48
Figura 10: Depósito de resíduos na pedreira.....	48
Figura 11: Beneficiamento das placas com serra	49
Figura 12: Resultado do corte das placas com serra	49
Figura 13: Fatiamento final das placas	50
Figura 14: Depósito de resíduos na serraria.....	50
Figura 15: Classificação da forma do agregado graúdo britado para concreto	53
Figura 17: Brita experimental - resíduo de rocha ornamental britado	54
Figura 16: Brita referência - gnaisse britado.....	54
Figura 18: Classificação dos agregados segundo sua cubicidade	54
Figura 21 - Peneiramento das britas	56
Figura 22 - Amostra de resíduos britados.....	56
Figura 24: Disposição do corpo de prova.....	59
Figura 25 - Curva Granulométrica da Areia	61
Figura 26 - Curva granulométrica das britas.....	63
Figura 27 - Abatimento do tronco de cone - Concreto Referência.....	63
Figura 28 - Abatimento do tronco de cone - Concreto Experimental	63

Figura 29 - Face do corpo de prova retificado - Concreto Referência.....	64
Figura 30 - Face do corpo de prova retificado - Concreto Experimental	64
Figura 31 - Ensaio de compressão axial.....	64
Figura 32 - Gráfico Tensão x Idade Compressão	65
Figura 33 - Ensaio de tração por compressão diametral	66

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Tabela 1: Escala fundamental de Saaty.....	21
Tabela 2: Alternativas	22
Tabela 3: Critérios	22
Tabela 4: Matriz de julgamento dos critérios, onde CI é Custo de Implantação, CO é Custo de Implantação, IA é Importância Ambiental e GE é Geração de Empregos	25
Tabela 5: Custo de Implantação de cada alternativa.....	26
Tabela 6: Matriz de julgamento das alternativas à luz do critério Custo de Implantação (CI), sendo Aterro Sanitário (AS), Peças de Concreto Não Estrutural (PCNE) e Pavimentação Primária (PP).	27
Tabela 7: Custo de operação do aterro sanitário.....	27
Tabela 8: Custo de operação para peças de concreto não estrutural.....	28
Tabela 9: Custo de operação para a pavimentação primária	28
Tabela 10: Matriz de julgamento das alternativas à luz do critério custo de operação.....	29
Tabela 11: Matriz de julgamento das alternativas à luz do critério importância ambiental.	31
Tabela 12: Matriz de julgamento das alternativas à luz do critério geração de empregos.	31
Tabela 13: Matriz de cálculo do vetor da Prioridade Média Global (PMG) do método utilizado	32

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Tabela 14 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado no ensaio	60
Tabela 15 - Resultados da análise granulométrica do agregado graúdo referência.....	62
Tabela 16 - Resultados da análise granulométrica do agregado graúdo experimental	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

RS - Resíduos sólidos

CONAMA - Conselho Nacional Do Meio Ambiente

RCC - resíduos da construção civil

AHP - *Analytic Hierarchy Process*

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PML - Prioridades Médias Locais

PMG - Prioridade Média Global

CI - Custo de Implantação

CO - Custo de Operação

IA - Importância Ambiental

GE - Geração de Empregos

AS - Aterro Sanitário

PCNE - Peças de concreto não estrutural

PP - Pavimentação primária

RC - Razão de Consistência

LR - Logística Reversa

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

CAA - Concreto auto adensável

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	15
ARTIGO CIENTÍFICO 1 - DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ALTERNATIVAS A UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE	17
RESUMO	17
ABSTRACT	17
1 INTRODUÇÃO	18
2 METODOLOGIA.....	20
2.1 Breve Descrição do Método AHP.....	20
2.2 Definição das Alternativas Viáveis	22
2.3 Definição da Família de Critérios	22
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
3.1 Definição do Objeto de Estudo.....	23
3.2 Avaliação dos Critérios à Luz do Critério Foco Principal (FP).....	25
3.3 Custo de Implantação	26
3.4 Custo de Operação.....	27
3.5 Importância Ambiental.....	30
3.6 Geração de Empregos	31
3.7 Cálculo da Prioridade Média Global (PMG)	32
4 CONCLUSÃO	33
5 REFERÊNCIAS	35
ARTIGO CIENTÍFICO 2 - ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO CONVENCIONAL POR RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS BRITADOS NO CONCRETO	38
RESUMO	38

ABSTRACT	39
1 INTRODUÇÃO	39
1.1 Objetivos	42
1.1.1 Objetivos gerais.....	42
1.1.2 Objetivos específicos	43
2 REVISÃO DA LITERATURA	44
2.1 Gestão de Resíduos e seu Aproveitamento.....	44
2.2 Rochas Ornamentais e Setor Produtivo	45
2.2.1 Etapas da cadeia produtiva	46
2.3 Concreto Estrutural de Cimento Portland	50
2.4 Caracterização da Brita como Agregado Graúdo	51
2.4.1 Agregado graúdo do estudo.....	53
3 METODOLOGIA.....	55
3.1 Transformação do resíduo em brita.....	55
3.2 Ensaio de caracterização	57
3.3 Slump Test.....	57
3.4 Ensaio de Laboratório de Concreto.....	58
3.4.1 Ensaio de compressão	59
3.4.2 Determinação da resistência à tração por compressão diametral	59
4 RESULTADOS	60
4.1 Cimento.....	60
4.2 Agregado miúdo	60
4.3 Agregado graúdo	61
4.4 Slump Test.....	63
4.5 Ensaio de compressão	64

4.6	Ensaio de Tração por compressão diametral	66
5	CONCLUSÃO	67
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
APÊNDICE 1 - DETALHAMENTO DO CÁLCULO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA A DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE		75

APRESENTAÇÃO

O modelo de crescimento a qualquer custo adotado nos séculos XX e XXI não falha apenas pela falta de matérias-primas atualmente, mas também devido à incapacidade do planeta em absorver todas as emissões e resíduos gerados (JÄNICKE, 2012). Catalisar investimentos e inovações em desenvolvimento sustentável, gerando novas oportunidades econômicas, é entendido como a melhor alternativa para o crescimento verde (OECD, 2011).

Com o surgimento de novas tecnologias, aumento populacional e novos padrões de vida, aumentou-se consideravelmente a quantidade de resíduos. Para proteger a integridade humana e a manutenção dos ecossistemas, buscando também a prosperidade econômica, existe o plano de gerenciamento de resíduos sólidos (MISTRI et al., 2020).

Com a intenção de gerenciar esses resíduos sólidos foi criada em 2010 no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), definindo as responsabilidades quanto a sua geração nos setores públicos e privados. Ela prioriza as medidas a serem tomadas a respeito aos resíduos sólidos em não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada e sem danos ao meio ambiente dos resíduos gerados (MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018).

Em 2017, aproximadamente 38% de todo resíduo urbano gerado no Brasil originaram da construção civil, correspondendo a mais de 45 milhões de toneladas (ABRELPE, 2017). O Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA) define os resíduos da construção civil (RCC) como os oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras, em conjunto com os resultantes da preparação e escavação de terrenos.

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo que visa analisar e validar a utilização dos resíduos gerados pela indústria da Construção Civil como matéria prima, buscando atender o artigo 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) priorizando a reutilização desses resíduos.

A partir disto, o primeiro artigo analisa duas alternativas de reutilização de Resíduos de Construção Civil: pavimentação primária e produção de peças de concreto não estrutural; e também a alternativa de descarte destes resíduos em aterro sanitário, aplicado a um município de pequeno porte. Esta análise foi feita a partir do método multicriterial AHP. Os resultados indicam a hierarquia de prioridades para o destino final de RCC sendo pavimentação primária,

peças de concreto não estrutural e o descarte em aterro sanitário. Este artigo apresenta-se como um instrumento para auxílio do gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil aplicado a um pequeno município, apoiada por uma análise multicriterial, além de servir de base para estudos futuros em outros municípios.

No segundo artigo, o objetivo é analisar o comportamento estrutural do concreto experimental, que foi confeccionado com agregado graúdo obtido através da britagem do resíduo de rochas ornamentais. Esta análise foi feita pela comparação com o concreto referência, por meio de experimentos em laboratório que analisaram o comportamento das amostras de concreto observando a propriedade tecnológica de resistência à compressão, tração e trabalhabilidade. Através dos ensaios executados e resultados obtidos foi possível concluir que não houve grande diferença de comportamento entre o concreto referência e o concreto experimental. Em resumo, os agregados graúdos utilizados obtiveram uma caracterização física semelhante e utilizadas no concreto, apresentaram comportamento semelhante no que se diz a trabalhabilidade (slump test), resistência à compressão e resistência à tração se comparado ao concreto referência.

ARTIGO CIENTÍFICO 1 - DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO: ALTERNATIVAS A UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE

Artigo submetido e apresentado no Congresso Nacional de Excelência em Gestão (CNEG)

Gilberto da Silva Pereira Neto de Assis, Lays de Matos Azevedo, Vilcson A. de Siqueira,
Milton Erthal Júnior, Henrique Rego Monteiro da Hora

RESUMO

No Brasil, cerca de 38% dos resíduos urbanos são provenientes do setor de construção civil. Visando reduzir os impactos dos resíduos sólidos (RS) no ambiente brasileiro, surgiram leis e normas que regulamentam e orientam os setores públicos e privados na gestão destes materiais, como a Resolução 307 do Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA), que aborda os resíduos da construção civil (RCC). A partir disto, este artigo analisa duas alternativas de reutilização de RCC: pavimentação primária e produção de peças de concreto não estrutural; e também a alternativa de descarte destes resíduos em aterro sanitário, aplicado a um município de pequeno porte. Esta análise foi feita a partir do método multicriterial *Analytic Hierarchy Process* (AHP). A pesquisa foi elaborada com dados coletados no município de São Fidélis - RJ, cuja população é de aproximadamente 40 mil habitantes e gera entorno de 250 toneladas de entulho (RCC) por semana. Consultaram-se especialistas locais para avaliação dos critérios custo de implantação, custo de operação, importância ambiental e geração de empregos. Os resultados indicam a hierarquia de prioridades para o destino final de RCC sendo pavimentação primária, peças de concreto não estrutural e o descarte em aterro sanitário. Este artigo apresenta-se como um instrumento para auxílio do gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil aplicado a um pequeno município, apoiada por uma análise multicriterial, além de servir de base para estudos futuros em outros municípios.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos, Multicritério AHP, Engenharia Civil, Reaproveitamento

ABSTRACT

In Brazil, about 38% of urban waste comes from the construction sector. In order to reduce the impacts of solid waste on the Brazilian environment, laws and regulations have emerged that

regulate and guide the public and private sectors in the management of these materials, such as Resolution 307 of the National Environmental Council (CONAMA) about solid waste from civil construction. Thus, this article analyzes alternatives of reutilization of construction waste: primary paving and production of non-structural concrete pieces or disposal of these residues in a landfill, applied to a small city. This analysis was done from the AHP multicriteria decision maker method. The research was done with data collected in the city of São Fidélis - RJ, whose population is approximately 39 thousand inhabitants and generate around 250 tons of debris per week. Local experts were consulted to evaluate the criteria of implantation cost, cost of operation, environmental importance and jobs creation. The results indicate the hierarchy of priorities for the final destination of construction solid waste being primary paving, non-structural concrete pieces and landfill disposal. This article is presented as an instrument to assist municipal solid waste management, supported by a multicriteria analysis, and serves as a basis for future studies in different cities.

Keywords: Solid Waste, AHP Method, Civil Engineering, Reuse.

1 INTRODUÇÃO

O modelo de crescimento a qualquer custo adotado nos séculos XX e XXI não falha apenas pela falta de matérias-primas atualmente, mas também devido à incapacidade do planeta em absorver todas as emissões e resíduos gerados (JÄNICKE, 2012). Catalisar investimentos e inovações em desenvolvimento sustentável, gerando novas oportunidades econômicas, é entendido como a melhor alternativa para o crescimento verde (OECD, 2011).

A quantidade de resíduos gerados se amplifica de acordo com o aumento populacional, novos padrões de vida, surgimento de novas tecnologias e avanços industriais (OJHA; GOYAL; KUMAR, 2007). O gerenciamento de resíduos sólidos, por sua vez, tem papel fundamental tanto para proteger a integridade humana e dos ecossistemas, quanto para prosperidade econômica (MORGAN, 2004).

No Brasil, estabeleceu-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, com as diretrizes para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos e às responsabilidades quanto a sua geração nas esferas públicas e privadas. Em seu artigo 9º orienta-se que a prioridade das medidas tomadas considere a não geração, em seguida, a redução, reutilização,

reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e, por último, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Em 2017, aproximadamente 38% de todo resíduo urbano gerado no Brasil originaram da construção civil, correspondendo a mais de 45 milhões de toneladas (ABRELPE, 2017). O Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA) define os resíduos da construção civil (RCC) como os oriundos de construções, reformas, reparos e demolições de obras, em conjunto com os resultantes da preparação e escavação de terrenos. A classificação desses resíduos pode ser (BRASIL, 2002):

- a) Classe A: são resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados provenientes da construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação ou de edificações. Também oriundos do processo de fabricação e/ou demolição de peças de concreto pré-moldadas produzidas em canteiro de obras;
- b) Classe B: considerados resíduos reciclados para outras destinações, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens e gesso;
- c) Classe C: resíduos que ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.

Na Malásia, observou-se a eficácia da gestão destes resíduos, com o objetivo de determinar os pontos de geração dos mesmos, e sugeriram-se melhorias para este modelo, ressaltando a importância da prática do gerenciamento dos RCC (JAMALUDIN et al., 2017).

No Canadá, os RCC representam cerca de 30% de todos os resíduos depositados em aterros sanitários. A partir disto, foi feita uma análise multicriterial de como os termos legais locais têm influenciado na geração de RCC, a fim de recomendar alterações nos modelos canadenses de documento de contrato padrão da construção civil, e assim minimizar o retrabalho e o conseqüente desperdício em projetos desse segmento (MENDIS; HEWAGE; WRZESNIEWSKI, 2015).

A análise multicriterial também foi utilizada, através da integração de diferentes métodos, para selecionar uma localização adequada para um aterro sanitário e um padrão de alocação do fluxo dos resíduos sólidos, a fim de minimizar o custo total do sistema (CHENG; CHAN; HUANG, 2003).

Também foi realizada uma análise visando selecionar áreas para implantação de uma usina de reciclagem de RCC em Viçosa, Minas Gerais, utilizando técnicas de sistemas de informações geográficas que possibilitaram avaliar as alternativas por meio da aplicação da análise multicriterial. Foram selecionadas quatro áreas consideradas mais adequadas para tal implantação, devido ao fácil acesso, baixos valores imobiliários, ausência de edificações ou uso futuro pré-definido (BOHNENBERGER et al., 2018).

Estudos como (GONÇALVES; RANDOW; NASCIMENTO, 2017; LINTZ et al., 2012; TSENG, 2009) apresentaram algumas alternativas para reutilização dos RCC. Destaca-se o estudo de SILGADO et al. (2018), onde os autores fizeram uma análise da performance econômica e ambiental da produção de cimento de gesso reciclado e concreto produzido de resíduos reciclados, comparando com a produção de concreto convencional através da aplicação de uma análise multicriterial.

Contudo, ainda é necessário aprimorar o gerenciamento de RCC, visando crescimento econômico e sustentabilidade. Desta forma, este artigo tem como objetivo analisar alternativas para a destinação final de resíduos da construção civil de Classe A, em um município de pequeno porte, através da aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como auxílio à tomada de decisão.

2 METODOLOGIA

Para a elaboração deste artigo, foi necessário realizar primeiramente uma pesquisa bibliográfica para fundamentação teórica e entender a legislação vigente para que esta seja cumprida. A partir de então, para a utilização do método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP), fez-se necessário uma breve descrição do mesmo e a definição das alternativas e dos critérios utilizados no modelo proposto.

2.1 Breve Descrição do Método AHP

Considerado um dos mais conhecidos e utilizados métodos de análise multicriterial, o AHP tem por objetivo a escolha de alternativas em um processo que tenha em consideração diferentes critérios de avaliação (COSTA, 2006). Neste método, o problema em estudo é estruturado em níveis hierárquicos. No primeiro nível da estrutura, encontra-se o foco principal

do modelo e os seguintes níveis correspondem aos critérios e subcritérios. No último nível, destacam-se as alternativas que serão julgadas a partir de cada critério. Esta decomposição em hierarquias facilita a compreensão, pois cada critério pode ser analisado independentemente, reduzindo o erro potencial (WU et al., 2012).

Neste método, é necessária a definição do decisor, que representa a unidade responsável pela tomada de decisão, e dos analistas, que auxiliam à tomada de decisão na estruturação e no julgamento dos fatores que influenciam o problema (COSTA, 2006).

Para o julgamento de critérios e alternativas, o avaliador compara paritariamente os elementos de um nível hierárquico à luz de cada um dos elementos em conexão em uma camada superior da hierarquia e, logo após, são comparados à importância dos critérios à luz do foco principal (COSTA; CORREIA; SOUZA, 2010). O Quadro 1 apresenta a escala fundamental de julgamentos de Saaty (SAATY, 2008).

Tabela 1: Escala fundamental de Saaty

Escala	Avaliação	Recíproco	Comentário
Igualmente preferido	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos
Moderadamente preferido	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro
Fortemente preferido	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro
Muito fortemente preferido	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado
Extremamente preferido	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza
Valores intermediários	2, 4, 6 e 8	1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Quando o consenso não for obtido e houver necessidade de uma negociação

Fonte: Adaptado de Saaty (2008)

A partir disso, o método AHP estabelece os vetores das Prioridades Médias Locais (PML), que identificam a importância em cada um dos nós de julgamentos, e o vetor da Prioridade Média Global (PMG), que evidencia a prioridade relacionada a cada alternativa em relação ao foco principal (COSTA, 2006).

