



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS CORRÊA CAETANO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
COMO AGREGADO PARA CONCRETO COMPACTADO A ROLO**

PALMAS

2019

LUCAS CORRÊA CAETANO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO PARA CONCRETO COMPACTADO A ROLO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenheiro Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Me. Cleber Decarli de Assis

**PALMAS
2019**

Corrêa Caetano, Lucas

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO PARA CONCRETO COMPACTADO A ROLO / Lucas Corrêa Caetano. – Palmas, 2019

93 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação do Tocantins, Campus Palmas, 2019.

Orientador(a): Prof. Me. Cleber Decarli de Assis

1. Concreto compactado a rolo 2. Resíduos de construção 3. Barragens

I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

LUCAS CORRÊA CAETANO

**Análise de Viabilidade de Utilização de Resíduos de Construção e
Demolição como Agregado para Concreto Compactado a Rolo.**

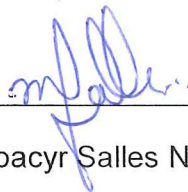
Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso
de Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: 10/07/19

BANCA AVALIADORA



Prof. Me. Cleber Decarli de Assis
Orientador



Prof. Dr. Moacyr Salles Neto



Eng. Cleiton de Assis Melquiades Turibio

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por permitir todas as vitórias em minha vida, todos os obstáculos enfrentados que permitiram o acúmulo de experiência. Todas as bênçãos no decorrer dos anos e por proporcionar que essa etapa em minha vida se concluísse.

A minha família, destacando meus Pais Leonides e Elismar por terem lutado ao longo dos anos para me proporcionar tudo aquilo que não tiveram, agradeço por seu exemplo de fé, trabalho duro e responsabilidade. Agradeço por terem acreditado em mim e por investirem tanto trabalho duro para que eu chegasse onde eu estou hoje. Os momentos de dificuldades foram amparados por vocês e agradeço muito pelo incentivo.

Agradeço aos meus Avós por terem incentivado meus estudos e ajudarem de maneira muito importante para mim no começo desse processo. Sem esse esforço inicial provavelmente eu não teria prosseguido.

Agradeço ao professor Me Cleber Decarli de Assis por ter sido meu orientador nesse estudo, por todos os conselhos no decorrer do processo, pelos momentos engraçados e as vezes estressantes, mas que fizeram com que o vínculo de aluno e professor aumentasse.

A minha namorada Ruth por ter acompanhado todo esse processo, por realizar inúmeros incentivos em momentos difíceis durante o trabalho.

A todos os amigos que conquistei na graduação, além de colegas de profissão se tornaram amigos, algo de extrema importância pois são lembrados pela vida toda.

Agradeço a todos os profissionais envolvidos mesmo que indiretamente no meio dessa caminhada.

Muito obrigado por todo o incentivo ao longo do tempo, orientações, cuidado, amor e carinho.

Agradeço muito!

RESUMO

O desenfreado crescimento populacional fez com que o mercado da construção aumentasse, de forma proporcional, a produção de resíduos gerados em suas atividades. O custo de recolhimento dos resíduos de construção tem se tornado cada vez maior devido a distância crescente entre os pontos de coleta e depósito, dado o crescimento das áreas urbanas. Inúmeras cidades já estudam uma destinação para esse material, sendo um desses fins a produção de blocos. É importante destacar que as fontes de agregados convencionais em alguns locais já estão bastante escassas e o custo para utilização desses materiais se torna elevado devido às longas distâncias de transporte a serem percorridas. Essas limitações levam alguns atores a buscarem alternativas aos agregados naturais, como por exemplo na composição de concreto compactado a rolo, comumente utilizado em pavimentos e barragens. No entanto, o uso de materiais alternativos como método construtivo deve apresentar desempenho satisfatório se comparado aos materiais convencionais. Por esse motivo é notório o crescimento de pesquisas relacionadas a área de elaboração de CCR juntamente com RCD de maneira a utilizá-lo em pavimentos e em pequenas barragens. O objetivo geral do trabalho é analisar o comportamento de um CCR convencional comparado com um CCR com RCD em sua composição, analisando em laboratório as características que possam vir a traçar o comportamento desses materiais em diferentes traços, de maneira que ao final será possível analisar a utilização de RCD como agregado para esse tipo de método construtivo.

Palavras-chave: Concreto compactado a rolo. Resíduos de construção. Barragens

ABSTRACT

The rampant population growth made the construction market to increase, proportionally, the production of waste generated in its activities. the cost of collecting construction waste has become steadily increasing due to the increasing distance between collection and deposit points given the growth of urban areas. Numerous cities have already studied a destination for this material, one of which is the production of blocks. It is important to note that conventional aggregate sources in some locations are already quite scarce and the cost of using these materials becomes high due to the long transport distances to be traveled. These limitations lead some actors to seek for alternatives to the natural aggregates, such as in the composition of roller-compacted concrete commonly used in pavements and dams. However, the use of alternative materials as a constructive method must present satisfactory performance when compared to conventional materials. For this reason, it is notorious the growth of researches related to the field of elaboration of RCC with addition of construction waste to be used such as in pavements and in small dams. The general objective of this work is to analyze the behavior of a conventional RCC compared to a RCC with construction waste in its composition, analyzing in laboratory the characteristics that can trace the behavior of these materials in different dosages, so that in the end it will be possible to analyze the use of construction waste as an aggregate for this type of constructive method.

Key words: Roll compacted concrete. Building wast. Dams

LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCR – Concreto Compactado a Rolo
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CVC – Concreto Massa Convencional Vibrado
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA – Estados Unidos da América
IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto
MPA – Mega Pascal
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
NM – Norma Mercosul
RCC – Resíduos da construção civil
RCD – Resíduo de Construção e Demolição
SINAPI – Sistema Nacional de Preços e Índices Para a Construção Civil
TCC – Trabalho de Conclusão de Curso
USACE – US Army Corps of Engineers

LISTA DE SIMBOLOS

A - Porcentagem de absorção
C – Absorção de água por capilaridade
 d_1 - Massa específica aparente do agregado seco
 d_2 - Massa específica do agregado saturado
 d_3 - Massa específica do agregado
H - Altura da coluna d'água
 I_v - Índice de volume de vazios nos agregados
K - Coeficiente de permeabilidade
L - Altura do corpo de prova
 m_{ar} - Massa do recipiente mais agregado
 m_e - Massa específica do concreto
 m_i - Massa da amostra saturada após fervura
 m_u - Massa úmida do solo compactado
 m_r - Massa do recipiente vazio
 m_s - Massa da amostra seca
 m_{sat} - Massa da amostra saturada
 p_{ap} - Massa unitária do agregado
Q - Vazão de entrada
 p_d - Massa específica aparente seca
 p_w - Massa específica da água
 p_s - Massa específica dos grãos do solo
S - Grau de Saturação
V - Volume do recipiente
 V_a - Volume de água adicionado
W - Teor de Umidade