O presente artigo não se preocupa com uma descrição detalhada do método AHP, que foi utilizado como apenas como um dispositivo metodológico. Mais detalhes sobre o método e da sua modelagem matemática pode ser encontrado em Costa (2006) e Saaty (2008).

2.2 Definição das Alternativas Viáveis

Levando em consideração as possíveis demandas de um município de pequeno porte, foram determinadas três alternativas. O tipo de decisão foi priorização, onde as alternativas foram avaliadas a partir de critérios, sendo elas ordenadas da mais para a menos adequada. As alternativas analisadas foram apresentadas pela Tabela 2.

Tabela 2: Alternativas

Alternativa	Descrição
Descarte de RCC em aterro sanitário	Todo RCC do município deve ser diretamente descartado no aterro sanitário mais próximo.
Reuso de RCC em na fabricação de peças de concreto não estrutural	Realizar a reciclagem dos resíduos para que possam ser destinados a fabricação de tais peças.
Reuso de RCC para execução de pavimento primário em estradas vicinais	Também é necessário submeter os resíduos a um processo de reciclagem para, posteriormente, serem aplicados na pavimentação de estradas vicinais.

Fonte: Autores.

2.3 Definição da Família de Critérios

Os critérios foram definidos a partir da necessidade da análise de aspectos financeiros, ambientais e sociais. A Tabela 3 apresenta os critérios, suas descrições e a forma de aquisição de dados de cada um deles.

Tabela 3: Critérios

Critério	Código	Descrição	Forma de Aquisição de Dados
Custo de Implantação	CI	Detalhamento de todos os equipamentos necessários para implantação de cada alternativa.	Estimado a partir de dados disponibilizado pela prefeitura.
Custo de Operação	CO	Além do detalhamento dos equipamentos, também foi necessário	Também estimado a partir de dados da prefeitura.

		apresentar os procedimentos e insumos para a execução de cada alternativa.	
Importância Ambiental	IA	Análise do potencial poluidor de cada alternativa.	Questionário aplicado aos membros da secretaria de meio ambiente do município, onde foi avaliado o potencial poluidor de cada alternativa.
Geração de Empregos	GE	Análise da mão de obra necessária para realização de cada alternativa.	Quantificado a partir dos dados fornecidos pela prefeitura.

Fonte: Autores.

Para o julgamento dos critérios à luz do foco principal, foi aplicado um questionário aos membros do corpo técnico de engenharia civil e ambiental do município, e posteriormente, analisado a partir da escala fundamental de Saaty.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo proposto nesta pesquisa foi composto pelo foco principal, quatro critérios e três alternativas, como observado na Figura 1.

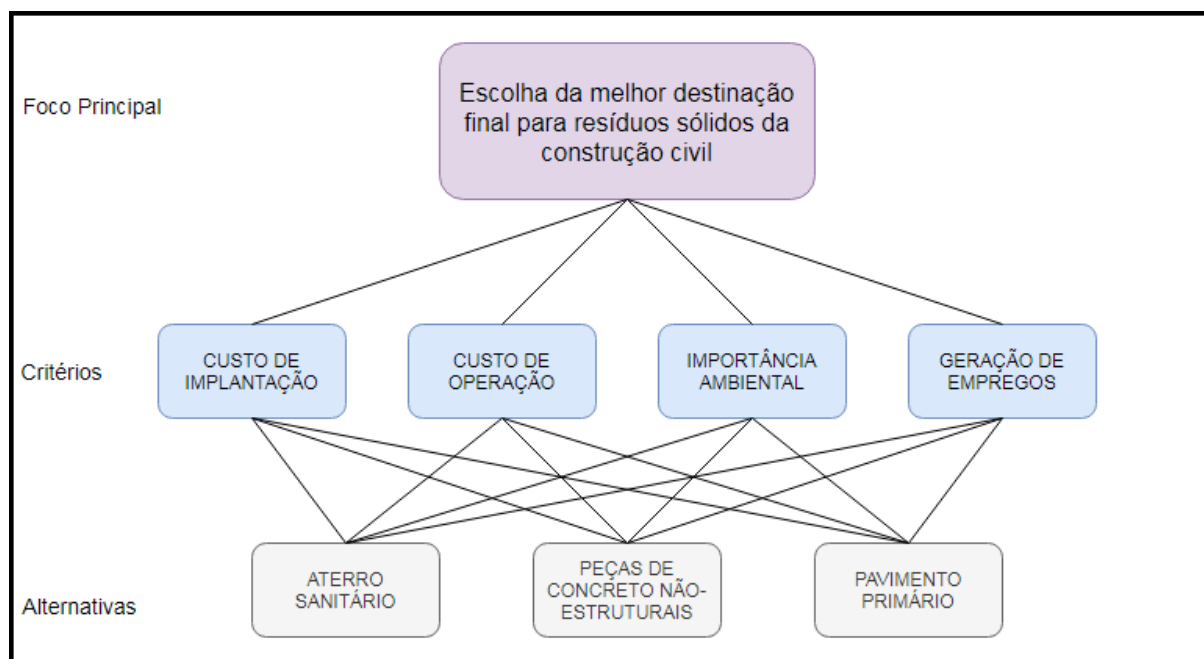


Figura 1: Estrutura hierárquica do problema proposto

Fonte: Autores

3.1 Definição do Objeto de Estudo

O modelo apresentado foi aplicado no município de São Fidélis, localizado ao norte do estado do Rio de Janeiro, com uma população estimada de 38626 pessoas (IBGE, 2018). Seu

território é abrangido pelo Parque Estadual Desengano. A sua economia é baseada na agropecuária, principalmente cultivo de cana-de-açúcar, gado de corte e pecuária leiteira (BRASIL, 2017).

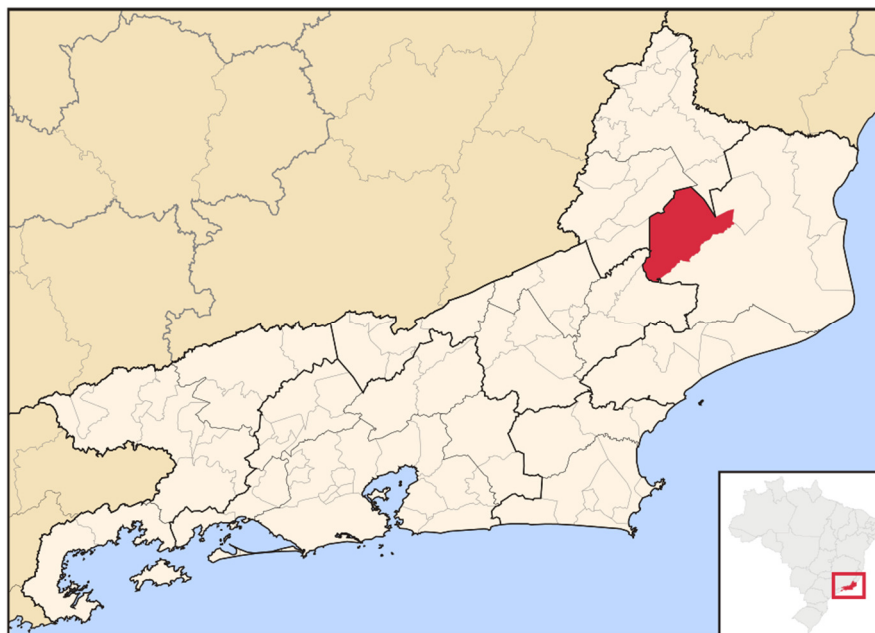


Figura 2: Localização da cidade de São Fidélis no Estado do Rio de Janeiro
Fonte: Abreu (2006)

Atualmente, o município coleta cerca de 250 toneladas de entulhos de obras por semana, que é gerado por obras privadas e por uma obra pública de revitalização do Centro da cidade, onde os passeios estão sendo reformados de forma a cumprir a acessibilidade.



Figura 3: Obra de reforma no centro da cidade gerando RCC.

Fonte: Autores

O decisor responsável pela tomada de decisão é o prefeito da cidade. Já os analistas são especialistas qualificados, participantes da estrutura pública municipal e que atuam na área de projetos de engenharia do local, sendo eles, três engenheiros civis, dois arquitetos, um engenheiro ambiental e um técnico ambiental.

3.2 Avaliação dos Critérios à Luz do Critério Foco Principal (FP)

A Tabela 4 representa a matriz de julgamento dos critérios, definida a partir dos analistas e da escala fundamental de Saaty.

Tabela 4: Matriz de julgamento dos critérios, onde CI é Custo de Implantação, CO é Custo de Implantação, IA é Importância Ambiental e GE é Geração de Empregos

CRITÉRIOS					
	CI	CO	IA	GE	PML
CI	1	1/3	1/3	1/3	0,063
CO	3	1	1/5	1	0,15
IA	7	5	1	5	0,63
GE	3	1	1/5	1	0,15
Razão de Consistência = 0,027					

Fonte: Autores.

O vetor das Prioridades Médias Locais (PML) quantifica a importância de um critério sobre o outro. Sendo assim, o critério Importância Ambiental (IA) foi considerado o mais

importante, e o critério Custo de Implantação (CI) foi o menos relevante. A Razão de Consistência (RC) encontrada foi de 0,027 ($RC < 0,1$), mostrando que há coerência no julgamento dos valores de pesos (COSTA, 2006).

Observa-se que, segundo os especialistas consultados, o critério importância ambiental foi apontado como o mais relevante neste estudo, e o custo de implantação foi considerado de menor importância. Isto pode mostrar que os gestores do município apresentam a percepção dos impactos ambientais ocasionados pelos RCC e a importância da melhor destinação final destes resíduos.

3.3 Custo de Implantação

Considerando que todas alternativas têm em comum a necessidade da coleta dos RCC no município e que a prefeitura dispõe de local para implantação de estação de transbordo ou usina de reciclagem, esses custos foram ignorados. Para todas as alternativas, foi prevista a necessidade da compra de uma retroescavadeira, para atender à operação de cada uma. Para utilização dos RCC na confecção de peças de concreto não estrutural ou na confecção de pavimento primário em estradas vicinais faz-se necessário sua reciclagem, para tal, precisa-se realizar a aquisição de um britador móvel. Além disso, para confeccionar peças de concreto é necessário comprar fôrmas específicas. Sendo assim, tem-se a Tabela 5, apresentando o custo de implantação de cada alternativa.

Tabela 5: Custo de Implantação de cada alternativa

Custo de Implantação:	Aterro Sanitário	Peças de Concreto	Pavimento Primário
Retroescavadeira (SINAPI)	R\$ 222.000,00	R\$ 222.000,00	R\$ 222.000,00
Britador (Orçamento)	-	R\$ 50.000,00	R\$ 50.000,00
10 Fôrmas (Orçamento)	-	R\$ 3.500,00	-
Total	R\$ 222.000,00	R\$ 275.500,00	R\$ 272.000,00

Fonte: Autores.

A partir desses custos, os valores para implantação das alternativas foram analisados a partir da escala fundamental de Saaty e chegou-se a matriz de julgamento indicada pela Tabela 6.

Tabela 6: Matriz de julgamento das alternativas à luz do critério Custo de Implantação (CI), sendo Aterro Sanitário (AS), Peças de Concreto Não Estrutural (PCNE) e Pavimentação Primária (PP).

ALTERNATIVAS À LUZ DE CI				
CI	AS	PCNE	PP	PML_{CI}
AS	1	3	3	0,59
PCNE	1/3	1	1/2	0,16
PP	1/3	2	1	0,25
Razão de Consistência = 0,046				

Fonte: Autores.

Pode-se destacar que a Prioridade Média Local das alternativas à luz do critério custo de implantação foi $PML_{CI} = (0,59; 0,16; 0,25)$ para uma RC de 0,046.

3.4 Custo de Operação

Para destinar os RCC para o aterro sanitário, é necessário coletar os mesmos e descarrega-los em um depósito temporário. Logo após, coloca-los em carretas com a ajuda de uma retroescavadeira e depois transporta-los para o aterro sanitário mais próximo, que se encontra no distrito de Conselheiro Josino, no município de Campos dos Goytacazes. No cálculo do custo, foram considerados os valores: 220 horas de operação no depósito temporário, 80km de distância de São Fidélis até o aterro sanitário e R\$205,00 a taxa de recebimento de uma tonelada de RCC. Os valores foram indicados pela Tabela 7.

Tabela 7: Custo de operação do aterro sanitário.

Custo de Operação: Aterro sanitário	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Manutenção da retroescavadeira (SINAPI)	h	220	R\$ 14,32	R\$ 3.150,40
Óleo diesel para a retroescavadeira (SINAPI)	h	220	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Operador de máquinas (SINAPI)	h	220	R\$ 25,35	R\$ 5.577,00
Servente (SINAPI)	h	220	R\$ 19,32	R\$ 4.250,40
Transporte do entulho - São Fidélis x Conselheiro Josino = 80km; 672m ³ (SINAPI)	m ³ x km	53760	R\$ 1,10	R\$ 59.136,00
Descarte do RCC no aterro (R\$205,00/t) (Orçamento)	t	1000	R\$ 205,00	R\$ 205.000,00
			TOTAL	R\$ 286.048,00

Fonte: Autores.

Para a reciclagem dos RCC e utilização em confecção de peças de concreto não estrutural, é necessário que estes sejam britados em granulometria indicada para confecção das peças. Foram consideradas 220h mensais de operação, 3 serventes e 3.111 sacos de cimento. Os valores foram indicados pela Tabela 8.

Tabela 8: Custo de operação para peças de concreto não estrutural.

Custo de Operação: Peças de concreto	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Manutenção da retroescavadeira (SINAPI)	h	220,00	R\$ 14,32	R\$ 3.150,40
Óleo diesel para a retroescavadeira (SINAPI)	h	220,00	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Operador de máquinas (SINAPI)	h	220,00	R\$ 25,35	R\$ 5.577,00
Óleo diesel para o britador (Orçamento)	h	220,00	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Servente (SINAPI)	h	660,00	R\$ 19,32	R\$ 12.751,20
Cimento (Orçamento)	saco	3111,00	R\$ 18,00	R\$ 55.998,00
			TOTAL	R\$ 95.345,00

Fonte: Autores.

O mesmo procedimento de reciclagem deve ser aplicado para utiliza-los na execução da pavimentação primária das estradas vicinais do município. Sendo assim, foram consideradas 220h mensais de operação e 3 serventes. Os valores foram indicados pela Tabela 6.

Tabela 9: Custo de operação para a pavimentação primária

Custo de Operação: Pavimentação	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Manutenção da retroescavadeira (SINAPI)	h	220,00	R\$ 14,32	R\$ 3.150,40
Óleo diesel para a retroescavadeira (SINAPI)	h	220,00	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Operador de máquinas (SINAPI)	h	220,00	R\$ 25,35	R\$ 5.577,00
Óleo diesel para o britador (Orçamento)	h	220,00	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Servente (SINAPI)	h	660,00	R\$ 19,32	R\$ 12.751,20
			TOTAL	R\$ 39.347,00

Fonte: Autores.

Para todas as alternativas foi considerada a geração de 672m³ de RCC mensais no município, totalizando 1000 toneladas de RCC por mês.



Figura 4: Depósito de RCC
Fonte: Autores

A partir desses custos, tem-se a matriz representada pela Tabela 10, onde é apresentado o julgamento de valor de cada alternativa à luz do custo de operação.

Tabela 10: Matriz de julgamento das alternativas à luz do critério custo de operação.

ALTERNATIVAS À LUZ DE CO				
CO	AS	PCNE	PP	PML_{CO}
AS	1	1/5	1/7	0,073
PCNE	5	1	1/3	0,28
PP	7	3	1	0,64
Razão de Consistência = 0,056				

Fonte: Autores.

A Prioridade Média Local das alternativas à luz do custo de operação foi $PML_{CO} = (0,073; 0,28; 0,64)$, com uma razão de consistência de 0,056.

Do ponto de vista financeiro, foram determinados os critérios custo de implantação e custo de operação. Analisando os resultados obtidos para cada alternativa nestes quesitos, pode-se observar que apesar de apresentar um menor custo de implantação, o aterro sanitário apresenta um custo elevado de operação. Isto ocorreu devido ao fato de o município ter que

deslocar todo RCC para o aterro sanitário do município vizinho, aumentando o custo do processo.

Isto foi evidenciado pelo estudo aplicado à região metropolitana de Valencia, na Espanha. A distância para o aterro sanitário foi o critério com maior peso determinado pelo método AHP aplicado e concluiu-se que quanto mais próximo ao aterro sanitário, menor o custo do processo (ARAGONÉS-BELTRÁN et al., 2010).

O município também não possui equipamentos para reciclagem de RCC, o que elevou custo de implantação das alternativas peças de concreto não estrutural e pavimentação primária. Porém, o custo de operação destas alternativas foi relativamente mais baixo quando comparado ao custo de operação do aterro sanitário. Isto fez com que estas alternativas apresentassem prioridade no método aplicado ao analisar o fator financeiro, destacando a pavimentação primária que obteve a maior prioridade à luz do custo de operação.

Este cenário do ponto de vista econômico para o município de São Fidélis foi diferente do observado por um estudo na Alemanha, onde os custos totais da reciclagem de RCC foram elevados devido às etapas de processamento da mesma (HIETE et al., 2011).

3.5 Importância Ambiental

Após a análise do questionário aplicado ao técnico e ao engenheiro ambiental, foi possível a elaboração da matriz de julgamento das alternativas à luz do critério importância ambiental, representada pela Tabela 11.

Tabela 11: Matriz de julgamento das alternativas à luz do critério importância ambiental.

ALTERNATIVAS À LUZ DE IA				
IA	AS	PCNE	PP	PML_{IA}
AS	1	1/7	1/7	0,067
PCNE	7	1	1	0,47
PP	7	1	1	0,47

Razão de Consistência = 0

Fonte: Autores.

O vetor da Prioridade Média Local à luz do critério importância ambiental foi $PML_{IA} = (0,067; 0,47; 0,47)$, para uma razão de consistência = 0.

3.6 Geração de Empregos

Após a aquisição de dados da prefeitura, chegou-se ao valor de geração de dois empregos na destinação dos RCC no aterro sanitário, quatro empregos na reutilização dos RCC para confecção de peças de concreto não estrutural e quatro empregos na reutilização dos RCC para execução de pavimento primário em estradas vicinais. A Tabela 12 indica a matriz de julgamento das alternativas à luz do critério geração de empregos.

Tabela 12: Matriz de julgamento das alternativas à luz do critério geração de empregos.

ALTERNATIVAS À LUZ DE GE				
GE	AS	PCNE	PP	PML_{GE}
AS	1	1/2	1/2	0,2
PCNE	2	1	1	0,4
PP	2	1	1	0,4

Razão de Consistência = 0

Fonte: Autores.

Destaca-se então, o vetor da Prioridade Média Local à luz do critério geração de empregos $PML_{GE} = (0,20; 0,40; 0,40)$, para uma razão de consistência de 0.

Quando analisados os critérios relacionados aos fatores ambientais e sociais que foram a importância ambiental e a geração de empregos na região, respectivamente, as alternativas

peças de concreto não estruturais e pavimentação primária obtiveram a mesma classificação pelo método utilizado.

Além de relevância ambiental e social, a reciclagem de RCC vem sendo explorada no âmbito acadêmico. Um exemplo disso é apresentado no estudo que analisou a viabilidade técnica dos blocos de concreto produzidos a partir da reciclagem destes resíduos (LINTZ et al., 2012). Também foi aplicado numa análise de desempenho econômico e ambiental da produção de concreto utilizando cimento de gesso reciclado e outros agregados reciclados, obtendo uma redução do custo da produção e um menor impacto ambiental (SILGADO et al., 2018).

3.7 Cálculo da Prioridade Média Global (PMG)

Por fim, foi necessário calcular o vetor de Prioridades Médias Globais (PMG). A Tabela 13 indica a matriz aplicada para o cálculo do vetor de PMG para o método utilizado na pesquisa.

Tabela 13: Matriz de cálculo do vetor da Prioridade Média Global (PMG) do método utilizado

MATRIZ DO VETOR DE PG					
	CI	CO	IA	GE	PMG
Vetor dos Critérios	0,064	0,15	0,63	0,15	
AS	0,59	0,074	0,067	0,20	0,12
PCNE	0,16	0,28	0,47	0,40	0,41
PP	0,25	0,64	0,47	0,40	0,47

Fonte: Autores.

A Figura 3 indica o gráfico que representa o resultado obtido através da aplicação do método para determinar a destinação final dos RCC para o município de São Fidélis. Pode-se observar que a alternativa pavimentação primária obteve 47% da prioridade global, seguida pela alternativa de peças de concreto não estrutural com 41% e, por fim, aterro sanitário com 12%.

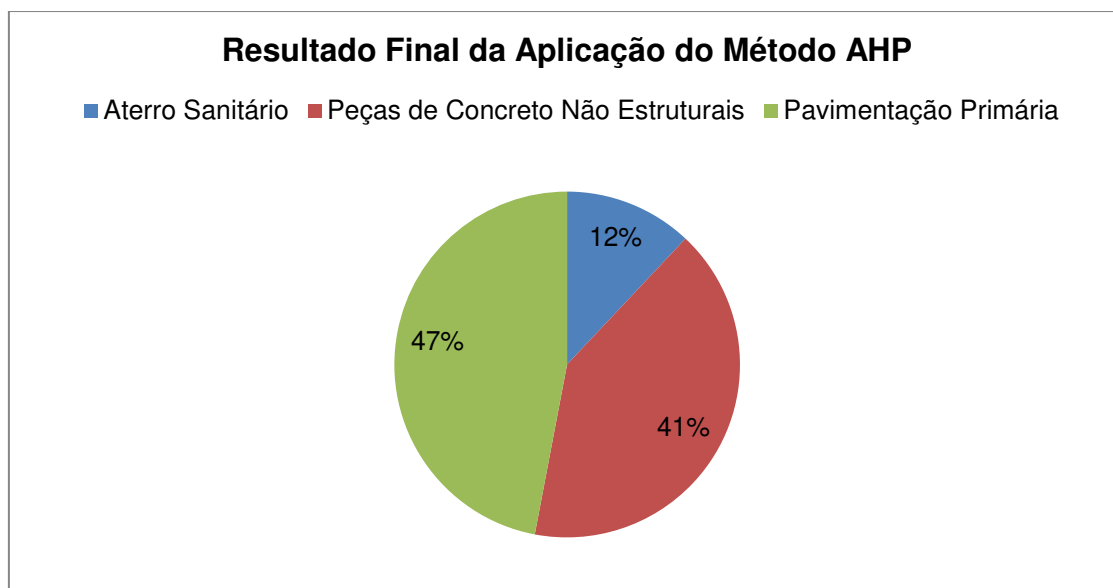


Figura 5: Resultado obtido através da aplicação do método AHP para a destinação final de RCC do município de São Fidélis
Fonte: Autores

O método multicritério aplicado à destinação final de RCC do município de São Fidélis apresentou como alternativa mais adequada a reutilização destes resíduos na pavimentação primária das estradas vicinais do mesmo. Este resultado difere do estudo apresentado por Gonçalves, Randow e Nascimento (2017), onde a melhor alternativa avaliada foi a reutilização direta dos resíduos, apresentando uma prioridade de 50,6%, seguida pela alternativa de reciclagem (25,3%). Mesmo assim, os autores destacaram a importância da reciclagem, por apresentar vantagens financeiras e por servir como indicador para a sustentabilidade local.

4 CONCLUSÃO

O objetivo deste artigo foi alcançado através da aplicação do método multicriterial AHP, que determinou a mais adequada alternativa para destinação final para os resíduos sólidos provenientes da construção civil no município de São Fidélis. Os critérios propostos foram analisados e quantificados por meio de um questionário aplicado a especialistas e gestores do município. As alternativas foram avaliadas de acordo com cada critério através da aplicação do método utilizado.

Os resultados obtidos apontaram que a alternativa pavimentação primária deve ter prioridade (47%) na escolha da destinação final de RCC do município, seguida por peças de concreto não estrutural (41%) e, por fim, o descarte em aterro sanitário (12%).

Este artigo pode ser uma importante ferramenta para o gerenciamento de resíduos sólidos do município, pois apresenta uma análise multicriterial primária para apoio à tomada de decisão. Além disso, pode servir como base para estudos relacionados à destinação de RCC em outros municípios de pequeno porte.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação de um diferente método multicriterial a fim de se fazer um maior detalhamento do modelo. Também se sugere analisar a destinação de RCC em municípios de diferentes portes, a fim de comparar os cenários apresentados em cada um deles.

5 REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 29 maio. 2019

ABREU, R. L. DE. **Map locator of Rio de Janeiro's Santo Antônio de Pádua city**, 5 jun. 2006. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RiodeJaneiro_Municip_SantoAntoniodePadua.svg>. Acesso em: 4 out. 2021

ALMADA, B. S. et al. Influence of the heterogeneity of waste from wet processing of ornamental stones on the performance of Portland cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120036, 2020.

ARAGONÉS-BELTRÁN, P. et al. An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 5, p. 1071–1086, maio 2010.

BEJA, I. A.; MOTTA, R.; BERNUCCI, L. B. Application of recycled aggregates from construction and demolition waste with Portland cement and hydrated lime as pavement subbase in Brazil. **Construction and Building Materials**, v. 258, p. 119520, 2020.

BOHNENBERGER, J. C. et al. Identification of areas for the deployment of a construction and demolition waste recycling plant using multicriteria. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 299–311, mar. 2018.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei nº 12305, de 02/08/2010**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 29 maio. 2019.

BRASIL, M. DO M. A. **Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303>>. Acesso em: 29 maio. 2019.

CHENG, S.; CHAN, C. W.; HUANG, G. H. An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 16, n. 5–6, p. 543–554, ago. 2003.

COSTA, H. G. **Auxílio Multicritério à Decisão: Método AHP**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006.

COSTA, J. F. DA S.; CORREIA, M. G.; SOUZA, L. T. T. **AUXÍLIO À DECISÃO UTILIZANDO O MÉTODO AHP - ANÁLISE COMPETITIVA DOS SOFTWARES ESTATÍSTICOS**. . In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Carlos, São Paulo: 2010.

GONÇALVES, W.; RANDOW, R. R.; NASCIMENTO, F. Localização de instalações para destinação de resíduos sólidos da construção civil por meio da logística reversa e de um método multicritério. v. 38, p. 13, 2017.

HIETE, M. et al. Matching construction and demolition waste supply to recycling demand: a regional management chain model. **Building Research & Information**, v. 39, n. 4, p. 333–351, ago. 2011.

JAMALUDIN, A. H. et al. **Preliminary study on enhancing waste management best practice model in Malaysia construction industry.** . In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED PHYSICS AND ENGINEERING (ICAPE2016): PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED PHYSICS AND ENGINEERING. Penang, Malaysia: 2017. Disponível em: <<http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4998379>>. Acesso em: 14 maio. 2019

JÄNICKE, M. “Green growth”: From a growing eco-industry to economic sustainability. **Energy Policy**, v. 48, p. 13–21, set. 2012.

KAM, T.; KAO, T.; LU, Y. Political dynamics, public goods and private spillovers. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 177, p. 237–254, 2020.

KROZER, Y. **Economics of Sustainable Technologies: Private and Public Costs and Benefits.** [s.l.] Elsevier, 2017. v. 1

LINTZ, R. C. C. et al. Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 166–181, abr. 2012.

LIU, J.; ZENG, Q.; XU, S. The state-of-art in characterizing the micro/nano-structure and mechanical properties of cement-based materials via scratch test. **Construction and Building Materials**, v. 254, p. 119255, 2020.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. D. P.; VALLE, T. F. Implementation of the Brazilian national policy for waste management. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 1, p. 24–51, 2018.

MARTÍNEZ-LAGE, I. et al. Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 171–176, 2012.

MENDIS, D.; HEWAGE, K. N.; WRZESNIEWSKI, J. Contractual obligations analysis for construction waste management in Canada. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 21, n. 7, p. 866–880, 10 jul. 2015.

MISTRI, A. et al. A review on different treatment methods for enhancing the properties of recycled aggregates for sustainable construction materials. **Construction and Building Materials**, v. 233, p. 117894, 2020.

MITTRI, S. H. M. et al. Utilisation of heat-treated ornamental stone processing waste as an addition to concretes to improve compressive strength and reduce chloride ion penetration. **Construction and Building Materials**, v. 188, p. 444–455, 2018.

MOHAN, H. T.; JAYANARAYANAN, K.; MINI, K. M. Recent trends in utilization of plastics waste composites as construction materials. **Construction and Building Materials**, v. 271, n. xxxx, p. 121520, 2021.

MORGAN, S. M. Hazardous Waste and Solid Waste Infrastructure. **Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management**, v. 8, n. 3, p. 208–218, jul. 2004.

NWANKWO, C. O. et al. High volume Portland cement replacement: A review. **Construction and Building Materials**, v. 260, p. 120445, 2020.

OECD. **Towards Green Growth: A summary for policy makers**. Disponível em: <<https://www.oecd.org/env/towards-green-growth-9789264111318-en.htm>>. Acesso em: 29 maio. 2019.

OJHA, C. S. P.; GOYAL, M. K.; KUMAR, S. Applying Fuzzy logic and the point count system to select landfill sites. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 135, n. 1–3, p. 99–106, 9 nov. 2007.

PRANAV, S. et al. Alternative materials for wearing course of concrete pavements: A critical review. **Construction and Building Materials**, v. 236, p. 117609, 2020.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SILGADO, S. S. et al. Multi-criteria decision analysis to assess the environmental and economic performance of using recycled gypsum cement and recycled aggregate to produce concrete: The case of Catalonia (Spain). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 120–131, jun. 2018.

SINGH CHOUHAN, H. et al. Influence of dimensional stone waste on mechanical and durability properties of mortar: A review. **Construction and Building Materials**, v. 227, p. 116662, 2019.

TAMANNA, K. et al. Utilization of wood waste ash in construction technology: A review. **Construction and Building Materials**, v. 237, p. 117654, 2020.

TAVARES, L. R. C. et al. Influence of quartz powder and silica fume on the performance of Portland cement. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2020.

TSENG, M.-L. Application of ANP and DEMATEL to evaluate the decision-making of municipal solid waste management in Metro Manila. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 156, n. 1–4, p. 181–197, set. 2009.

VAZZOLER, J. DOS S. et al. Investigation of the potential use of waste from ornamental stone processing after heat treatment for the production of cement-based paste. **Construction and Building Materials**, v. 177, p. 314–321, 2018.

VIEIRA, G. L.; MOLIN, D. C. C. D. Palavras-chave: Concreto. Pré-carregamento. Resistência à compressão. Resistência à tração. Microfissuras. n. 51, p. 25–40, 2011.

WU, H.-Y. et al. Ranking universities based on performance evaluation by a hybrid MCDM model. **Measurement**, v. 45, n. 5, p. 856–880, jun. 2012.

ZHANG, Y.; LING, T. C. Reactivity activation of waste coal gangue and its impact on the properties of cement-based materials – A review. **Construction and Building Materials**, v. 234, p. 117424, 2020.

ZHOU, C.; CHEN, Z. Mechanical properties of recycled concrete made with different types of coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 497–506, 2017.

ZULCÃO, R. et al. Life cycle assessment of the ornamental stone processing waste use in cement-based building materials. **Construction and Building Materials**, v. 257, 2020.

ARTIGO CIENTÍFICO 2 - ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO CONVENCIONAL POR RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS BRITADOS NO CONCRETO

Artigo será submetido na Revista Constructuion and Building Materials

Gilberto da Silva Pereira Neto de Assis, Romeu e Silva Neto, André Zotelle Destefani, Hyago Martins da Cruz Afonso

RESUMO

A produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento segue crescendo. O Brasil está entre os maiores produtores de rochas ornamentais, ocupando no ano de 2017 a quinta colocação com 8,3 milhões de toneladas produzidas. Essa produção gera um valor econômico positivo, mas por outro lado é responsável pela geração de grande quantidade de resíduos. Na extração, os restos e fragmentos de rocha, se dispostos de maneira adequada, não apresentam grande ameaça ao meio ambiente. Ao estudar a região de Santo Antônio de Pádua pode-se destacar a importância do setor para a economia local através da extração principalmente de dois tipos de rochas: a pedra Madeira e a pedra Paduana, que são classificadas como gnaisses. O objetivo deste estudo é analisar o comportamento estrutural do concreto experimental, que foi confeccionado com agregado graúdo obtido através da britagem do resíduo de rochas ornamentais. Esta análise foi feita pela comparação com o concreto referência, por meio de experimentos em laboratório que analisaram o comportamento das amostras de concreto observando a propriedade tecnológica de resistência à compressão, tração e trabalhabilidade. Através dos ensaios executados e resultados obtidos foi possível concluir que não houve grande diferença de comportamento entre o concreto referência e o concreto experimental. Em resumo, os agregados graúdos utilizados obtiveram uma caracterização física semelhante e utilizadas no concreto, apresentaram comportamento semelhante no que se diz a trabalhabilidade (slump test), resistência à compressão e resistência à tração se comparado ao concreto referência.

Palavras-chave: Concreto, Resíduos, Rochas Ornamentais

ABSTRACT

The world production of ornamental and coating stones continues to grow. Brazil is among the largest producers of dimension stones, occupying in the year 2017 the fifth place with 8.3 million tons produced. This production generates a positive economic value, but on the other hand it is responsible for generating a large amount of waste. In the extraction, the rock remains and fragments, if properly disposed, do not present a great threat to the environment. When studying the Santo Antônio de Padua region, the importance of the sector for the local economy can be highlighted through the extraction of two types of rocks: the Madeira stone and the Paduana stone, which are classified as gneisses. The objective of this study is to analyze the structural performance of experimental concrete, which was made with coarse aggregate obtained by crushing waste of dimension stones. This analysis was done by comparing it with the reference concrete, through laboratory experiments that analyzed the behavior of concrete samples observing the technological properties of compressive strength, tensile strength and workability. Through the tests performed and the results obtained it was possible to conclude that there was no significant difference in behavior between the reference concrete and the experimental concrete. In summary, the coarse aggregates used obtained a similar physical characterization and used in the concrete, showed similar performance in terms of workability (slump test), compressive strength and tensile strength when compared to the reference concrete.

Keywords: Concrete, Waste, Dimension Stone

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de rochas ornamentais e de revestimento segue crescendo. Comparando a produção dessas rochas na década de 1920 que era de 1,8 milhões de toneladas por ano com a produção do ano de 2017, que chegou a 152 milhões de toneladas por ano, percebemos um enorme aumento, sendo alcançado em 2017 o volume que era estimado para 2020. O Brasil está entre os maiores produtores de rochas ornamentais, ocupando no ano de 2017 a quinta colocação com 8,3 milhões de toneladas produzidas. Na primeira metade de 2021 houve lucro de US\$ 572 milhões, aumento de 43,82% em comparação com a primeira metade do ano passado onde o mercado foi afetado pela COVID 19. Essa performance foi superior aos

resultados do primeiro semestre de 2017, sendo o maior lucro em cinco anos (CENTROROCHAS, 2021).