Lista de figuras

Figura 1. Resíduos de construção classe A.....	22
Figura 2. Unidade de processamento de RCC localizada no bairro Estoril em BH.....	23
Figura 3. Unidade de processamento de bloco produzidos com RCC	25
Figura 4. Primeira utilização de CCR na usina de Itaipu	31
Figura 5. Conceito do corpo da barragem em CCR	32
Figura 6. Central de concreto da UHE Lajeado.....	36
Figura 7. Preparação da fundação na UHE Lajeado.....	36
Figura 8. Procedimentos para realização do método rampado	38
Figura 9. Processo de execução do método rampado.....	38
Figura 10. Lançamento de CCR	39
Figura 11. Seção transversal da ensecadeira da barragem de Shimen.....	40
Figura 12. Material após moagem	56
Figura 13. Permeâmetro	61
Figura 14. Esquematização do permeâmetro.....	62
Figura 15. Realização do ensaio massa específica do cimento Portland	65
Figura 16. Corpos de prova retificados	66
Figura 17. Aspecto visual CCR	71
Figura 18. Traços de CCR (traço 1 e traço 2).....	73
Figura 19. Traços de CCR (traço 3 e traço 4).....	73
Figura 20. Ensaio de massa específica do CCR.....	74
Figura 21. Cura do concreto	76
Figura 22. faixa limite para realização do ensaio	77
Figura 23. Ensaio de absorção de água por capilaridade	77
Figura 24. Disposição do corpo de prova	80

Lista de tabelas

Tabela 1. Classificação dos resíduos de construção	21
Tabela 2. Acúmulo de resíduos em diferentes cidades	24
Tabela 3. Requisitos técnicos e propriedades	32
Tabela 4. Resultados para CCR com diferentes composições de agregados	34
Tabela 5. Custos unitários para pavimentação com CCR	35
Tabela 6. Série de peneiras	57
Tabela 7. Granulometria agregado miúdo	58
Tabela 8. Composição de massas e absorção (agregado miúdo)	58
Tabela 9. Granulometria RCD	59
Tabela 10. Composição de massas e absorção (RCD)	60
Tabela 11. Granulometria agregado graúdo	60
Tabela 12. Composição de massas e absorção (agregado graúdo)	61
Tabela 13. Ensaio de compactação	63
Tabela 14. Leituras de 24h, 48h e 72h para determinação de absorção por capilaridade	78
Tabela 15. Resultados de absorção	78
Tabela 16. Determinação das massas secas, saturadas e imersas	82

Lista de gráficos

Gráfico 1. Curva de compactação	64
Gráfico 2. Resistências alcançadas variando percentual de água	67
Gráfico 3. Resistências alcançadas variando o percentual de cimento	69
Gráfico 4. Resistências alcançadas variando percentual de cimento segunda etapa	70
Gráfico 5. Curva de relação resistência com a/c	70
Gráfico 6. Massas específicas dos traços	75
Gráfico 7. Resistência a compressão dos traços	79
Gráfico 8. Resistência a tração do CCR	81
Gráfico 9. Percentual de absorção do CCR	82
Gráfico 10. Percentual de índice de vazios	83
Gráfico 11. Massa específica seca do CCR	84
Gráfico 12. Massa específica saturada do CCR	85
Gráfico 13. Massa específica real do CCR	85

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
2. PROBLEMATICA DA PESQUISA.....	18
3. JUSTIFICATIVA.....	19
4.OBJETIVOS.....	20
4.1 Objetivo geral	20
4.2 Objetivos específicos	20
5. REVISÃO DE LITERATURA	21
5.1 Os resíduos de construção civil no Brasil.....	24
5.2.1 Possibilidades de reaproveitamento.....	26
5.2 Concreto Compactado a Rolo	27
5.2.1 Vantagens e desvantagens do CCR	30
5.2.2 Utilização	30
5.3 CCR com agregado reciclado	33
5.4 Aplicação	35
5.5 Métodos de lançamento.....	37
5.5.1 Método Tradicional.....	37
5.5.2 Método Rampado	37
5.6 Estabilidade e tombamento	39
5.7 Estabilidade ao deslizamento	40
5.8 Ligações horizontais entre as camadas de CCR	40
5.9 Cuidados em relação a contaminação do CCR	41
5.10 Dosagem.....	41
5.10.1 Método do US Army Corps Of Engineers.....	42
5.10.2 Método de dosagem do CCR pobre.....	42
5.10.3 Método da alta pasta	43
5.10.4 Método Roller compacted concrete (RCD) ou método japonês	43
5.10.5 Método da máxima densidade	43
5.10.6 Método brasileiro do alto teor de finos.....	43
5.10.7 Método utilizado no laboratório de FURNAS	43
5.10.8 Água na mistura	44
6. Procedimentos metodológicos	44
6.1 Extração do material.....	45
6.2 Caracterização do material	45
6.2.1 Ensaio de granulometria.....	46
6.2.2 Determinação de massa unitária e do volume de vazios.....	46

6.2.3 Determinação de massa específica e massa específica aparente	46
6.2.4 Determinação de consistência	47
6.2.5 Ensaio coeficiente de permeabilidade.....	48
6.2.6 Ensaio de compactação	49
6.3 Procedimento para CCR	50
6.4 Ensaio e procedimentos para análise dos resultados	51
6.4.1 Resistência a compressão	51
6.4.2 Resistência a tração por compressão diametral	51
6.4.3 Absorção de água	52
6.4.4 Permeabilidade a água.....	53
6.4.5 Teor de água	53
6.4.6 Absorção de água por capilaridade	54
6.4.7 Consistência e massa específica pelo Vebê modificado	54
6.5 Estudo de caso.....	55
7. RESULTADOS	55
7.1 Definição dos agregados utilizados	55
7.2 Processo de moagem do RCD	56
7.3 Caracterização dos agregados	56
7.3.1 Agregado miúdo	57
7.3.2 RCD	59
7.3.3 Agregado graúdo	60
7.4 Determinação do coeficiente de permeabilidade a uma carga variável	61
7.5 Ensaio de compactação (RCD)	63
7.6 Massa específica do cimento	64
7.7 Método de regularização das superfícies	65
7.8 Analisando teor de água e quantidade de cimento	66
7.8.1 Análise do percentual de água	66
7.8.2 Análise do percentual de cimento	68
7.8.3 Análise do percentual de cimento segunda etapa	69
7.8.4 Curva de relação resistência x relação água cimento	70
7.9 Definição da quantidade de traços e corpos de prova	71
7.10 Mudanças nos percentuais	72
7.11 Ensaio de consistência e massa específica pelo Vebê modificado	73
7.12 Metodologia de cura do concreto	75
7.13 Absorção de água por capilaridade	76
7.14 Resultados para resistência a compressão	79