A produção de rochas ornamentais está dividida em quatro etapas: a primeira etapa é a extração, onde o maciço rochoso é extraído da natureza cortado em blocos de rocha; a segunda etapa é o desdobramento, onde os blocos de rocha são transformados em chapas; a terceira etapa é o polimento, onde as chapas de rochas recebem o acabamento para serem comercializadas; a última etapa é a comercialização das rochas ornamentais para serem usadas na construção civil (ALMADA et al., 2020).

Essa grande produção de rochas ornamentais gera um valor econômico positivo, mas preocupante se considerada a quantidade de resíduos gerados nessa produção. Na atividade extrativa os restos e fragmentos de rocha, conhecidos como casqueiros, representam esses resíduos que, se dispostos de maneira adequada, não apresentam grande ameaça ao meio ambiente (MISTRI et al., 2020). No Brasil não há devida preocupação com esses resíduos, uma vez que se encontra com facilidade áreas de depósito como aterros sanitários e a grande oferta de matéria prima na natureza não gera nas empresas a necessidade de reutilizar os resíduos gerados. Com isso, para ser competitivo, o resíduo reciclado deve ter custo menor e qualidade comparável com o componente usual (BEJA; MOTTA; BERNUCCI, 2020).

Com o surgimento de novas tecnologias, aumento populacional e novos padrões de vida, aumentou-se consideravelmente a quantidade de resíduos. Para proteger a integridade humana e a manutenção dos ecossistemas, buscando também a prosperidade econômica, existe o plano de gerenciamento de resíduos sólidos (MISTRI et al., 2020).

Com a intenção de gerenciar esses resíduos sólidos foi criada em 2010 no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), definindo as responsabilidades quanto a sua geração nos setores públicos e privados. Ela prioriza as medidas a serem tomadas a respeito aos resíduos sólidos em não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada e sem danos ao meio ambiente dos resíduos gerados(MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018).

Muitas pesquisas e estudos estão sendo feitos com o objetivo de apontar possíveis formas de reutilização desses resíduos gerados na extração de rochas ornamentais (PRANAV et al., 2020); (ZHANG; LING, 2020); CARVALHO et al., 2014; PELOSO-RIBEIRO et al., 2017; RIBEIRO et al., 2014(TAMANNA et al., 2020), com destaque para o estudo realizado

por QUEIRÓZ e CASTRO (2018) onde testaram o uso dos resíduos finos gerados pela indústria de rochas ornamentais como fíler (Ecofíler) de concreto autoadensável. Foram coletadas e caracterizadas 20 amostras de resíduos de diversos tipos de rochas e provenientes de diferentes etapas de beneficiamento. Os resultados demonstraram que o uso de 50 kg/m³ de Ecofíler de resíduos de mármore não afetaram as propriedades do concreto e demonstram um bom resultado quanto a reação álcali-agregado, melhor que o concreto referência.

Outra forma de utilização dos resíduos gerados pela indústria de rochas ornamentais é na indústria cerâmica, conforme o estudo de Oliveira et al. (2020), onde as argilas da região onde a indústria de rochas ornamentais é dominante foram coletadas e, junto com os resíduos de rochas ornamentais, foram realizados testes de caracterização física e química para verificar o desempenho das massas cerâmicas com a incorporação dos resíduos de mármore e granito. Os resultados indicaram que a massa cerâmica com 15% de incorporação de mármore obteve o melhor desempenho.

Numa pesquisa feita por (DIETRICH, Y.P., TELES, C.R., VIEIRA, G.L., 2017) foi analisado o desempenho mecânico e o processo de corrosão das armaduras em concretos armado produzidos com adição de resíduos de rocha. Como resultado da pesquisa concluiu que a adição de 5% de resíduos de rochas ornamentais é benéfica para o concreto em perspectivas mecânicas e de durabilidade.

Em outro estudo (SARDINHA, M., DE BRITO, J., RODRIGUES, R., 2016) testaram a durabilidade do concreto conforme a adição de lodo de mármore. No estudo separaram três grupos de concreto conforme quantidade e tipo de aditivos usados e também testaram em cada família de concreto, quatro razões de substituição de lodo de mármore, por volume de concreto (0%, 5%, 10% e 20%). Como resultado da pesquisa concluiu-se que para os índices de incorporação de 5% e 10% as perdas de durabilidade foram insignificantes e a incorporação de superplastificantes foi benéfica para o desenvolvimento do concreto.

Uma busca pela aplicação da Logística Reversa na construção civil foi feita por (SILVA, PIMENTEL, 2019) através de um estudo de caso numa empresa pioneira no gerenciamento e tratamento dos resíduos de construção civil (RCC). Baseado nas informações obtidas na empresa, concluiu que as leis ambientais intensificam a busca das empresas pela logística reversa (LR) e os agregados reciclados oriundos da construção civil podem ser comercializados com um valor 40% menor do agregado convencional utilizado na construção.

Marvila et al. (2018) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a incorporação de resíduos de rochas ornamentais na produção de telhas cerâmicas. Foram estudadas incorporações de até 40% em peso de resíduo em massa cerâmica. As amostras foram queimadas a 800°C e foram avaliadas as seguintes propriedades: retração linear e absorção de água. Os resultados indicaram que os resíduos de rochas ornamentais é um material com potencial para ser utilizado na produção de telhas cerâmicas.

Propondo uma ligação da produção de rochas ornamentais com a construção civil na busca de uma solução para o reaproveitamento dos resíduos gerados no processamento das rochas, será considerado como modelo o estudo realizado por (TORRES, SILVA NETO, 2015) que fez um estudo experimental comparando o concreto fabricado com agregado graúdo convencional com o concreto fabricado com resíduos de rochas ornamentais britados como agregado graúdo. Através de ensaio de compressão axial nos corpos de prova de concreto concluiu que o concreto fabricado com o resíduo de rocha ornamental britado atingiu com 28 dias a resistência de cálculo, apresentando uma variação menor que 20% da resistência do concreto convencional.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo deste estudo é analisar o comportamento estrutural do concreto experimental, que foi confeccionado com agregado graúdo obtido através da britagem do resíduo de rochas ornamentais. Esta análise foi feita pela comparação com o concreto referência, por meio de experimentos em laboratório que analisaram o comportamento das amostras de concreto observando a propriedade tecnológica de resistência à compressão, tração e trabalhabilidade.

Em se constatando a viabilidade técnica na substituição do agregado graúdo usual pelo resíduo de rocha ornamental britado no concreto, este trabalho busca cooperar com a diminuição do depósito ou descarte indevido dos resíduos gerados a partir do processo de extração de rochas ornamentais, evitando o descarte apropriado do resíduo e priorizando seu reaproveitamento.

Ao estudar a região de Santo Antônio de Pádua (Figura 6) pode-se destacar a importância do setor para a economia local e, em contrapartida, vemos a poluição gerada por esses resíduos.

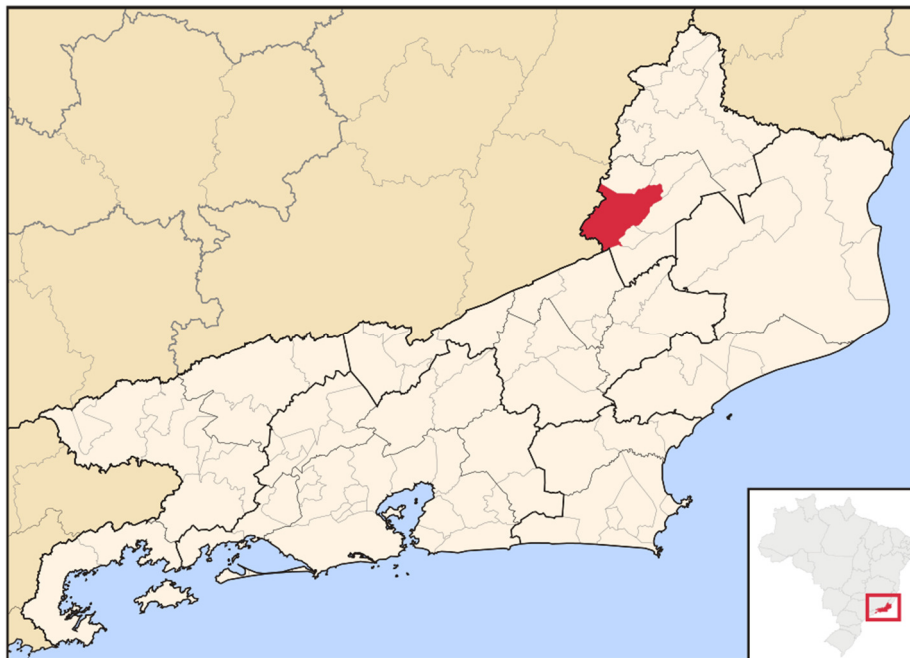


Figura 6: Localização de Santo Antônio de Pádua no Estado do Rio de Janeiro
Fonte: Abreu (2006)

1.1.2 Objetivos específicos

Além dos objetivos gerais, espera-se também atingir os seguintes objetivos específicos neste trabalho:

- Fazer a caracterização física dos agregados miúdo e graúdo, do cimento e do agregado graúdo obtido pela britagem do resíduo de rochas ornamentais, por meio de ensaios de granulometria, massa específica e densidade.
- Desenvolver os traços para o concreto estrutural que permita a comparação entre os concretos avaliados.
- Avaliar o comportamento do concreto experimental, executado utilizando o resíduo de rochas ornamentais britado, através da comparação com o concreto referência pelos ensaios de compressão axial, tração pela compressão diametral dos corpos de prova e trabalhabilidade pelo slump test.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Gestão de Resíduos e seu Aproveitamento

Com a ocorrência da Revolução Industrial o pensamento empreendedor baseia-se na busca do lucro e na maioria das vezes a todo custo. Com o aumento da população e proporcional aumento de produção, gerou-se uma grande exploração de recursos naturais acompanhados pela agressão ao meio ambiente. Com isso, no final do século XX as empresas começaram a se importar mais com o meio ambiente e passam a buscar um equilíbrio entre produção e gestão ambiental. Essa busca deve-se não só a criação de leis para combater a poluição, mas também a exigência do consumidor por empresas que produzem se importando com o equilíbrio ambiental (SEIFFERT, 2011).

Até a década de 70, os recursos naturais eram tidos como ilimitados e o processo de gestão ambiental era passivo, pois a atitude das empresas era simplesmente afastar o resíduo gerado na produção o máximo possível da fonte geradora. Entre as décadas de 70 e 80 a gestão ambiental passou a ser reativa, uma vez que com o aumento da tecnologia na produção aumentou também a quantidade de resíduos gerados. Com isso as empresas começaram a investir em tratamento e disposição dos resíduos (KROZER, 2017).

A partir da década de 90 os processos de preservação do meio ambiente ganham destaque. Começa a busca pela produção inteligente, buscando aperfeiçoar o processo produtivo para se produzir gerando o menos resíduo possível. Nessa época o processo de gestão ambiental começa a ser proativo (KAM; KAO; LU, 2020).

Apesar de todo benefício econômico gerado pela extração de rochas ornamentais, em seu processo produtivo são gerados vários resíduos que, se não forem tratados e/ou descartados de maneira correta, podem causar vários danos ao meio ambiente. A atividade mineradora causa desde o início da cadeia impactos ambientais irreversíveis (SINGH CHOUHAN et al., 2019).

A produção de rochas ornamentais acompanha o ritmo da construção civil, uma vez que seu produto é empregado em várias áreas da construção que vai do pavimento ao acabamento. Algo tem que ser feito uma vez que, com o aumento da população, aumenta o setor da construção civil e proporcionalmente aumenta a geração de resíduos (CENTROROCHAS, 2021).

Para tentar minimizar os danos ambientais decorrentes do descarte inapropriado dos resíduos, são criadas leis federais, estaduais e municipais. Elas exigem das empresas geradoras de resíduo o correto descarte dos mesmos. Através dessas exigências as empresas, visando sempre o lucro, buscam o perfeito equilíbrio entre a produção e a gestão dos resíduos gerados, uma vez que o não cumprimento dessas leis pode resultar em um grande prejuízo (SILVA, 2011).

2.2 Rochas Ornamentais e Setor Produtivo

A cadeia produtiva de rochas ornamentais inicia-se nas pedreiras onde são extraídos os blocos de rocha. Após a extração elas são transportadas ou recebem o beneficiamento na serraria. Em seu beneficiamento as rochas são trabalhadas para chegar ao comércio em formas de chapas, pisos, ladrilhos, entre outros (ZULCÃO et al., 2020).

Diversos tipos de resíduos são gerados em todas as etapas de fabricação das rochas ornamentais. Na extração, muitos resíduos são gerados e não podem ser aproveitados no beneficiamento, devido ao tamanho dos fragmentos. Esses resíduos geralmente são depositados num local dentro da jazida (bota-foras), causando alguns transtornos como ocupação de espaço no layout de produção (VAZZOLER et al., 2018).

Quando se fala em gestão de resíduos o primeiro pensamento é a reciclagem, mas ela representa o terceiro ponto da cadeia. Antes de reciclar é preciso diminuir a geração de resíduos e depois reutilizá-los. Como disposição final dos resíduos de forma adequada, não se deve considerar o lançamento dos mesmos em aterros sanitários como o ideal, uma vez que o resíduo permaneceria lá para sempre, ou seja, somente teria a mudança no seu local de depósito da pedreira para o aterro (MITTRI et al., 2018).

Por esses motivos, a validação do uso desses resíduos de rocha ornamental em substituição ao agregado graúdo convencional do concreto é importante em dois pontos: Melhor forma de gestão dos resíduos propondo sua reutilização e a transformação do rejeito em mais um produto, aumentando a renda das empresas e gerando mais empregos na sociedade (ZHOU; CHEN, 2017).

2.2.1 Etapas da cadeia produtiva

O processo empregado no presente estudo foi realizado de acordo com a cadeia industrial na empresa Raio de Sol, localizada na rodovia Pádua - Paraoquena, km 4 - Fazenda Cachoeira Alegre, localizada em Santo Antônio de Pádua/RJ.

A primeira etapa é a remoção da capa de solo com trator de esteiras ou retroescavadeira. Após a limpeza, fura-se o maciço com marteletes para abertura dos canais, sendo esses perpendiculares à foliação do maciço. Os furos servirão para colocação de explosivos.

Após a abertura dos canais, é feita a furação de levante, com um furo no sentido horizontal, junto ao pé do maciço, coloca-se explosivos e realizando a detonação, são liberados os blocos de rocha, conforme ilustrado na Figura 7.

Por essa etapa ser realizada de forma rudimentar, ocorre sempre a execução de blocos de rocha irregulares, gerando assim uma maior quantidade de resíduos na regularização dos blocos.



Figura 7: Redução da rocha sã em maciços
Fonte: Autores

Após a extração dos blocos, é feita a redução de dimensão das rochas em blocos menores de aproximadamente 0,50m x 0,50m x 0,40 - 0,60m. Essa etapa é executada por dois

funcionários utilizando marreta e ponteira, demonstrando uma técnica rudimentar que além do desperdício de material gera um grande risco de acidente com os funcionários (Figura 8).



Figura 8: Redução dos maciços em blocos menores
Fonte: Autores

Antes da rocha ser enviada para a serraria, são deslocadas em lajes brutas com dimensões de aproximadamente 0,50m x 0,50m x 0,04m, como ilustra a Figura 9. Após esse beneficiamento os blocos são transportados para a serraria.

Em todas essas etapas de beneficiamento da rocha são gerados os resíduos, que além de representar uma grande perda de material, se torna um grande problema para a pedreira se apresentando como um material que ocupa um grande espaço e provoca uma poluição visual no ambiente de trabalho, ilustrada na Figura 10.



Figura 9: Redução dos blocos em placas
Fonte: Autores



Figura 10: Depósito de resíduos na pedreira
Fonte: Autores

Ao chegar na serraria, as lajes brutas recebem um beneficiamento final com a utilização de serras e são reduzidas em lajes menores de dimensões aproximadamente 0,11m x 0,23m x 0,04m chamados de bloquinhos, representado nas Figuras 11 e 12. Nessa etapa do beneficiamento são retiradas as irregularidades da peça.



Figura 11: Beneficiamento das placas com serra
Fonte: Autores



Figura 12: Resultado do corte das placas com serra
Fonte: Autores

Por fim, a peça é rachada por percussão manual com a utilização de espátulas metálicas e pequena marreta (Figura 13). Nessa etapa, os bloquinhos são reduzidos para as dimensões do produto final que é comercializado. Todas essas etapas do beneficiamento das rochas são realizadas de forma manual, onde a eficiência do trabalho é baixa, resultando uma grande perda de material, que são os resíduos (Figura 14).



Figura 13: Fatiamento final das placas
Fonte: Autores



Figura 14: Depósito de resíduos na serraria
Fonte: Autores

2.3 Concreto Estrutural de Cimento Portland

Desde os tempos antigos a pedra e o tijolo cerâmico foram os materiais mais importantes na construção civil, mas limitações de uso como baixa resistência a tração levaram à busca de alternativas. Com o início da revolução Industrial e a criação do cimento Portland e o aço laminado, surge o concreto armado. Estima-se que no ano de 1849, na França, foi construída a primeira peça de concreto armado (FUSCO, 2008).

O concreto armado é composto por concreto simples, que é a mistura de cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, podendo ou não ter algum aditivo; e armaduras de aço. A mistura de cimento e água é denominada pasta de cimento, com adição de agregado miúdo passa a ser chamada de argamassa e colocando agregado graúdo obtém-se o concreto. As peças de concreto armado funcionam na construção civil unindo as resistências dos dois materiais que o compõem: resistência à compressão do concreto e resistência à tração do aço (NWANKWO et al., 2020).