7.15 Resultados para resistência a tração.....	80
7.16 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	81
7.16.1 Absorção do dos traços de CCR	82
7.16.2 Índice de vazios dos traços de CCR	83
7.16.3 Massa específica seca dos traços de CCR	84
7.16.4 Massa específica saturada dos traços de CCR	84
7.16.5 Massa específica real dos traços de CCR	85
7.17 Análise de perda de resistência	86
8. CONCLUSÃO.....	87
8.1 Recomendações para trabalhos futuros	89
8. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	90

1. INTRODUÇÃO

O campo da engenharia civil vem aderindo a novas tecnologias com o passar dos anos, de certa forma essas tecnologias, sejam elas para melhorar a execução, o planejamento, ou que estejam vinculadas a fatores externos como a preocupação ecológica. De maneira geral, para que se possa realizar um determinado reaproveitamento de material, deve existir um ponto de interesse por parte da empresa, pois será gasto tempo, energia e dinheiro, e esses gastos devem ser retribuídos com a atitude de reaproveitamento.

De acordo como (ZORDAN, 1997) o RCD corresponde a uma significativa parcela em relação a todos os resíduos municipais, sejam elas domésticos, comerciais ou hospitalares. Gerir toda essa porção se torna muito difícil e muito tendencioso ao erro, uma vez que esse processo está em constante crescimento.

Visando um grande potencial na utilização de RCD, a ISCOWA (the international Society for the environmental and technical implications of construction with alternative materials), elabora pesquisas envolvendo a reciclagem desses tipos de resíduos, elaborando congressos voltados exclusivamente a esta área.

A resolução CONAMA n° 307 (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estipula que todos os municípios devem possuir a destinação adequada para seus resíduos provenientes da construção civil. De modo que RCD não pode ser depositado em aterro juntamente com os resíduos domiciliares, deverá constar no programa municipal planos de reutilização dos resíduos gerados nas obras.

É notório a importância da utilização de resíduos sólidos, como forma de logística reversa o qual possa beneficiar construtores reduzindo seus gastos e colaborando para o meio ambiente, evitando o descarte indevido de materiais. Desse modo será analisado o comportamento de RCD da classe A em meio ao método construtivo de concreto compactado a rolo.

De acordo com (OLIVEIRA, 1995) o CCR é um concreto de consistência seca, de forma que é transportado, espalhado e compactado de forma contínua. Vem sendo muito utilizado com o passar dos anos depois de eventos de muitas construções de barragens do tipo gravidade (DONATO, 2003).

É de suma importância mencionar que segundo (RICCI, 2007) olhando para o cenário construtivo do Brasil se todo o RCD de origem mineral fosse reutilizado

no campo da construção civil a participação seria de apenas cerca de 16,2%. Pois o consumo de agregados no país anualmente chega a 380×10^6 toneladas. Os setores de pavimentação e obras públicas poderiam consumir em média 84%. De modo que a utilização de RCD se torna uma fonte de matéria prima alternativa para o campo de agregados naturais.

sobretudo como proposta de reduzir o consumo de cimento, barateando o custo em aglomerante, realizando uma execução mais rápida com menos mão de obra aplicada. O método construtivo se tornou tão atraente que também passou a ser utilizado na área de pavimentações.

(ANDRIOLO, 2015) afirma que o Brasil é um dos países que apresenta uma ampla área de pesquisa relacionadas ao CCR, além de ser o segundo país construtor de barragens de CCR. De modo que o vasto território e a diversidade de certa forma induzem a busca de novas tecnologias aplicadas ao método construtivo, com o intuito de solucionar os obstáculos referentes a cada região. Evitando a busca de soluções externas que gerariam gastos exacerbados.

Além disso o CCR conforme afirmação de (TRABOULSI, 2007) o uso do CCR como método construtivo garante uma diminuição considerável no tempo de realização da obra, os equipamentos para a execução são de grande disponibilidade no mercado, sendo os mesmos utilizados em pavimentações convencionais. O método promove um grande retorno de soluções para barramentos hidráulicos.

Desse modo, o presente trabalho se propõe a caracterizar o RCD tipo classe A como agregado miúdo, comparando suas características com os agregados convencionais, brita e areia da região de Palmas -TO. Para que posteriormente seja produzido um traço de CCR, que será diretamente constituído de agregados convencionais e comparado com o traço com percentual de agregados de RCD.

Serão analisadas suas características como agregado para CCR, examinando as propriedades em seu estado fresco e endurecido, buscando responder como é o comportamento no CCR, observando ao final, se há ou não viabilidade de uso do material como agregado de CCR.

2. PROBLEMATICA DA PESQUISA

A indústria da construção civil embora seja uma grande geradora de empregos, agregando positivamente ao mercado de trabalho, também é uma grande geradora de resíduos sólidos (PINTO, 1999). De modo a salientar a quantidade para (JOHN, 2000) no Brasil são produzidos cerca de 35 milhões de toneladas de material aglomerante por ano, utilizado juntamente com agregados, somando cerca de 210 milhões de toneladas anualmente. Os resíduos provenientes dos trabalhos da construção civil segundo (BABILON, 2008), grande parte são destinados a locais incorretos. O que diretamente provoca impactos ambientais.

O crescimento desenfreado de produção de resíduos se deve ao crescimento urbano acelerado, gerando zoneamentos não planejados, dificultando o processo de gestão e coleta. De forma que os pontos de coleta se tornam mais distantes e menos viáveis financeiramente (CARNEIRO et al., 2000). Provocando grande produção de resíduos que muitas vezes não tem a destinação correta.

Segundo (JOHN, 2000), o esgotamento dos recursos naturais próximos as cidades fazem com que recursos como areia sejam transportados a grandes distancias, gerando um alto consumo de energia e poluição.

As perdas de material têm sua origem durante toda a vida da obra, as perdas que ultrapassem o limite mínimo são caracterizadas como desperdício de material; como por exemplo, a etapa de projeto quando é escolhido um método construtivo que possa ser inadequado, ocasionando retrabalho e maior índice de resíduos produzidos na obra.

O que de fato se torna um grande obstáculo, é a utilização dos resíduos sólidos de forma a gerar economias futuras através da logística reversa, seja ela na mesma área de geração ou demais métodos construtivos.

Como o método executivo de construção de barramentos utilizando de concretos compactados a rolos vem sendo cada vez mais estudado e benéfico com o passar dos anos segundo (DONATO, 2003), o qual apresenta características próximas ao de um solo cimento.

O corpo de engenheiros do exército dos EUA US army Corps of Engineers (USACE) afirma que o CCR pode ser aplicado em qualquer situação em que se deseje obter um concreto com zero de slump. De forma que o CCR é transportado, aplicado

conforme equipamentos utilizados em obras de terra/enrocamento. Realizando assim uma amostra de concreto o qual é analisada como um solo.

O estudo dispõe a analisar o comportamento do concreto compactado a rolo, com utilização dos resíduos sólidos como agregados, buscando responder ao final os seguintes questionamentos: Como é o seu comportamento quando utilizado em CCR? E se existe viabilidade em sua utilização nesse método construtivo?

3. JUSTIFICATIVA

Conforme afirma (ZORDAN, 1997) os locais para disposição final dos resíduos sólidos da construção civil estão cada vez mais limitados, pois não há um reaproveitamento total, somente em sua grande maioria a sua disposição. Desse modo, o cenário foi alterado para que muitos países buscassem novos métodos de gestão para com os resíduos sólidos, buscando novas alternativas para o seu uso.

A disposição irregular de resíduos sólidos da construção civil pode provocar prejuízo ao paisagismo, o assoreamento de córregos, enchentes, obstrução parcial ou total de vias, além de que dependendo da classe do resíduo pode ser tornar um proliferador de doenças. Salientando que a coleta de materiais depositados em locais irregulares, gera custos que poderiam ser evitados para os representantes municipais.

O ramo da engenharia civil vem demonstrando avanços em relação a política de qualidade, elaborando planos de gerenciamento, buscando diminuir os gastos com menos desperdício de materiais empregados, o que por sua vez minimiza mesmo que indiretamente o impacto ambiental.

Segundo Paula (2010, p. 20) afirma que:

“O aproveitamento do RCD reciclado deve configurar uma das práticas da indústria da Construção Civil na construção de novas habitações com o intuito de minimizar o uso indiscriminado de recursos naturais e a consequente escassez desse produto. Uma vez adotada tal prática, ascenderá significativamente para a redução dos níveis de impacto ambiental e consumo de energia na cadeia produtiva dos subprodutos da construção civil”.

Os volumes de RCD aumentam progressivamente com o passar do tempo, enquanto que as jazidas de agregados naturais estão se tornando cada vez mais escassas, já atingindo alguns locais, desse modo a distância entre as jazidas disponíveis e os locais de consumo se tornam cada vez maiores, o que aumenta

diretamente o custo de produção, transporte e comercialização, pois inflige diretamente ao preço final de comércio das obras (CARRIJO, 2005). desse modo é vantajoso a utilização de RCD como forma de agregados na composição de CCR.

Entende-se que com a reutilização de RCD no campo da Engenharia Civil poderá proporcionar redução de gastos aliado a diminuição de impactos ambientais causados pelo descarte indevido de materiais.

Uma possível utilização de seu uso, seria em composição como agregado para os concretos compactados a rolo, utilizados em barragens. Barateando o custo de produção e dando uma destinação adequada para o resíduo da construção civil. A utilização do RCD diminuiria a produção de aterros, preserva os recursos naturais, pois evita a disposição em rios e lagos.

4.OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Analisar as características dos resíduos de construção civil de forma a produzir um comparativo entre eles e os agregados usualmente empregados na região do Tocantins, buscando responder se há ou não a sua viabilidade como uso de agregado para concretos compactados a rolos.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o resíduo sólido como agregado
- Analisar as características do agregado comum do Tocantins, brita e areia em relação aos resíduos sólidos da classe A, com sua função especificadamente para utilização como agregado em CCR.
- Buscar uma nova destinação para os resíduos de construção que não são dispostos em local adequado.

5. REVISÃO DE LITERATURA

A Resolução 307 CONAMA estabelece que resíduo da construção civil ou RCD, é o material proveniente de reformas, reparos e demolições no mercado da construção civil, além de preparação e escavação de terrenos. Tais materiais são comumente conhecidos como entulhos de obras, podendo ser tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas madeiras, compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétricas e etc.

Ainda conforme a resolução 307 do CONAMA as unidades geradoras são denominadas as pessoas físicas ou jurídicas, sejam públicas ou privadas, responsáveis pela geração de resíduos. Os transportadores são pessoas físicas ou jurídicas que são encarregados da coleta de material.

Os RCD São classificados conforme a sua tipologia, mostrada e explicada na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1. Classificação dos resíduos de construção

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONTRUÇÃO	
CLASSE A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como por exemplo os agregados. Como os provenientes de reformas, demolições, infraestrutura, inclusive procedimento de terraplanagem (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimentos, tubos)
CLASSE B	Resíduos recicláveis para outras destinações, como por exemplo os plásticos, papeis, papelões, vidros, madeira.
CLASSE C	Resíduos sem tecnologias ou aplicações economicamente viáveis
CLASSE D	Resíduos perigosos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos.

Fonte: Adaptado da RESOLUÇÃO CONAMA 307

Para o presente estudo, será feito o limitante de resíduos classe A, utilizando somente materiais provenientes de cerâmica e de concreto.

O aspecto visual do resíduo sólido da classe A pode ser visualizado na Figura 1 a seguir.

Figura 1. Resíduos de construção classe A



Fonte: Babilon, Anderson Luiz (2008, p. 18).

De acordo com a ABNT NBR 10004:2004 resíduos sólidos podem ser classificados no estado sólido e no estado semi-sólido, que são originados de atividades relacionadas ao campo industrial, doméstico, comercial, agrícola e hospitalar. Conforme o fluxograma apresentado na figura 1 da NBR 10004, pode-se entender a ordem de classificação dos resíduos.

A identificação do resíduo se dá pelo conhecimento do processo ou atividade de origem, além de analisar os seus constituintes e características de modo a realizar um comparativo com substâncias já classificadas que o impacto a saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Pode ser baseado de maneira direta obtendo a identificação do processo produtivo. Ainda conforme a NBR 10004, o laudo deve conter identificação quando a origem do resíduo, descrição do processo de segregação, e descrição do critério adotado para análise dos parâmetros.