A qualidade do concreto, assim como sua resistência, depende diretamente da qualidade dos materiais utilizados no seu preparo, ou seja, do cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Além da qualidade, a correta dosagem de cada material tem influência direta no concreto (TAVARES et al., 2020).

Os cimentos empregados na fabricação do concreto armado são de diversas qualidades. Os diferentes tipos de cimento usados na construção são definidos pela solicitação de aplicação como resistência, tempo de cura, entre outros. A cal (CaO), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3) são componentes básicos do cimento que são aglutinados por aquecimento da mistura até uma fusão e são moídos com uma finura adequada (MISTRI et al., 2020).

Os agregados do concreto são, de acordo com sua granulometria, classificados em agregado miúdo e agregado graúdo. Os agregados miúdos são aqueles que passam pela peneira de malha com 4,75 mm de abertura e os agregados graúdos são aqueles que passam pela peneira de malha 75 mm de abertura e ficam retidos na peneira de malha com 4,75 mm de abertura. Em geral os agregados devem ser formados por grãos de minerais duros, duráveis, compactos e limpos (BRASIL, 2009).

2.4 Caracterização da Brita como Agregado Graúdo

Agregados graúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira de malha com abertura de 75mm e ficam retidos em peneira de malha com abertura de 4,75mm. Podem ser de origem natural, já encontrados na natureza fragmentados ou resultantes de processos de britagem. Os agregados devem ser compostos por grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, livre de qualquer presença de impurezas como torrões de argila, materiais friáveis e materiais carbonosos, que podem influenciar negativamente o processo de hidratação e o endurecimento do cimento (MARTÍNEZ-LAGE et al., 2012).

O agregado graúdo utilizado na fabricação do concreto que é utilizado na construção civil, é resultante do processo de fragmentação de maciços rochosos (granito, gnaisse, calcário, basalto). No Brasil, essas rochas são encontradas em abundância na natureza e cerca de 85% da brita produzida são de granito ou gnaisse, 10% de calcário ou dolomito e 5% de basalto ou diabásio (MME, 2009).

Segundo o relatório nº30, publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2009), os produtos de pedreira são:

- Rachão: material obtido após desmonte da rocha por explosivo, às vezes denominado “rachão de praça”, ou após britagem primária.
- Gabião: ou “rachão de gabião”, com dimensões entre 100mm e 150 mm.
- Brita graduada: mistura de tamanhos de zero (0) até máximo especificado com controle de granulometria definida pelo consumidor.
- Brita 0 ou pedrisco: granulometria variando de 4,8 mm a 9,5 mm.
- Brita 1: granulometria variando de 9,5 mm a 19 mm.
- Brita 2: granulometria variando de 19 mm a 25 mm.
- Brita 3: granulometria variando de 25 mm a 50 mm.
- Brita 4: granulometria variando de 50 mm a 76 mm.
- Brita 5: granulometria variando de 76 mm a 100 mm.
- Bica corrida: mistura de tamanhos sem exigência de composição granulométrica com dimensões variando de zero (0) a 50 mm.
- Pó de pedra: fração de finos de britagem, com dimensões variando de zero (0) a 5 mm, com alto teor de finos (máximo de 20%) passantes na malha 200 (0,074 mm).
- Areia de brita: pó de pedra sem partículas abaixo da malha 200 (0,074 mm), sendo a retirada dos finos é feita por lavagem do pó.

A forma do agregado graúdo é uma das propriedades mais importantes, pois ela influencia as propriedades mecânicas do concreto, assim como a presença de impurezas em seus grãos, pois elas dificultam o adensamento do concreto impedindo a interpenetração dos grãos. Os agregados que possuem forma mais cúbica apresentam maior resistência e

proporcionam ao concreto maior trabalhabilidade (MOHAN; JAYANARAYANAN; MINI, 2021).

A classificação do agregado graúdo é dada baseada no grau de cubicidade da partícula, que podem ser classificadas em cúbica, alongada, lamelar e alongada lamelar, conforme ilustra a Figura 15 (SILVA, GEYER; 2018).

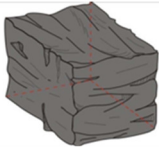
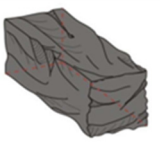

Forma Cúbica		Forma Alongada	
	comprimento / espessura < 1,8		comprimento / espessura > 1,8
	largura / espessura < 1,8		largura / espessura < 1,8
Partícula que possui as três dimensões semelhantes e pouca variação entre suas dimensões. Quando observadas, assemelham a um cubo.		Partícula em que uma dimensão é significativamente maior do que as outras duas dimensões.	
Forma Lamelar		Forma Alongada-Lamelar	
	comprimento / espessura > 2,4		comprimento / espessura > 3,0
	largura / espessura > 2,4		largura / espessura > 3,0
Partícula em que duas dimensões são aproximadas, e significativamente menores em relação à terceira dimensão.		Partícula que tem três dimensões significativamente diferentes, por exemplo: o comprimento consideravelmente superior à largura e a largura superior à espessura.	

Figura 15: Classificação da forma do agregado graúdo britado para concreto
Fonte: Adaptado (SILVA, GUEYER; 2018)

2.4.1 Agregado graúdo do estudo

Para realizar o experimento será feita a comparação entre o agregado graúdo usual e o agregado graúdo experimental.

O agregado graúdo usual é o gnaíse britado (Figura 16), com dimensão entre 9mm e 19mm (brita 1). O agregado graúdo experimental é um gnaíse conhecido como pedra Paduana, rocha utilizada para confecção de revestimentos em rochas ornamentais. O agregado graúdo experimental será adquirido através do britamento dos resíduos de rocha ornamental, produzidos no decorrer do beneficiamento das rochas (Figura 17).



Figura 176: Brita referência - gnaiss britado
Fonte: Autores



Figura 167: Brita experimental - resíduo de rocha ornamental britado
Fonte: Autores



BRITA EXPERIMENTAL			BRITA USUAL		
Resíduos de rocha ornamental			gnaiss britado		
					
c = 33mm	l = 24mm	e = 11mm	c = 23mm	l = 24mm	e = 16mm
c/e > 2,4		l/e > 2,4	c/e < 1,8		l/e < 1,8
FORMA LAMELAR			FORMA CÚBICA		

Figura 18: Classificação dos agregados segundo sua cubicidade
Fonte: Autores

3 METODOLOGIA

Este estudo é classificado quanto a abordagem como quantitativa, pois analisa fenômenos a partir de quantificações apresentadas a partir de uma estrutura como tabelas e gráficos, traduzindo números em informações para elaborar análises.

Quanto à natureza esta pesquisa científica se classifica como uma pesquisa aplicada, onde objetiva gerar conhecimento para aplicações práticas para o resíduo de rochas ornamentais com o objetivo de solucionar problemas específicos como o descarte inapropriado desses resíduos.

A classificação deste trabalho quanto aos objetivos é exploratória, porque busca proporcionar uma maior familiaridade com o problema do resíduo de rochas ornamentais e sua utilização, envolvendo levantamentos bibliográficos.

Por fim, este estudo classifica-se quanto ao procedimento como pesquisa experimental, onde busca observar através de experimentos, se a substituição do agregado graúdo referência no por agregado feito pela britagem do resíduo de rochas ornamentais influencia o comportamento estrutural do concreto. Experimento esse elaborado através de ensaios de laboratório com as duas amostras de concreto, interpretando os resultados para assim validar ou não a utilização dos resíduos na construção civil.

3.1 Transformação do resíduo em brita

Foram coletados na pedreira amostras de resíduos de rocha ornamental para execução do estudo. Foram britados em britador e peneirados para separar as britas de dimensões de brita 1 (dimensão máxima de 19mm), processo de transformação demonstrados nas Figuras 19, 20, 21 e 22.



Figura 19 - Resíduos coletados
Fonte: Autores



Figura 20 - Britagem dos resíduos
Fonte: Autores



Figura 19 - Peneiramento das britas
Fonte: Autores



Figura 20 - Amostra de resíduos britados
Fonte: Autores

3.2 Ensaios de caracterização

Foram executados ensaios de caracterização física dos agregados. A caracterização foi feita pelos seguintes ensaios: massa unitária compactada (brita referência e brita experimental) definida pela NBR7810/83, massa específica (cimento, areia, brita referência e brita experimental) definida pela NBR16916/2021 e granulometria (areia, brita referência e brita experimental) definida pela NBR NM 248/2003. A partir desses ensaios foi possível definir os traços de concreto, para obter resistência à compressão de 25Mpa em 28 dias.

3.3 Slump Test

Após a produção do concreto, foi realizado o slump test ou teste de abatimento do concreto, conforme a norma NBR 67/1998, que é um ensaio rápido para definir as características do concreto fresco com objetivo de medir a trabalhabilidade do concreto. Ao comparar os dois concretos do estudo, poderemos verificar se a trabalhabilidade do concreto é influenciada pela alteração do agregado graúdo, ou seja, a forma lamelar do agregado experimental.

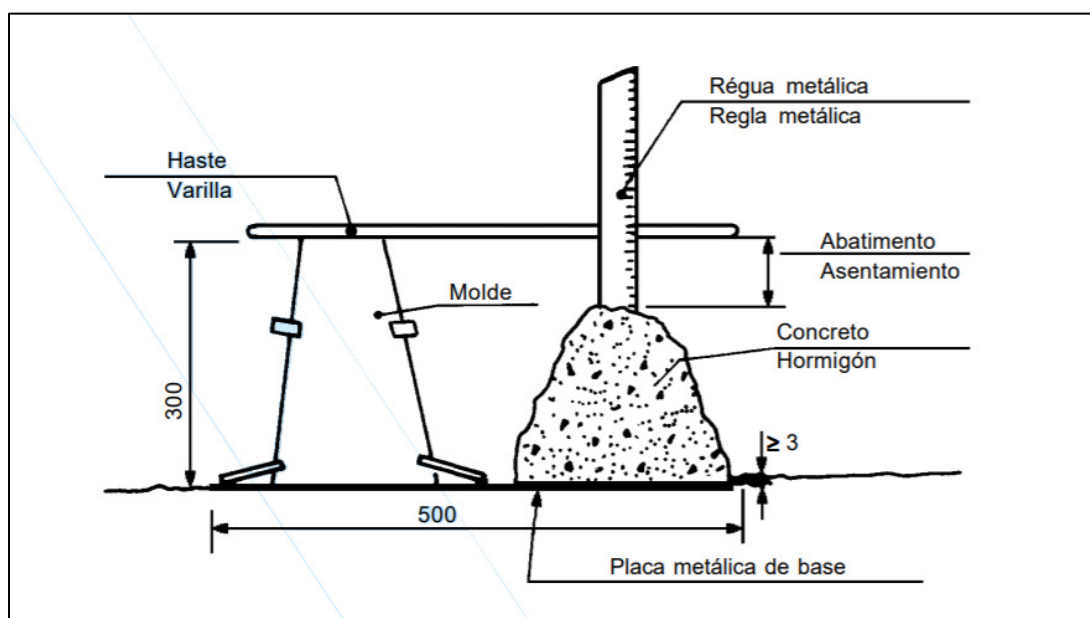


Figura 23 Medida do abatimento do concreto
Fonte: ABNT, 1998

3.4 Ensaios de Laboratório de Concreto

O concreto possui como principais propriedades mecânicas a resistência à compressão, a resistência à tração e o módulo de elasticidade. Baseado nessas propriedades, foram executados ensaios com o concreto para analisar o comportamento do concreto experimental em comparação ao concreto referência (LIU; ZENG; XU, 2020).

Após a caracterização física dos materiais do concreto, foram detalhados os traços para confecção dos corpos de prova. Para dosagem, foi utilizado o método que é recomendado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), baseado nos seguintes dados:

- Classe de agressividade ambiental: II – moderada
- Relação água/cimento em massa: 0,60
- Cimento CP III 40RS

Através do cálculo de dosagem da mistura do concreto (traço), foram encontrados os seguintes consumos de materiais em massa para o concreto referência e o concreto experimental:

✓ CONCRETO REFERÊNCIA

Consumo de cimento (C_c) = 333,33 Kg/m³

Consumo de areia (C_m) = 848,87 Kg/m³

Consumo de brita (C_b) = 1.019,40 Kg/m³

Consumo de água (C_a) = 200,00 Kg/m³

✓ CONCRETO EXPERIMENTAL

Consumo de cimento (C_c) = 341,67 Kg/m³

Consumo de areia (C_m) = 820,37 Kg/m³

Consumo de brita (C_b) = 1.017,90 Kg/m³

Consumo de água (C_a) = 205,00 Kg/m³

Com o objetivo de validar o uso do agregado graúdo obtivo através da britagem de resíduo de rocha ornamental, foram usados como parâmetro os dados obtidos nos ensaios da brita referência. Os traços de concreto (concreto com brita referência e concreto com brita experimental) foram dosados para obter resistência de 25MPa em 28 dias e em sua execução foram utilizados o mesmo cimento e o mesmo agregado miúdo.

3.4.1 Ensaio de compressão

O ensaio de compressão de corpos de prova de concreto foi executado conforme a NBR 5739/2018. Os corpos de prova de concreto foram moldados conforme a NBR 5738/2015. Foram moldados corpos de prova com dimensões de 200mm x 100mm (altura x diâmetro), adensamento de forma manual em 2 camadas com 12 golpes em cada camada. Foram confeccionados 2 (dois) corpos de prova para cada idade do concreto (7, 14, 21 e 28 dias) para os dois tipos de concreto citados (o concreto referência e o concreto experimental) para a realização do ensaio de compressão axial. Após o ensaio foi feita a comparação da resistência dos dois tipos de concreto.

3.4.2 Determinação da resistência à tração por compressão diametral

Além do ensaio de compressão axial, foi feito o ensaio para determinar a resistência à tração pela compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos dos dois concretos do estudo (o concreto referência e o concreto experimental). O ensaio foi executado de acordo com a norma NBR 7222/2011. Os corpos de prova utilizados no ensaio foram moldados de acordo com a norma NBR 5738/2015. Foram confeccionados 2 (dois) corpos de prova para idade de 28 dias para os dois tipos de concreto citados (o concreto referência e o concreto experimental).

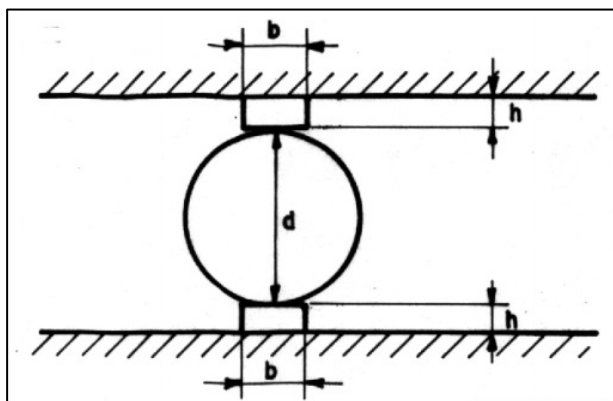


Figura 214: Disposição do corpo de prova
Fonte: ABNT, 2011

A resistência à tração por compressão diametral é calculada pela expressão (VIEIRA; MOLIN, 2011):

$$f_{t,D} = \frac{2 * F}{\pi * d * L}$$

Sendo:

$f_{t,D}$ = resistência à tração por compressão diametral (MPa)

F = carga máxima obtida no ensaio (KN)

d = diâmetro do corpo de prova (mm)

L = altura do corpo de prova (mm)

4 RESULTADOS

4.1 Cimento

Para a produção do concreto referência e do concreto experimental, foi utilizado o cimento CPIII 40RS, com massa específica de 2,910g/m³.

4.2 Agregado miúdo

Para a produção do concreto referência e do concreto experimental, foi utilizada como agregado miúdo a areia quartzosa do Rio Paraíba do Sul, que é a mais utilizada para produção de concreto na região.

Como resultado dos ensaios de caracterização do agregado miúdo, foi obtido o valor da massa específica da areia de 2,683 g/m³, módulo de finura de 2,61 e diâmetro máximo de 2,36mm. Na Figura 25 estão representadas as características granulométricas da areia.

Tabela 14 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado no ensaio

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AREIA (NM 248)				
Malha	Abertura da Peneira (mm)	Amostra Retida (g)	% Retido	% Retido Acumulado
4	4,75	0,40	0,07	0,07
8	2,36	13,55	2,55	2,62
16	1,18	66,55	12,53	15,15
30	0,60	197,55	37,18	52,33
50	0,30	208,35	39,21	91,54
100	0,15	42,45	7,99	99,53
Fundo		2,50	0,47	100,00

Fonte: Autores

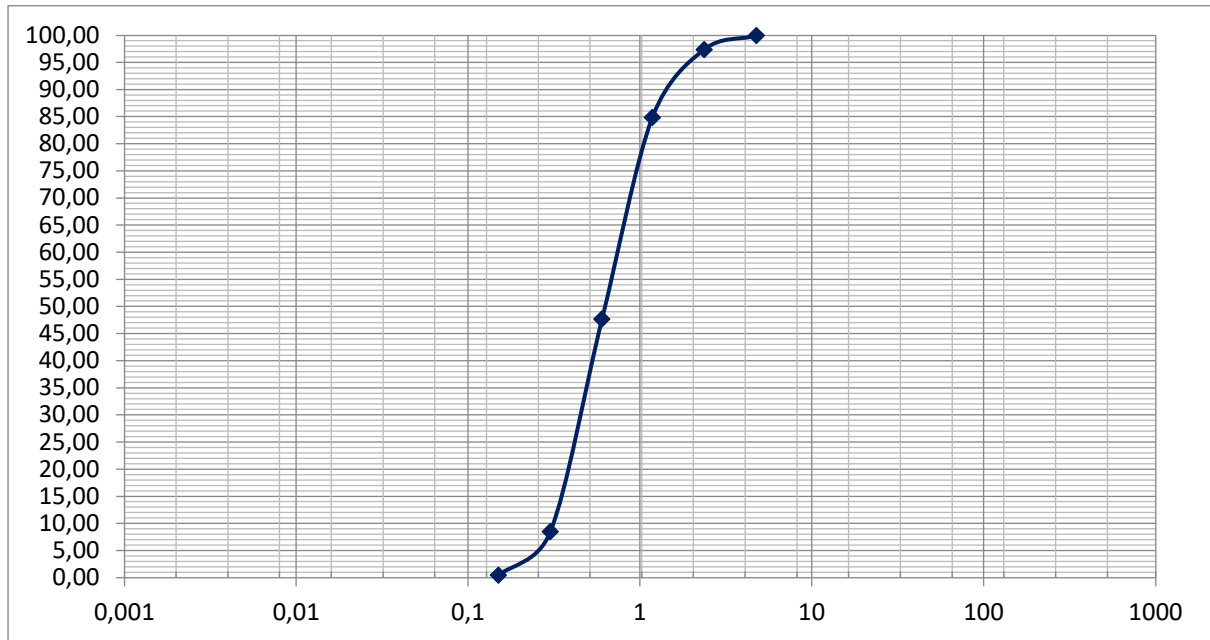


Figura 22 - Curva Granulométrica da Areia
Fonte: Autores

4.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo referência é o agregado usualmente utilizado na região. O agregado apresentou massa específica de $2,762\text{g/cm}^3$, massa unitária de $1,556\text{kg/dm}^3$, módulo de finura de 3,15 e diâmetro máximo de 25,00mm.

O agregado graúdo experimental é o agregado obtido pela britagem de resíduos de rocha ornamental. O agregado apresentou massa específica de $2,738\text{g/cm}^3$, massa unitária de $1,566\text{kg/dm}^3$, módulo de finura de 2,95 e diâmetro máximo de 19,50mm. A seguir estão detalhadas as características granulométricas das britas referência e experimental.

Tabela 15 - Resultados da análise granulométrica do agregado graúdo referência

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA BRITA REFERÊNCIA (NM 248)				
Malha	Abertura da Peneira (mm)	Amostra Retida (g)	% Retido	% Retido Acumulado
1"	25,00	332,90	15,42	15,42
3/4"	19,00	1681,70	77,89	93,31
1/2"	12,50	140,20	6,49	99,80
3/8"	9,50	3,10	0,14	99,94
1/4"	6,30	0,00	0,00	99,94
4	4,75	0,00	0,00	99,94
Fundo		1,20	0,06	100,00

Fonte: Autores

Tabela 16 - Resultados da análise granulométrica do agregado graúdo experimental

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA BRITA EXPERIMENTAL (NM 248)				
Malha	Abertura da Peneira (mm)	Amostra Retida (g)	% Retido	% Retido Acumulado
1"	25,00	15,80	0,73	0,73
3/4"	19,00	1467,80	67,60	68,33
1/2"	12,50	561,00	25,84	94,17
3/8"	9,50	122,30	5,63	99,80
1/4"	6,30	0,40	0,02	99,82
4	4,75	0,40	0,02	99,84
Fundo		3,60	0,16	100,00

Fonte: Autores

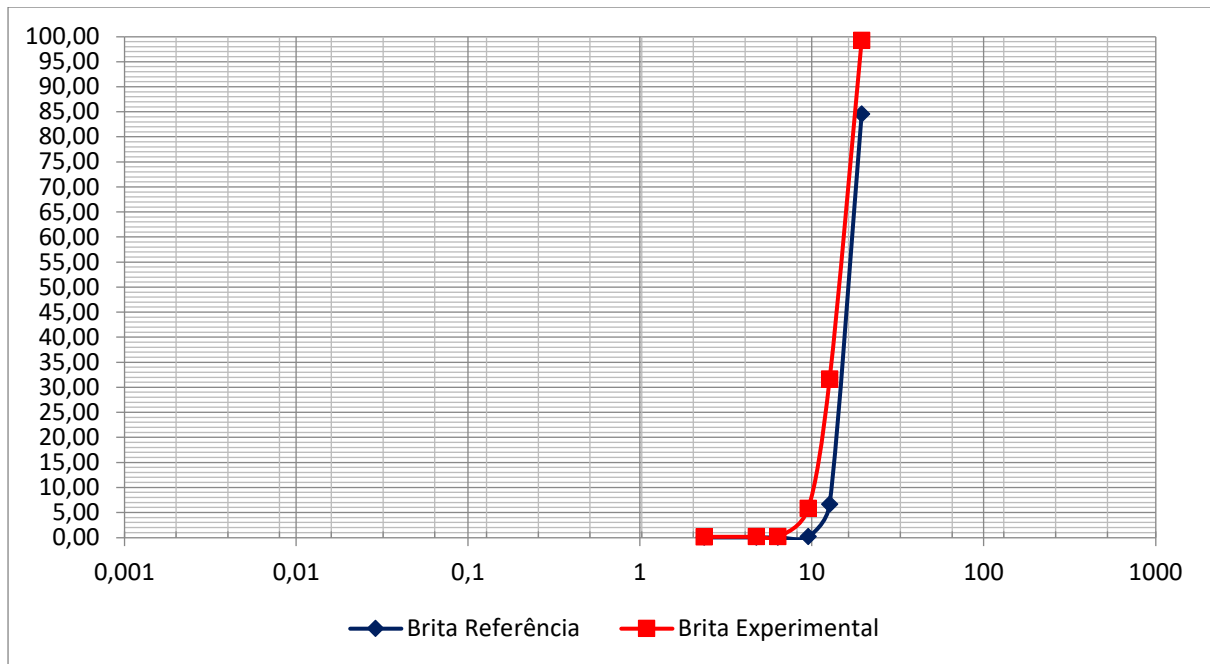


Figura 23 - Curva granulométrica das britas
Fonte: Autores

4.4 Slump Test

O ensaio de Slump Test foi executado em amostra fresca dos dois tipos de concreto estudados: o concreto referência e o concreto experimental. Como valor do abatimento do tronco de cone foi encontrado os seguintes valores: o abatimento do tronco de cone do Concreto Referência foi de 4cm (Figura 27) e o abatimento do Concreto Experimental foi de 5cm (Figura 28).



Figura 24 - Abatimento do tronco de cone - Concreto Referência
Fonte: Autores



Figura 25 - Abatimento do tronco de cone - Concreto Experimental
Fonte: Autores

4.5 Ensaio de compressão

O ensaio de compressão axial nos corpos de prova de concreto foi executado para idades de 7, 14, 21 e 28 dias. Para cada idade foram moldados 2 corpos de prova (prova e contraprova) para obter o valor de resistência.

Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em tanques de água para a cura e, antes do rompimento, tiveram suas faces retificadas para garantir a correta área de contato com a prensa.



Figura 26 - Face do corpo de prova retificado - Concreto Referência
Fonte: Autores

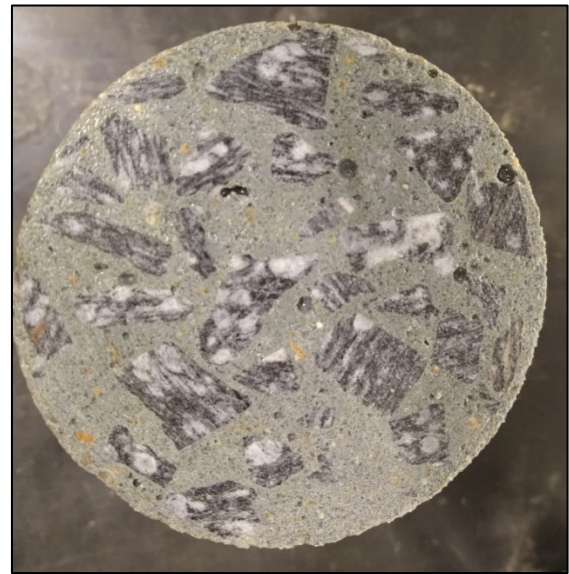


Figura 27 - Face do corpo de prova retificado - Concreto Experimental
Fonte: Autores



Figura 28 - Ensaio de compressão axial
Fonte: Autores

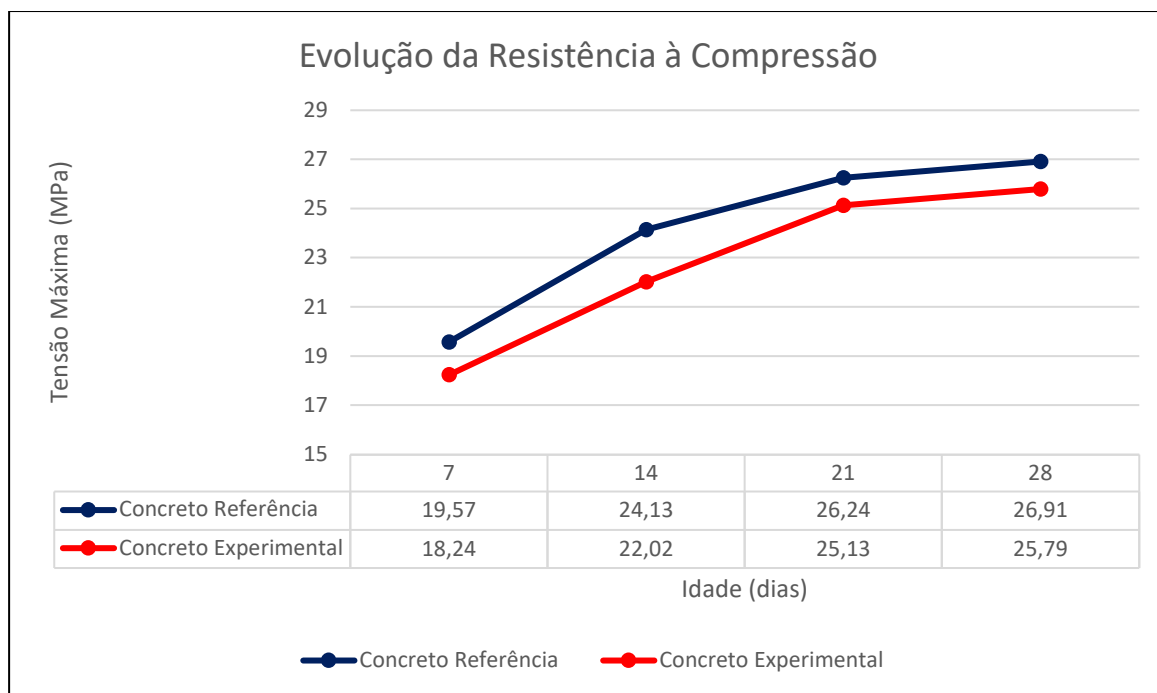


Figura 29 - Gráfico Tensão x Idade Compressão
Fonte: Autores

A resistência à compressão do concreto experimental, produzido com agregado graúdo obtido pela britagem do resíduo de rochas ornamentais, apresentou uma variação menor que 10% e atingiu a resistência de cálculo de 25Mpa na idade de 21 dias.

Os resultados apresentados indicam a viabilidade técnica de utilização do resíduo de rochas ornamentais na construção civil, em peças de concreto estrutural, no que se diz à compressão.

Em um estudo realizado por (TORRES; SILVA NETO, 2017), foi estudado o comportamento do concreto estrutural utilizando agregado graúdo obtido pela britagem do resíduo de rochas ornamentais. Nele foi calculado um traço referência, baseado nas características do agregado graúdo usual e elaborado as duas amostras de concreto. Como resultado dos ensaios de compressão axial, o concreto experimental obteve resistência 20% menos que o concreto referência, mas atingiu resistência de cálculo na idade de 28 dias.

Em comparação com o estudo de (TORRES; SILVA NETO, 2017), o estudo atual desenvolveu o concreto experimental fazendo a correção do traço para os valores de caracterização física do agregado graúdo obtido pela britagem dos resíduo de rochas ornamentais e foram encontrados resultados de resistência à compressão do concreto experimental inferior ao concreto referência em menos de 10%.

4.6 Ensaio de Tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral nos corpos de prova de concreto foi executado para a idades de 28 dias. Foram moldados 2 corpos de prova (prova e contraprova) para cada amostra de concreto, o concreto referência e o concreto experimental, para obter o valor de resistência. Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em tanques de água para a cura.



Figura 30 - Ensaio de tração por compressão diametral
Fonte: Autores

Como resultado do ensaio, o concreto referência atingiu uma resistência à tração de 3,25Mpa enquanto o concreto experimental apresentou uma resistência à tração de 3,10Mpa. Considerando a resistência a compressão das amostras de concreto, o concreto referência apresentou a resistência à tração sendo 12% da resistência à compressão. O concreto experimental apresentou resistência à tração sendo 12% da resistência à compressão.

Através dos resultados apresentados no ensaio, indicam a viabilidade técnica de utilização do resíduo de rochas ornamentais na construção civil, em peças de concreto estrutural no que se diz à tração.

5 CONCLUSÃO

Através dos ensaios executados e resultados obtidos podemos concluir que não houve grande diferença de comportamento entre o concreto referência e o concreto experimental. Em resumo, os agregados graúdos utilizados obtiveram uma caracterização física semelhante e utilizadas no concreto, apresentaram comportamento semelhante no que se diz a trabalhabilidade (slump test), resistência à compressão e resistência à tração.

Com isso, os resultados demonstram a potencialidade do setor de construção civil em colaborar com o aproveitamento do resíduo de rochas ornamentais para a fabricação de concreto estrutural. A reciclagem dos resíduos em brita, poderá gerar bons resultados para as empresas do Arranjo Produtivo Local, minimizando os impactos ambientais causados pelo descarte inapropriado dos resíduos e gerar renda complementar na transformação do resíduo em produto comercializável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR NM 67, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT NBR 5738, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT NBR 5739, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT NBR 7211, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR 7222, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro; 2011.

ABNT NBR 15823-6, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15823-6: Determinação da resistência à segregação - Métodos da coluna de segregação e da peneira. Rio de Janeiro, 2017.

ALENCAR, R. S.A. Dosagem do concreto auto adensável: produção de pré-fabricados. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2008.

ALMADA, B. S. et al. Influence of the heterogeneity of waste from wet processing of ornamental stones on the performance of Portland cement composites. *Construction and Building Materials*, v. 262, p. 120036, 2020

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei no 12305, de 02/08/2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 29 maio. 2019.

BEJA, I. A.; MOTTA, R.; BERNUCCI, L. B. Application of recycled aggregates from construction and demolition waste with Portland cement and hydrated lime as pavement subbase in Brazil. *Construction and Building Materials*, v. 258, p. 119520, 2020.

Carvalho, A., de Castro Xavier, G., Alexandre, J., Pedroti, L.G., de Azevedo, A.R.G., Vieira, C.M.F., Monteiro, S.N. Environmental durability of soil-cement block incorporated with ornamental stone waste (2014) *Materials Science Forum*, 798-799, pp. 548-553.

DA SILVA, Ayane Maria Gonçalves; PIMENTEL, Márcio Sampaio. Logística reversa na construção civil: um estudo de caso sobre o gerenciamento dos resíduos de construção civil e sua reintegração na cadeia de valor. *Refas-Revista Fatec Zona Sul*, v. 6, n. 2, p. 18-33, 2019.

Dietrich, Y.P., Teles, C.R., Vieira, G.L. Mechanical performance and reinforcement steel corrosion process in concrete containing ornamental rock waste [Article@Desempenho mecânico e análise da corrosão das armaduras em concretos produzidos com adição de resíduos de rochas ornamentais] (2017) *Revista Materia*, 22 (4), art. no. e-11891.

FREIRE, L. C. Utilização de Resíduos Oriundos do Desdobramento de Rochas Ornamentais para confecção de Blocos Paisagísticos. XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM 137-2009.

Fusco, Péricles Brasiliense Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados. São Paulo: Pini.

KAM, T.; KAO, T.; LU, Y. Political dynamics, public goods and private spillovers. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 177, p. 237–254, 2020.

KROZER, Y. *Economics of Sustainable Technologies: Private and Public Costs and Benefits*. [s.l.] Elsevier, 2017. v. 1

LIU, J.; ZENG, Q.; XU, S. The state-of-art in characterizing the micro/nano-structure and mechanical properties of cement-based materials via scratch test. *Construction and Building Materials*, v. 254, p. 119255, 2020.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. D. P.; VALLE, T. F. Implementation of the Brazilian national policy for waste management. *Revista de Administração Pública*, v. 52, n. 1, p. 24–51, 2018.

MARTÍNEZ-LAGE, I. et al. Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 37, p. 171–176, 2012.

Marvila, M.T., Alexandre, J., Azevedo, A.R.G., Zanelato, E.B., Monteiro, S.N., Xavier, G.C., Goulart, M., Mendes, B., 2018. Study of the incorporation of residue of ornamental rocks in ceramic tiles. *Minerals, Metals and Materials Series Part F8*, 677–682. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72484-3_72

MISTRI, A. et al. A review on different treatment methods for enhancing the properties of recycled aggregates for sustainable construction materials. *Construction and Building Materials*, v. 233, p. 117894, 2020.

MITTRI, S. H. M. et al. Utilisation of heat-treated ornamental stone processing waste as an addition to concretes to improve compressive strength and reduce chloride ion penetration. *Construction and Building Materials*, v. 188, p. 444–455, 2018.