De maneira que podem ser classificados em:

- Resíduos classe I – Perigosos
- Resíduos classe II – Não perigosos
- Resíduos classe II A – Não inertes
- Resíduos classe II B – Inertes

Os resíduos classe I segundo (PAULA, 2010) de maneira geral são aqueles que com suas características podem apresentar risco a saúde pública, ou impactos

ao meio ambiente se forem manuseados de forma indevida. Resíduos da classe II B são aqueles que não se solubilizam. Resíduos da classe II A são aqueles que não se enquadraram na classe I e na classe II B.

De acordo com (MANAHAN, 2001) o sucesso de uma gestão de resíduos sólidos é dado pela redução da quantidade e do perigo que eles possam causar, de forma que para administrá-lo. Seguintes os procedimentos descritos por ele:

- Não os produzir
- Se os produzir, reduzir a parcelas mínimas
- Procurar meios de reciclá-los
- Se os produzir de formas não reciclável, tratá-los de preferência para que não os torne perigosos
- Se não for possível torná-los não perigosos, acomodá-los em local seguro
- Uma vez acomodados, monitorá-los de modo a não produzir efeitos adversos

Os resíduos da construção civil (RCC) são geridos pela lei federal nº 12.305 que estabelece regras para a gestão dos resíduos da construção civil, estabelecendo metas e objetivos, podendo atuar de forma isolada, ou em conjunto com o estado, distrito federal, e municípios, a Figura 2 abaixo demonstra um exemplo.

Figura 2. Unidade de processamento de RCC localizada no bairro Estoril em BH



Fonte: Babilon, Anderson Luiz (2008, p. 16).

É possível de se analisar o impacto causado pelo grande acúmulo de resíduos, com os dados de diferentes cidades, apresentados em produção de toneladas por dia, dispostos na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Acúmulo de resíduos em diferentes cidades

Local Gerador	Geração Estimado (t/dia)
São Paulo	12400
Rio de Janeiro	900
Brasília	2833
Belo Horizonte	3400
Porto Alegre	1933
Salvador	1453
Recife	600
Curitiba	2467
Fortaleza	1667
Campinas	1800
Jundiaí	712
Ribeirão Preto	1043
Santo André	1013
Uberlândia	958
Guarulhos	1308

Fonte: Adaptado de Paula, P. R. F. (2010, p. 37).

5.1 Os resíduos de construção civil no Brasil

No Brasil, as políticas voltadas ao gerenciamento de resíduos da construção civil, buscam incentivar as empresas a buscarem novos métodos para lidarem com os resíduos produzidos. Tais métodos ainda não conhecidos em diversos setores da construção civil.

Segundo (ZORDAN, 1997) algumas prefeituras tentam solucionar o problema com reciclagem de entulhos. Alguns projetos que já foram até mesmo implantados, porém não com o sucesso esperado são as de Itatinga em São Paulo, e a de Londrina no Paraná. Um projeto o qual se apresentou como relevante e que obteve os resultados esperados foi a de Belo Horizonte em Minas Gerais, servindo de base como exemplo para futuros projetos.

A ideia das usinas é de aproveitar peças de blocos cerâmicos, pedaços de argamassas, restos de corpos de prova. Utilizando-os parcialmente como agregados de concreto ou argamassa, sub-bases de pavimentação. Desse modo, ajuda na

preservação do meio ambiente e proporciona uma economia de gastos futuros com matérias de agregados.

A prefeitura de Belo Horizonte possui uma unidade de processamento dos resíduos da construção civil, com iniciativa privada. A unidade fabrica blocos de cimento, juntamente com agregados do tipo A proveniente de sua própria unidade de processamento, a unidade está apresentada na Figura 3 abaixo.

Figura 3. Unidade de processamento de bloco produzidos com RCC



Fonte: Babilon, Anderson Luiz (2008, p. 19).

De modo que segundo o manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos (CEF, 2005), aponta que para o cenário do Brasil que cidade possui um método de gestão diferente, onde os resíduos sólidos não têm a atenção necessária. Com isso o problema tende a aumentar, e os recursos naturais como o solo e recursos hídricos tendem a ficarem afetados.

Uma pesquisa realizada por (SCHNEIDER & PHILIPPI, 2004), aponta que grande parte do entulho gerado é de responsabilidade de pequenas construtoras, que como meio de tirar a responsabilidade de si aponta a responsabilidade para a sociedade. Para se evitar possíveis contratempos futuros é necessário que sejam obedecidas determinadas regras em relação a produção dos resíduos na construção civil, sendo elas:

- Limitações de componentes perigosos em materiais de construção
- Incentivo a durabilidade de materiais de construção
- Incentivo ao uso de materiais de construção reciclados ou recicláveis

- Cobrança de preços elevados para a deposição de resíduos em aterros
- Triagem obrigatória de resíduos em obras
- Demolição controlada, entre outros

Segundo (ZORDAN, 2003), 50% do total das perdas se torna resíduo da construção civil, saliente que nas obras de reformas o desperdício é ocasionado pela falta de cultura de reutilização e reciclagem dos materiais.

É de fato notório que o RCD influencia significativamente em relação aos resíduos urbanos em seu total, onde grande responsabilidade dos resíduos gerados são de construtoras, que em sua grande maioria não tem planos de gerenciamento de seus resíduos, seja por falta de fiscalização e interesses próprios das empresas em realizar tal ação, uma vez que o retorno de fato não influencia diretamente em seus gastos de forma significativa.

5.2.1 Possibilidades de reaproveitamento

São inúmeras as possibilidades de utilizações de RCD, de modo que o fator determinante será a questão socioeconômica e cultural da região o qual o problema esteja ocorrendo, um dos métodos mais comuns de reaproveitamento está em aterramentos, também é bastante utilizado como complemento de bases e sub bases de pavimentos que segundo (PINTO ,1999) apresenta uma ótima capacidade de resistência, onde as especificações podem ser listadas na NBR 15116, complementando também para a utilização de concretos com função estrutural.

Segundo (CARRIJO, 2005) a utilização de RCD em meio a mistura de concreto é viável. Porém um fator limitante para a realização desse método é a variedade de componentes diferentes na composição do RCD, desse modo as características apresentam grande variação, pois os resíduos apresentam matérias como plásticos, madeira, vidro e etc.

O que seria necessário de fato seria uma separação previa dos materiais analisando-os separadamente ou estipulando uma combinação de componentes, garantindo a menor variação de característica entre os resultados que serão obtidos.

Pode-se salientar que cada RCD possui uma procedência e história diferentes, o controle dos materiais a serem utilizados garante que seja obtido um comportamento mais homogêneo dos materiais.

As fontes geradoras de RCD são de inúmeras áreas, destacam-se materiais fora das exigências das normas, a mão de obra muitas das vezes é desqualificada e não é presente uma fiscalização assídua. Tudo isso dá origem a perdas significativas em relação aos materiais empregados no canteiro de obras. Pode-se destacar segundo (JOHN, 2000) que a quantidade de material utilizado pelo setor da construção civil corresponde a mais de um terço em relação ao consumo total da sociedade.

5.2 Concreto Compactado a Rolo

De acordo com a definição estipulada pela NBR 16312-1 concreto compactado a rolo é uma técnica construtiva composta de um concreto dosado de forma que, em seu estado fresco, seja capaz de suportar o peso de um rolo vibratório e compactador no momento do adensamento.

O slump de zero para o CCR garante que o rolo compactador haja sobre o concreto sem afundar afirma (FARIAS, 2006), formando assim uma superfície regular, o qual garante a melhor compactação do material.

A principal diferença atribuída entre o CCR e o concreto convencional é a consistência, sendo de característica mais seca. Em sua composição está um alto consumo de agregados e um baixo teor de aglomerante afirma (FARIAS, 2006). A consistência do CCR garante que ele suporte a compactação com o rolo vibratório. Além de que uma característica muito relevante é que com a utilização do CCR há uma redução do risco de fissuração térmica e da reação álcali agregado, isso se deve principalmente ao baixo teor de aglomerante em sua mistura. O consumo de cimento pode ter uma grande variação, de modo a seguir a tipologia de desempenho exigida para o material.

Fator também preponderante como diferença entre o concreto convencional e CCR e o método de adensamento, que pode ser apontado pelo método de dosagem aplicado, granulometria e no índice de vazios. Do mesmo modo que o concreto convencional pode ser dosado de maneira a atender os esforços o

qual será solicitado, o CCR também possui métodos de dosagem visando, uma melhor relação de massa específica e teor de água, obtendo a melhor das possibilidades para o caso em que o CCR for imposto (ANDRIOLO, 1989).

segundo o supervisor técnico da associação brasileira de cimento Portland (ABCP) Rubens Curti, concretos convencionais utilizam de vibradores a imersão para o seu adensamento, deixando o concreto compactado e sem vazios, o CCR utiliza rolo compactador por conta de ser muito seco.

A escolha do tipo de cimento depende de qual será a sua aplicação final. Podem ser usados aditivos plastificantes, incorporadores de ar e aditivo poli funcional, que se trata de um aditivo plastificantes, também utilizado como retardador de pega, aponta a revista Infraestrutura Urbana. De maneira a conseguir uma resistência mais elevada, CCR também pode ser utilizado em pavimentos de aeroportos.

O atualmente colaborador Selmo Kuperman do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) afirma que com formulação que garanta uma maior resistência o CCR também pode ser utilizado em pavimentos de aeroportos. Cita também outras utilizações, porém não tão comuns, como a protensão de pilares de pontes. O material pode ser colocado e compactado com placas vibratórias sem a necessidade da utilização de formas. Técnica construtiva mais rápida e que também economiza na utilização de formas.

Segundo matéria publicada da revista Mapa da Obra o CCR também é conhecido como concreto rolado, os grãos nele utilizados não devem ser superiores a 38 mm, a adição de água é para que a mistura se torne úmida e não cole nos rolos compactadores. É ideal para obras de terra e enrocamento, do qual necessitam de grandes volumes de concreto e dispensam uma elevada resistência a tração e a flexão. Sua consistência seca permite o lançamento de camadas em sequência, logo após a etapa anterior já finalizada, aumentando a velocidade de execução da obra, resultando em um pavimento de menor espessura.

Em pavimentos o CCR apresenta boa durabilidade e resistência às erosões, sua aplicação é realizada diretamente sobre o solo, que anteriormente já mencionando passou pelo processo de terraplanagem. Pode ser utilizado também como piso próprio da via sem nenhum outro material, ou como sub-base que posteriormente receberá um material de revestimento final, comparando aos pavimentos rígidos.

A norma que gere o concreto compactado a rolo é a NBR 16312, subdividido em três partes, onde a primeira explora definições, a segunda detalha a preparação do concreto rolado em laboratório para análise anteriormente a sua utilização em obras, a última detalha os ensaios laboratoriais para o uso do CCR em barragens. Complementando ainda sobre pavimentos existe a norma DNIT 056/2013 – Pavimentos Rígido- Sub-base de cimento Portland compactado com rolo.

Obras realizado com CCR seguem os mesmos princípios de outras obras com concreto convencional, porém se torna vantajoso em caráter de rapidez de execução, pois não é preciso o concreto realizar a pega para poder aplicar carregamentos sobre ele afirma (KUPERMAN, 2011). O único fator limitante seria a capacidade da central de concreto oferecer a quantidade necessária.

Apesar das diferentes características, o CCR pode ser rodado em betoneira quando o volume de concreto é pequeno afirma o colaborador do IBRACON. Para volumes maiores o concreto pode ser preparado em betoneira comum e posteriormente o transporte com caminhões basculantes. Se a quantidade for muito maior, é necessária uma instalação de central de concreto na obra, onde serão implantadas betoneiras comuns, de mistura forçada e de mistura contínua.

O CCR da mesma forma que o concreto convencional necessita de ser curado, com a utilização do CCR a cura pode começar imediatamente após a realização da compactação, tem-se o costume de utilizar aspersores pra manter a superfície úmida afirma (KUPERMAN, 2011).

Para garantir a qualidade e desempenho do CCR são realizados ensaios de campo e de laboratório. Em grandes obras é de costume realizar simulações anteriormente em laboratório, como ensaios de mesa vibratória e outros. A certos casos em que são construídas pistas experimentais como forma de simular com ainda mais exatidão o comportamento do CCR. Porém umas das características mais importantes a ser analisada é a massa específica do concreto compactado a rolo recentemente compactado.

Segundo (KUPERMAN, 2011) o método de se descobrir se o CCR está satisfatório de fato é a sua análise de massa específica.