MME – Ministério de Minas e Energia. Relatório Técnico 30: Perfil de brita para construção civil. 2009. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/>>.

MOHAN, H. T.; JAYANARAYANAN, K.; MINI, K. M. Recent trends in utilization of plastics waste composites as construction materials. *Construction and Building Materials*, v. 271, n. xxxx, p. 121520, 2021.

MONTANI, Carlo. XXVIII Rapporto Marmo e Pietre nel Mondo 2018. Aldus: Carrara (IT), 2018. 263 p.

MORGAN, S. M. Hazardous Waste and Solid Waste Infrastructure. Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management, v. 8, n. 3, p. 208–218, jul. 2004.

Neto, R. S. and T. Torres. “Experimental study on reusing ornamental rock waste for the production of structural concrete.” Journal of Environmental and Analytical Toxicology (2015): n. pag.

NWANKWO, C. O. et al. High volume Portland cement replacement: A review. Construction and Building Materials, v. 260, p. 120445, 2020.

Oliveira, Michelle & Da Costa Garcia Filho, Fabio & Luz, Fernanda & Zanelato, Euzébio & Alexandre, Jonas & Azevedo, Afonso & Marvila, Markssuel & Monteiro, Sergio. (2020). Addition of Ornamental Rock Residues on Ceramic Blocks: Physical and Chemical Analysis. Materials Science Forum. 1012. 10.4028/www.scientific.net/MSF.1012.262.

OJHA, C. S. P.; GOYAL, M. K.; KUMAR, S. Applying Fuzzy logic and the point count system to select landfill sites. Environmental Monitoring and Assessment, v. 135, n. 1–3, p. 99–106, 9 nov. 2007.

Peloso-Ribeiro, L., Passos, T.S., Azevedo, O.A., Filho, G.S. Feasibility of concrete with natural aggregate replacement by waste granite crushed (2017) ICF 2017 - 14th International Conference on Fracture, 1, pp. 870-871.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de Cimento Portland. 11 ed. rev. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

PRANAV, S. et al. Alternative materials for wearing course of concrete pavements: A critical review. Construction and Building Materials, v. 236, p. 117609, 2020.

QUEIRÓZ, F. C., CASTRO, N. F. Utilização de resíduos de rochas ornamentais como Eco-filer de concreto autodensável = Stone waste as Eco-filler for self-compacting concrete. In: Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM, 7. Rio de Janeiro, Anais...Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.

Ribeiro, C.E.G., Rodriguez, R.J.S., Vieira, C.M.F. Production of ornamental compound marble with marble waste and unsaturated polyester (2014) TMS Annual Meeting, pp. 129-136.

SEIFFERT, M. E. B. Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011

Silva, A. A. A. Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7., 2011, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: Excelência em Gestão, 2011. p. 1-19

SILVA, Danillo de Almeida. GEYER, André Luiz Bortolacci. Análise e classificação da forma do agregado graúdo britado para concreto. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 03, Ed. 12, Vol. 05, pp. 18-28 Dezembro de 2018. ISSN:2448-0959

SINGH CHOUHAN, H. et al. Influence of dimensional stone waste on mechanical and durability properties of mortar: A review. *Construction and Building Materials*, v. 227, p. 116662, 2019.

TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. A review on the viable technology for construction waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 47, p. 209-221, 2006.

TAMANNA, K. et al. Utilization of wood waste ash in construction technology: A review. *Construction and Building Materials*, v. 237, p. 117654, 2020.

TAVARES, L. R. C. et al. Influence of quartz powder and silica fume on the performance of Portland cement. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2020.

TORRES, T. F. ; SILVA NETO, R. . Experimental study on reusing ornamental rock waste for the production of structural concrete. In: World Congress and Expo on Recycling, 2015, Barcelona. *Proceedings of World Congress and Expo on Recycling, 2015*. v. 5. p. 75-75. Texto ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2017**. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 29 maio. 2019

ABREU, R. L. DE. **Map locator of Rio de Janeiro's Santo Antônio de Pádua city**, 5 jun. 2006. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RiodeJaneiro_Municip_SantoAntoniodePadua.svg>. Acesso em: 4 out. 2021

ALMADA, B. S. et al. Influence of the heterogeneity of waste from wet processing of ornamental stones on the performance of Portland cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120036, 2020.

ARAGONÉS-BELTRÁN, P. et al. An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 5, p. 1071–1086, maio 2010.

BEJA, I. A.; MOTTA, R.; BERNUCCI, L. B. Application of recycled aggregates from construction and demolition waste with Portland cement and hydrated lime as pavement subbase in Brazil. **Construction and Building Materials**, v. 258, p. 119520, 2020.

BOHNENBERGER, J. C. et al. Identification of areas for the deployment of a construction and demolition waste recycling plant using multicriteria. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 299–311, mar. 2018.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei nº 12305, de 02/08/2010**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 29 maio. 2019.

BRASIL, M. DO M. A. **Resolução CONAMA nº 307 de 05/07/2002**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98303>>. Acesso em: 29 maio. 2019.

CHENG, S.; CHAN, C. W.; HUANG, G. H. An integrated multi-criteria decision analysis and inexact mixed integer linear programming approach for solid waste management. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 16, n. 5–6, p. 543–554, ago. 2003.

COSTA, H. G. **Auxílio Multicritério à Decisão: Método AHP**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006.

COSTA, J. F. DA S.; CORREIA, M. G.; SOUZA, L. T. T. **AUXÍLIO À DECISÃO UTILIZANDO O MÉTODO AHP - ANÁLISE COMPETITIVA DOS SOFTWARES ESTATÍSTICOS**. . In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Carlos, São Paulo: 2010.

GONÇALVES, W.; RANDOW, R. R.; NASCIMENTO, F. Localização de instalações para destinação de resíduos sólidos da construção civil por meio da logística reversa e de um método multicritério. v. 38, p. 13, 2017.

HIETE, M. et al. Matching construction and demolition waste supply to recycling demand: a regional management chain model. **Building Research & Information**, v. 39, n. 4, p. 333–351, ago. 2011.

JAMALUDIN, A. H. et al. **Preliminary study on enhancing waste management best practice model in Malaysia construction industry**. . In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED PHYSICS AND ENGINEERING (ICAPE2016): PROCEEDINGS OF THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED PHYSICS AND ENGINEERING. Penang, Malaysia: 2017. Disponível em: <<http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4998379>>. Acesso em: 14 maio. 2019

JÄNICKE, M. “Green growth”: From a growing eco-industry to economic sustainability. **Energy Policy**, v. 48, p. 13–21, set. 2012.

KAM, T.; KAO, T.; LU, Y. Political dynamics, public goods and private spillovers. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 177, p. 237–254, 2020.

KROZER, Y. **Economics of Sustainable Technologies: Private and Public Costs and Benefits**. [s.l.] Elsevier, 2017. v. 1

LINTZ, R. C. C. et al. Study of the reuse of construction residues in concrete employed by blocks manufacture. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 166–181, abr. 2012.

LIU, J.; ZENG, Q.; XU, S. The state-of-art in characterizing the micro/nano-structure and mechanical properties of cement-based materials via scratch test. **Construction and Building Materials**, v. 254, p. 119255, 2020.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. D. P.; VALLE, T. F. Implementation of the Brazilian national policy for waste management. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 1, p. 24–51, 2018.

MARTÍNEZ-LAGE, I. et al. Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 171–176, 2012.

MENDIS, D.; HEWAGE, K. N.; WRZESNIEWSKI, J. Contractual obligations analysis for construction waste management in Canada. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 21, n. 7, p. 866–880, 10 jul. 2015.

MISTRI, A. et al. A review on different treatment methods for enhancing the properties of recycled aggregates for sustainable construction materials. **Construction and Building Materials**, v. 233, p. 117894, 2020.

MITTRI, S. H. M. et al. Utilisation of heat-treated ornamental stone processing waste as an addition to concretes to improve compressive strength and reduce chloride ion penetration. **Construction and Building Materials**, v. 188, p. 444–455, 2018.

MOHAN, H. T.; JAYANARAYANAN, K.; MINI, K. M. Recent trends in utilization of plastics waste composites as construction materials. **Construction and Building Materials**, v. 271, n. xxxx, p. 121520, 2021.

MORGAN, S. M. Hazardous Waste and Solid Waste Infrastructure. **Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management**, v. 8, n. 3, p. 208–218, jul. 2004.

NWANKWO, C. O. et al. High volume Portland cement replacement: A review. **Construction and Building Materials**, v. 260, p. 120445, 2020.

OECD. **Towards Green Growth: A summary for policy makers**. Disponível em: <<https://www.oecd.org/env/towards-green-growth-9789264111318-en.htm>>. Acesso em: 29 maio. 2019.

OJHA, C. S. P.; GOYAL, M. K.; KUMAR, S. Applying Fuzzy logic and the point count system to select landfill sites. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 135, n. 1–3, p. 99–106, 9 nov. 2007.

PRANAV, S. et al. Alternative materials for wearing course of concrete pavements: A critical review. **Construction and Building Materials**, v. 236, p. 117609, 2020.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008.

SILGADO, S. S. et al. Multi-criteria decision analysis to assess the environmental and economic performance of using recycled gypsum cement and recycled aggregate to produce concrete: The case of Catalonia (Spain). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 133, p. 120–131, jun. 2018.

SINGH CHOUHAN, H. et al. Influence of dimensional stone waste on mechanical and durability properties of mortar: A review. **Construction and Building Materials**, v. 227, p. 116662, 2019.

TAMANNA, K. et al. Utilization of wood waste ash in construction technology: A review. **Construction and Building Materials**, v. 237, p. 117654, 2020.

TAVARES, L. R. C. et al. Influence of quartz powder and silica fume on the performance of Portland cement. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2020.

TSENG, M.-L. Application of ANP and DEMATEL to evaluate the decision-making of municipal solid waste management in Metro Manila. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 156, n. 1–4, p. 181–197, set. 2009.

VAZZOLER, J. DOS S. et al. Investigation of the potential use of waste from ornamental stone processing after heat treatment for the production of cement-based paste. **Construction and Building Materials**, v. 177, p. 314–321, 2018.

VIEIRA, G. L.; MOLIN, D. C. C. D. Palavras-chave: Concreto. Pré-carregamento. Resistência à compressão. Resistência à tração. Microfissuras. n. 51, p. 25–40, 2011.

WU, H.-Y. et al. Ranking universities based on performance evaluation by a hybrid MCDM model. **Measurement**, v. 45, n. 5, p. 856–880, jun. 2012.

ZHANG, Y.; LING, T. C. Reactivity activation of waste coal gangue and its impact on the properties of cement-based materials – A review. **Construction and Building Materials**, v. 234, p. 117424, 2020.

ZHOU, C.; CHEN, Z. Mechanical properties of recycled concrete made with different types of coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 497–506, 2017.

ZULCÃO, R. et al. Life cycle assessment of the ornamental stone processing waste use in cement-based building materials. **Construction and Building Materials**, v. 257, 2020.

APÊNDICE 1 - DETALHAMENTO DO CÁLCULO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA A DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE

INTRODUÇÃO

No setor público as decisões são tomadas pelos decisores, que pode ser o prefeito ou o secretário de cada pasta. Tais decisões influenciam positivamente ou não a economia do município, uma vez que decisões erradas podem gerar gastos que poderiam ser evitados se uma melhor avaliação do problema fosse feita.

Como auxílio para os gestores na tomada de decisão, podem ser usados instrumentos cada vez mais eficientes e hábeis para tratar problemas complexos de maneira mais simples.

Esse trabalho trata de um problema comum em vários municípios, principalmente de pequeno a médio porte, que é o descarte correto do resíduo de construção civil (RCC) gerado na cidade. A análise multicriterial foi aplicada no município de São Fidélis/RJ e, seu detalhamento que será feito a seguir, poderá ser utilizado e adaptado para outros municípios com características semelhantes.

METODOLOGIA

Para a elaboração deste artigo, foi utilizado o método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que é considerado um dos mais conhecidos e utilizados métodos de análise multicriterial. O AHP tem por objetivo a escolha de alternativas em um processo que tenha em consideração diferentes critérios de avaliação. Neste método, o problema em estudo é estruturado em níveis hierárquicos. No primeiro nível da estrutura, encontra-se o foco principal do modelo e os seguintes níveis correspondem aos critérios e subcritérios. No último nível, destacam-se as alternativas que serão julgadas a partir de cada critério. Esta decomposição em hierarquias facilita a compreensão, pois cada critério pode ser analisado independentemente, reduzindo o erro potencial.

Classificação quanto ao tipo de decisão

Levando em consideração as possíveis demandas de um município de pequeno porte, foram determinadas três alternativas. O tipo de decisão foi priorização, onde as alternativas foram avaliadas a partir de critérios, sendo elas ordenadas da mais para a menos adequada.

Definição das Alternativas Viáveis

Para resolver o problema da destinação final dos resíduos de construção civil gerados no município, foram levantadas as seguintes alternativas:

Alternativa	Descrição
Descarte de RCC em aterro sanitário	Todo RCC do município deve ser diretamente descartado no aterro sanitário mais próximo.
Reuso de RCC em na fabricação de peças de concreto não estrutural	Realizar a reciclagem dos resíduos para que possam ser destinados a fabricação de tais peças.
Reuso de RCC para execução de pavimento primário em estradas vicinais	Também é necessário submeter os resíduos a um processo de reciclagem para, posteriormente, serem aplicados na pavimentação de estradas vicinais.

Definição da Família de Critérios

Os critérios foram definidos a partir da necessidade da análise de aspectos financeiros, ambientais e sociais. A Tabela 2 apresenta os critérios, suas descrições e a forma de aquisição de dados de cada um deles.

Critério	Código	Descrição	Forma de Aquisição de Dados
Custo de Implantação	CI	Detalhamento de todos os equipamentos necessários para implantação de cada alternativa.	Estimado a partir de dados disponibilizado pela prefeitura.
Custo de Operação	CO	Além do detalhamento dos equipamentos, também foi necessário apresentar os procedimentos e insumos para a execução de cada alternativa.	Também estimado a partir de dados da prefeitura.
Importância Ambiental	IA	Análise do potencial poluidor de cada alternativa.	Questionário aplicado aos membros da secretaria de meio ambiente do município, onde foi avaliado o potencial poluidor de cada alternativa.
Geração de Empregos	GE	Análise da mão de obra necessária para realização de cada alternativa.	Quantificado a partir dos dados fornecidos pela prefeitura.

Construção da Hierarquia

Após a definição das alternativas e dos critérios, foi construída a hierarquia representada na figura a seguir:



Julgamento dos Critérios e Alternativas

Para o julgamento de critérios e alternativas, o avaliador compara paritariamente os elementos de um nível hierárquico à luz de cada um dos elementos em conexão em uma camada superior da hierarquia e, logo após, são comparados à importância dos critérios à luz do foco principal. O Quadro 1 apresenta a escala fundamental de julgamentos de Saaty que foi utilizado para mensurar a importância de um critério ou alternativa.

Escala	Avaliação	Recíproco	Comentário
Igualmente preferido	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetivos
Moderadamente preferido	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro
Fortemente preferido	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro
Muito fortemente preferido	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação a outro e pode ser demonstrado
Extremamente preferido	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza
Valores intermediários	2, 4, 6 e 8	$\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$	Quando o consenso não for obtido e houver necessidade de uma negociação

A partir disso, o método AHP estabelece os vetores das Prioridades Médias Locais (PML), que identificam a importância em cada um dos nós de julgamentos, e o vetor da Prioridade Média Global (PMG), que evidencia a prioridade relacionada a cada alternativa em relação ao foco principal.

Avaliação dos Critérios à Luz do Critério Foco Principal (FP)

Para o julgamento dos critérios à luz do foco principal, foi aplicado um questionário aos membros do corpo técnico de engenharia civil e ambiental do município. Neste

questionário os analistas deveriam mensurar o peso de cada critérios na tomada de decisão. Após a pesquisa, os resultados foram convertidos para a escala fundamental de Saaty.

A Tabela 3 representa a matriz de julgamento dos critérios, definida a partir dos analistas e da escala fundamental de Saaty.

CRITÉRIOS				
	CI	CO	IA	GE
CI	1	1/3	1/3	1/3
CO	3	1	1/5	1
IA	7	5	1	5
GE	3	1	1/5	1

a) Cálculo da soma dos números de cada coluna da matriz de julgamentos.

CRITÉRIOS				
	CI	CO	IA	GE
CI	1	1/3	1/3	1/3
CO	3	1	1/5	1
IA	7	5	1	5
GE	3	1	1/5	1
SOMA	$1+3+7+3=14$	$1/3+1+5+1=22/3$	$1/3+1/5+1+1/5=26/15$	$1/3+1+5+1=22/3$

b) Divisão dos números de cada coluna pela soma referente à cada coluna.

CRITÉRIOS				
	CI	CO	IA	GE
CI	$1/14$	$(1/3) / (22/3)$	$(1/3) / (26/15)$	$(1/3) / (22/3)$
CO	$3/14$	$1 / (22/3)$	$(1/5) / (26/15)$	$1 / (22/3)$
IA	$7/14$	$5 / (22/3)$	$1 / (26/15)$	$5 / (22/3)$
GE	$3/14$	$1 / (22/3)$	$(1/5) / (26/15)$	$1 / (22/3)$

c) Após obter os resultados dos cálculos, chegamos ao quadro normatizado apresentado a seguir:

CRITÉRIOS				
	CI	CO	IA	GE
CI	0,07	0,05	0,19	0,07
CO	0,21	0,14	0,12	0,14
IA	0,50	0,68	0,58	0,68
GE	0,21	0,14	0,12	0,14

- d) As prioridades médias locais (PML) são obtidas através da média de cada linha do quadro normatizado.