5.2.1 Vantagens e desvantagens do CCR

De acordo com (TRABOULSI, 2007) podem ser apresentadas pontos relevantes em relação as características do CCR sejam elas positivas ou negativas, sendo os pontos positivos:

- Produtividade superior à de outros processos
- Redução de custos (cronograma reduzido)
- Mão-de-obra otimizada e de fácil adaptação
- Aproveitamento de novos materiais
- Maior fluência (menor probabilidade de fissuras de origem térmica)
- Satisfação dos clientes que utilizam o CCR
- Credibilidade no meio técnico
- Modernização dos processos executivos
- Menor interferências das condições climáticas no lançamento

O menor custo de produção do CCR pode ser explicado devido ao uso de equipamentos de grande produção, redução do custo de materiais e redução ao uso de formas. Entretanto pode-se citar determinadas desvantagens devido ao uso de CCR, que podem influenciar para a tomada decisão do método construtivo.

- Ausência de agregados próximos a obra
- Indisponibilidade de equipamentos de fabricação, espalhamento e compactação
- Menor oferta de empregos
- Região da obra distante do fornecedor de materiais cimentícios

5.2.2 Utilização

Pode-se destacar então que a opção de uma barragem com CCR e não a usualmente construída de CVC (concreto massa convencional vibrado) que vem aumentando seus custos significativamente com o passar dos anos segundo (ANDRIOLO, 2015).

(ANDRIOLO, 2015) completa que em Itaipu foi a primeira vez que a técnica construtiva foi realizada. No piso de concreto de um almoxarifado, de modo experimental, é demonstrado na Figura 4. Por muitos anos era usado como sub-base de pavimentos onde na época era chamado de concreto magro. Durante a construção de Itaipu pode-se visualizar na prática a importância e a simplicidade da utilização do CCR, pois os materiais empregados eram simples e não necessitava de instalações ou equipamentos especiais.

Figura 4. Primeira utilização de CCR na usina de Itaipu

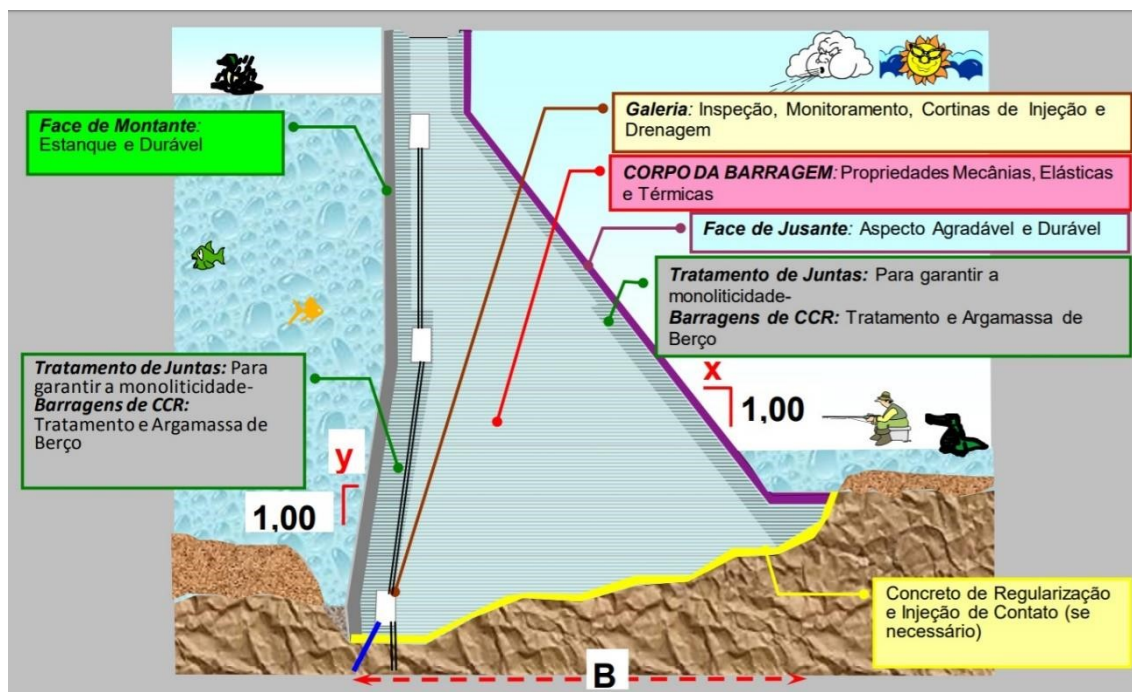


Fonte: Andriolo, Francisco Rodrigues (2015, p. 7).

Sobretudo a inserção de fato do método construtivo encontrou alguns problemas como o fato do custo ainda ser incerto no Brasil, havendo a tendência de insuflar os preços finais de modo a superar fatores que ainda não eram conhecidos de modo a usar um coeficiente de segurança muito alto. Profissionais da área tinham dúvida sobre a viabilidade técnica de construção de barragens altas, cabendo a não aderir por novas tecnologias na época.

Na Figura 5 a seguir pode-se visualizar como se dá o corpo de uma barragem construída com CCR.

Figura 5. Conceito do corpo da barragem em CCR



Fonte: Andriolo, Francisco rodrigues (2015, p. 27).

Uma camada de CVC com cerca de 0,5m de altura antes do lançamento do CCR. As dimensões B, X e Y representam as condições de suporte da fundação e do balanço de comparação de custos. Pode-se visualizar na imagem que constitui de um corpo maciço com um sistema impermeável.

Os requisitos técnicos para a utilização do CCR em barragens Brasileiras são apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Requisitos técnicos e propriedades

Condição	Controle	Requerimento
CCR fresco	Consistência-Trabalhabilidade	Nos anos 90 um CCR mais seco era usado, com Vebe ao redor de 30 a 50 segundos. Após esse período o tempo Vebe foi reduzido para 20 a 25 segundos, usando um CCR "pobre" com finos.
	Tempo de pega	Para auxiliar no aspecto operacional durante os dias quentes, e para ajustar a quantidade de aditivos químicos e para adequar o tipo de tratamento da superfície das juntas de construção
	Temperatura de colocação	Não há limitação da temperatura de colocação do CCR, devido ao baixo teor de aglomerante e a grande área para difusão da temperatura e a espessura da camada
CCR endurecido	Resistência a compressão	Um intervalo de 7 a 12 MPA a 90 dias ou 180 dias ou 1 ano (dependendo do tempo de construção adotado). Isso pode ser obtido com consumos de aglomerante de 70 a 100 Kg/m³.

Fonte: Andriolo, Francisco rodrigues (2015, p. 28).

De acordo com (FILHO, 2003) o CCR possui massa específica cerca de 1% a 3% superior, usando os mesmos tipos de agregados. Devido ao menor teor de água presente na mistura e a maior energia de compactação. Entretanto se os agregados utilizados forem finos de menor massa específica como o filler, ou teor de água acrescentado o aumento da massa específica não pode ocorrer.