CRITÉRIOS					
	CI	CO	IA	GE	PML
CI	0,07	0,05	0,19	0,07	$(0,07 + 0,05 + 0,19 + 0,07) / 4 = \mathbf{0,06}$
CO	0,21	0,14	0,12	0,14	$(0,21 + 0,14 + 0,12 + 0,14) / 4 = \mathbf{0,15}$
IA	0,50	0,68	0,58	0,68	$(0,50 + 0,68 + 0,58 + 0,68) / 4 = \mathbf{0,63}$
GE	0,21	0,14	0,12	0,14	$(0,21 + 0,14 + 0,12 + 0,14) / 4 = \mathbf{0,15}$

O vetor das Prioridades Médias Locais (PML) quantifica a importância de um critério sobre o outro. Sendo assim, o critério Importância Ambiental (IA) foi considerado o mais importante, e o critério Custo de Implantação (CI) foi o menos relevante.

Custo de Implantação

Para avaliar o Custo de Implantação (CI) de cada alternativa, foi levantado o valor de cada equipamento necessário e expresso no quadro a seguir:

Custo de Implantação:	Aterro Sanitário	Peças de Concreto	Pavimento Primário
Retroescavadeira (SINAPI)	R\$ 222.000,00	R\$ 222.000,00	R\$ 222.000,00
Britador (Orçamento)	-	R\$ 50.000,00	R\$ 50.000,00
10 Fôrmas (Orçamento)	-	R\$ 3.500,00	-
Total	R\$ 222.000,00	R\$ 275.500,00	R\$ 272.000,00

A partir desses custos, os valores para implantação das alternativas foram analisados a partir da escala fundamental de Saaty e chegou-se à matriz de julgamento indicada na tabela a seguir:

ALTERNATIVAS À LUZ DE CI			
CI	AS	PCNE	PP
AS	1	3	3
PCNE	1/3	1	1/2
PP	1/3	2	1

- a) Cálculo da soma dos números de cada coluna da matriz de julgamentos.

ALTERNATIVAS À LUZ DE CI			
CI	AS	PCNE	PP
AS	1	3	3
PCNE	1/3	1	1/2
PP	1/3	2	1
SOMA	$1+1/3+1/3=5/3$	$3+1+2=6$	$3+1/2+1=9/2$

- b) Divisão dos números de cada coluna pela soma referente à cada coluna.

ALTERNATIVAS À LUZ DE CI			
CI	AS	PCNE	PP
AS	$1 / (5/3)$	$3 / 6$	$3 / (9/2)$
PCNE	$(1/3) / (5/3)$	$1 / 6$	$1/2 / (9/2)$
PP	$(1/3) / (5/3)$	$2 / 6$	$1 / (9/2)$

- c) Após obter os resultados dos cálculos, chegamos ao quadro normatizado apresentado a seguir:

ALTERNATIVAS À LUZ DE CI			
CI	AS	PCNE	PP
AS	0,60	0,50	0,67
PCNE	0,20	0,17	0,11
PP	0,20	0,33	0,22

- d) As prioridades médias locais (PML) são obtidas através da média de cada linha do quadro normatizado.

ALTERNATIVAS À LUZ DE CI				
CI	AS	PCNE	PP	PML
AS	0,60	0,50	0,67	$(0,60 + 0,50 + 0,67) / 3 = \mathbf{0,59}$
PCNE	0,20	0,17	0,11	$(0,20 + 0,17 + 0,11) / 3 = \mathbf{0,16}$
PP	0,20	0,33	0,22	$(0,20 + 0,33 + 0,22) / 3 = \mathbf{0,25}$

Pode-se destacar que a Prioridade Média Local das alternativas à luz do critério custo de implantação foi $PML_{CI} = (0,59; 0,16; 0,25)$.

Custo de Operação

Para calcular o Custo de Operação (CO) para destinar os RCC para o aterro sanitário, foi levantado o seguinte quadro de custos:

Custo de Operação: Aterro sanitário	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Manutenção da retroescavadeira (SINAPI)	h	220	R\$ 14,32	R\$ 3.150,40
Óleo diesel para a retroescavadeira (SINAPI)	h	220	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Operador de máquinas (SINAPI)	h	220	R\$ 25,35	R\$ 5.577,00
Servente (SINAPI)	h	220	R\$ 19,32	R\$ 4.250,40
Transporte do entulho - São Fidélis x Conselheiro Josino = 80km; 672m ³ (SINAPI)	m ³ x km	53760	R\$ 1,10	R\$ 59.136,00
Descarte do RCC no aterro (R\$205,00/t) (Orçamento)	t	1000	R\$ 205,00	R\$ 205.000,00
			TOTAL	R\$ 286.048,00

Para calcular o Custo de Operação (CO) para a realizar reciclagem dos RCC e utilização em confecção de peças de concreto não estrutural, foram levantados os seguintes custos:

Custo de Operação: Peças de concreto	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Manutenção da retroescavadeira (SINAPI)	h	220,00	R\$ 14,32	R\$ 3.150,40
Óleo diesel para a retroescavadeira (SINAPI)	h	220,00	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Operador de máquinas (SINAPI)	h	220,00	R\$ 25,35	R\$ 5.577,00
Óleo diesel para o britador (Orçamento)	h	220,00	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Servente (SINAPI)	h	660,00	R\$ 19,32	R\$ 12.751,20
Cimento (Orçamento)	saco	3111,00	R\$ 18,00	R\$ 55.998,00
			TOTAL	R\$ 95.345,00

Para calcular o Custo de Operação (CO) para a realizar reciclagem dos RCC e utilização na pavimentação primária de estadas vicinais no município, foram levantados os seguintes custos:

Custo de Operação: Pavimentação	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Custo total
Manutenção da retroescavadeira (SINAPI)	h	220,00	R\$ 14,32	R\$ 3.150,40
Óleo diesel para a retroescavadeira (SINAPI)	h	220,00	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Operador de máquinas (SINAPI)	h	220,00	R\$ 25,35	R\$ 5.577,00
Óleo diesel para o britador (Orçamento)	h	220,00	R\$ 40,61	R\$ 8.934,20
Servente (SINAPI)	h	660,00	R\$ 19,32	R\$ 12.751,20
			TOTAL	R\$ 39.347,00

A partir desses custos, tem-se a matriz de julgamento representada pelo quadro a seguir, onde é apresentado o julgamento de valor de cada alternativa à luz do custo de operação.

ALTERNATIVAS À LUZ DE CO			
CO	AS	PCNE	PP
AS	1	1/5	1/7
PCNE	5	1	1/3
PP	7	3	1

a) Cálculo da soma dos números de cada coluna da matriz de julgamentos.

ALTERNATIVAS À LUZ DE CO			
CO	AS	PCNE	PP
AS	1	1/5	1/7
PCNE	5	1	1/3
PP	7	3	1
SOMA	1+5+7=13	1/5+1+3=21/5	1/7+1/3+1=31/21

b) Divisão dos números de cada coluna pela soma referente à cada coluna.

ALTERNATIVAS À LUZ DE CO			
CO	AS	PCNE	PP
AS	1 / 13	(1/5) / (21/5)	(1/7) / (31/21)
PCNE	5 / 13	1 / (21/5)	(1/3) / (31/21)
PP	7 / 13	3 / (21/5)	1 / (31/21)

- c) Após obter os resultados dos cálculos, chegamos ao quadro normatizado apresentado a seguir:

ALTERNATIVAS À LUZ DE CO			
CO	AS	PCNE	PP
AS	0,08	0,05	0,10
PCNE	0,38	0,24	0,23
PP	0,54	0,71	0,67

- d) As prioridades médias locais (PML) são obtidas através da média de cada linha do quadro normatizado.

ALTERNATIVAS À LUZ DE CO				
CO	AS	PCNE	PP	PML
AS	0,08	0,05	0,10	$(0,08 + 0,05 + 0,10) / 3 = \mathbf{0,07}$
PCNE	0,38	0,24	0,23	$(0,38 + 0,24 + 0,23) / 3 = \mathbf{0,28}$
PP	0,54	0,71	0,67	$(0,54 + 0,71 + 0,67) / 3 = \mathbf{0,64}$

A Prioridade Média Local das alternativas à luz do custo de operação foi $PML_{CO} = (0,073; 0,28; 0,64)$.

Importância Ambiental

Para mensurar o potencial poluidor de cada alternativa, foi elaborado um questionário aplicado ao corpo técnico da secretaria municipal de desenvolvimento ambiental, e a partir das respostas foi possível a elaborar a matriz de julgamento das alternativas à luz do critério importância ambiental, representada pelo quadro a seguir:

ALTERNATIVAS À LUZ DE IA			
IA	AS	PCNE	PP
AS	1	1/7	1/7
PCNE	7	1	1
PP	7	1	1

- a) Cálculo da soma dos números de cada coluna da matriz de julgamentos.

ALTERNATIVAS À LUZ DE IA			
IA	AS	PCNE	PP
AS	1	1/7	1/7
PCNE	7	1	1
PP	7	1	1
SOMA	$1+7+7=15$	$1/7+1+1=15/7$	$1/7+1+1=15/7$

- b) Divisão dos números de cada coluna pela soma referente à cada coluna.

ALTERNATIVAS À LUZ DE IA			
IA	AS	PCNE	PP
AS	$1 / 15$	$(1/7) / (15/7)$	$(1/7) / (15/7)$
PCNE	$7 / 15$	$1) / (15/7)$	$1) / (15/7)$
PP	$7 / 15$	$1) / (15/7)$	$1) / (15/7)$

- c) Após obter os resultados dos cálculos, chegamos ao quadro normatizado apresentado a seguir:

ALTERNATIVAS À LUZ DE IA			
IA	AS	PCNE	PP
AS	0,06	0,06	0,06
PCNE	0,47	0,47	0,47
PP	0,47	0,47	0,47

- d) As prioridades médias locais (PML) são obtidas através da média de cada linha do quadro normatizado.

ALTERNATIVAS À LUZ DE IA				
IA	AS	PCNE	PP	PML
AS	0,06	0,06	0,06	$(0,06 + 0,06 + 0,06) / 3 = \mathbf{0,06}$
PCNE	0,47	0,47	0,47	$(0,47 + 0,47 + 0,47) / 3 = \mathbf{0,47}$
PP	0,47	0,47	0,47	$(0,47 + 0,47 + 0,47) / 3 = \mathbf{0,47}$

O vetor da Prioridade Média Local à luz do critério importância ambiental foi $PML_{IA} = (0,067; 0,47; 0,47)$.

Geração de Empregos

Após a aquisição de dados da prefeitura, chegou-se ao valor de geração de dois empregos na destinação dos RCC no aterro sanitário, quatro empregos na reutilização dos RCC para confecção de peças de concreto não estrutural e quatro empregos na reutilização dos RCC para execução de pavimento primário em estradas vicinais. O quadro a seguir indica a matriz de julgamento das alternativas à luz do critério geração de empregos.

ALTERNATIVAS À LUZ DE GE			
GE	AS	PCNE	PP
AS	1	1/2	1/2
PCNE	2	1	1
PP	2	1	1

- a) Cálculo da soma dos números de cada coluna da matriz de julgamentos.

ALTERNATIVAS À LUZ DE GE			
GE	AS	PCNE	PP
AS	1	1/2	1/2
PCNE	2	1	1
PP	2	1	1
SOMA	$1+2+2=5$	$1/2+1+1=5/2$	$1/2+1+1=5/2$

- b) Divisão dos números de cada coluna pela soma referente à cada coluna.

ALTERNATIVAS À LUZ DE GE			
GE	AS	PCNE	PP
AS	$1 / 5$	$(1/2) / (5/2)$	$(1/2) / (5/2)$
PCNE	$2 / 5$	$1 / (5/2)$	$1 / (5/2)$
PP	$2 / 5$	$1 / (5/2)$	$1 / (5/2)$

- c) Após obter os resultados dos cálculos, chegamos ao quadro normatizado apresentado a seguir:

ALTERNATIVAS À LUZ DE GE			
GE	AS	PCNE	PP
AS	0,20	0,20	0,20
PCNE	0,40	0,40	0,40
PP	0,40	0,40	0,40

- d) As prioridades médias locais (PML) são obtidas através da média de cada linha do quadro normatizado.

ALTERNATIVAS À LUZ DE IA				
IA	AS	PCNE	PP	PML
AS	0,20	0,20	0,20	$(0,20 + 0,20 + 0,20) / 3 = \mathbf{0,20}$
PCNE	0,40	0,40	0,40	$(0,40 + 0,40 + 0,40) / 3 = \mathbf{0,40}$
PP	0,40	0,40	0,40	$(0,40 + 0,40 + 0,40) / 3 = \mathbf{0,40}$

Destaca-se então, o vetor da Prioridade Média Local à luz do critério geração de empregos $PML_{GE} = (0,20;0,40;0,40)$, para uma razão de consistência de 0.

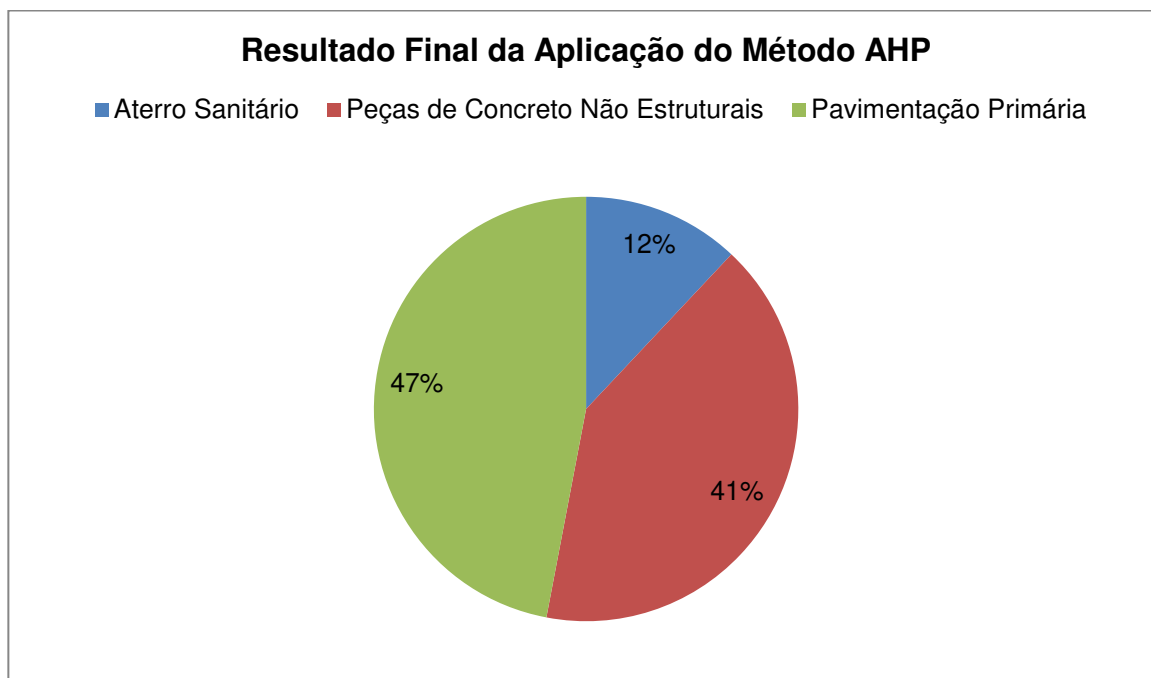
Cálculo da Prioridade Média Global (PMG)

Por fim, foi necessário calcular o vetor de Prioridades Médias Globais (PMG). O quadro a seguir indica a matriz aplicada para o cálculo do vetor de PMG para o método utilizado na pesquisa.

MATRIZ DO VETOR DE PG					
Critérios	CI	CO	IA	GE	PMG
AS	0,064	0,15	0,63	0,15	$(0,064 \times 0,59) + (0,15 \times 0,074) + (0,63 \times 0,067) + (0,15 \times 0,20) = \mathbf{0,12}$
PCNE	0,16	0,28	0,47	0,40	$(0,064 \times 0,16) + (0,15 \times 0,28) + (0,63 \times 0,47) + (0,15 \times 0,40) = \mathbf{0,41}$
PP	0,25	0,64	0,47	0,40	$(0,064 \times 0,25) + (0,15 \times 0,64) + (0,63 \times 0,47) + (0,15 \times 0,40) = \mathbf{0,47}$

A figura a seguir indica o gráfico que representa o resultado obtido através da aplicação do método para determinar a destinação final dos RCC para o município de São Fidélis. Pode-se observar que a alternativa pavimentação primária obteve 47% da prioridade global, seguida

pela alternativa de peças de concreto não estrutural com 41% e, por fim, e o descarte em aterro sanitário com 12%.



CONCLUSÃO

O objetivo deste artigo foi alcançado através da aplicação do método multicriterial AHP, que determinou a mais adequada alternativa para destinação final para os resíduos sólidos provenientes da construção civil no município de São Fidélis. Os critérios propostos foram analisados e quantificados por meio de um questionário aplicado a especialistas e gestores do município. As alternativas foram avaliadas de acordo com cada critério através da aplicação do método utilizado.

Os resultados obtidos apontaram que a alternativa pavimentação primária deve ter prioridade (47%) na escolha da destinação final de RCC do município, seguida por peças de concreto não estrutural (41%) e, por fim, o descarte em aterro sanitário (12%).

Este artigo pode ser uma importante ferramenta para o gerenciamento de resíduos sólidos do município, pois apresenta uma análise multicriterial primária para apoio à tomada de decisão. Além disso, pode servir como base para estudos relacionados à destinação de RCC em outros municípios de pequeno porte.