Complementando, afirma (ADRILOLO, 1989) que as resistências obtidas com o CCR são de aproximadamente de 15% a 30% maiores se comparadas ao concreto convencional, submetido aos mesmas ações e tipologias de manuseio. O CCR pode atingir os mesmos critérios de resistência com menor processo de liberação de calor durante a hidratação do concreto. De maneira geral se comparado a resistência ao cisalhamento do CCR e do concreto convencional apresentam valores com as mesmas proporções.

Ainda comparando o CCR com o concreto convencional, (FILHO, 2003) afirma que o processo de retração por secagem é de ordem menor que nos concretos convencionais, devido ao menor teor de água empregado na mistura. Reações álcalis agregado de ordem também menores devido a menor quantidade de aglomerante empregado como já citado anteriormente. A permeabilidade é uma característica que gera a maior atenção e preocupação envolvendo a utilização do CCR. De acordo com (ANDRILOLO, 1989) a permeabilidade e absorção esta compreendida entre 3% e 5%.

Inicialmente conforme (FILHO, 2003) a utilização de CCR em contato com a água não era bem-vinda, porém com o avanço de pesquisa sobre a utilização do método construtivo e vários testes, buscando cada vez mais a redução de custo, abriu-se a possibilidade de sua utilização em contato com a água em montante e jusantes de barragens.

5.3 CCR com agregado reciclado

Em uma pesquisa realizada por (Cho, 2004; Yeo, 2004) que estudaram o comportamento de agregados reciclados na produção de CCR, realizada na Coreia com teor de 50% e de 100%. O país tem por hábito a utilização em pavimentos e o critério de qualidade definido pela resistência a compressão, com valor mínimo estipulado. Abaixo, a Tabela 4 demonstra os resultados encontrados em sua pesquisa.

Tabela 4. Resultados para CCR com diferentes composições de agregados

Agregado miúdo	Resistência a compressão (MPa)		Resistência a tração na compressão diametral (MPa)		Resistência a tração na flexão (MPa)		Modulo de elasticidade dinâmico (GPa)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
100% natural	7,8	10,9	1,6	2	2,6	2,9	25,1	32,1
50% reciclado	6,1	11,5	1,4	1,8	2,2	2,7	21,7	29,4
100% reciclado	5,1	9,3	1,3	1,6	2	2,3	17,3	26,7

Fonte: Gino Ricci (2007, p. 41).

Independente da comparação utilizada, todos os dados encontrados ficaram acima do mínimo estabelecido pela Coreia de 4,9 MPa. Na conclusão de seus estudos confirmaram que agregados reciclados de concreto podem ser utilizados na produção de CCR para pavimentações. De modo que não existem diferenças significativas para as maiores idades, porém ainda não analisaram o seu comportamento quando a fadiga do CCR.

Em relação aos custos unitários o estudo apontou os seguintes custos, conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Custos unitários para pavimentação com CCR

Descrição dos serviços	Unid.	Preço unit. (R\$) com agregado	
		RECICLADO	NATURAL
FUNDAÇÃO DE RACHÕES	m³	46,48	59,19
REVESTIMENTO PRIMÁRIO COM BRITA MISTURADA AO SOLO LOCAL INCLUSIVE ESCARIFICAÇÃO, VERIFICAÇÃO, UMEDECIMENTO, COMPACTAÇÃO E ENSAIOS; CAMADA ACABADA	m³	32,86	37,51
BASE DE BRITA (bica corrida)	m³	38,99	53,20
REFORÇO DO SUBLEITO/SUB-BASE DE SOLO MELHORADO COM BRITA 10% EM VOLUME	m³	11,23	12,56
REFORÇO DO SUBLEITO/SUB-BASE DE SOLO MELHORADO COM BRITA 20% EM VOLUME	m³	13,58	16,11
REFORÇO DO SUBLEITO/SUB-BASE DE SOLO MELHORADO COM BRITA 30% EM VOLUME	m³	15,92	19,66
REFORÇO DO SUBLEITO/SUB-BASE DE SOLO MELHORADO COM BRITA 40% EM VOLUME	m³	18,26	23,21
REFORÇO DO SUBLEITO/SUB-BASE DE SOLO MELHORADO COM BRITA 50% EM VOLUME	m³	20,61	26,76
REFORÇO DO SUBLEITO/SUB-BASE DE SOLO MELHORADO COM BRITA 60% EM VOLUME	m³	22,95	30,32
LASTRO DE BRITA	m³	44,89	61,71
DRENO DE BRITA	m³	40,68	54,08

Fonte: Gino Ricci (2007, p. 12).

Destacando que todos os custos unitários são menores com a utilização de agregados reciclados. Segundo (RICCI, 2007) os custos dos equipamentos para utilização do agregado reciclado são os mesmos e a mão de obra também é a mesma.

5.4 Aplicação

Para a preparação do CCR deve-se possuir uma central a qual possa garantir que será umedecida toda a superfície dos agregados, pasta e posteriormente produzir uma mistura homogênea, deve ser seguido o tempo estipulado para a mistura de modo a evitar a segregação de materiais. Na Figura 6 a seguir é demonstrado um exemplo da central de concreto na construção da usina hidrelétrica de Lajeado.

Figura 6. Central de concreto da UHE Lajeado



Fonte: Consórcio Construtor Lajeado

Em se tratando de sua utilização durante o preparo da fundação, antes da aplicação a superfície deve ser limpa. Nas áreas relativamente planas da fundação deve ser lançado inicialmente uma camada de concreto convencional de forma a realizar a regularização, de espessura de cerca de 0,3 m antes do lançamento do CCR. Pois não é recomendado o seu lançamento diretamente com a fundação em rocha afirma (FILHO, 2003). A preparação da fundação é demonstrada na Figura 7 a seguir.

Figura 7. Preparação da fundação na UHE Lajeado



Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland

Como a área de aplicação do CCR é muito grande se torna muito difícil a sua aplicação sem a ocorrência de juntas frias, desse modo existem critérios a serem seguidos para o lançamento e o tratamento das juntas. No estudo de (FILHO, 2003) é demonstrado que quando não ultrapassem 4 horas no período diurno e 8 horas no período noturno, pode ser realizado a aplicação da próxima camada sem qualquer tratamento. Se o tempo for ultrapassado será necessário a limpeza da superfície com jato de limpeza.

5.5 Métodos de lançamento

5.5.1 Método Tradicional

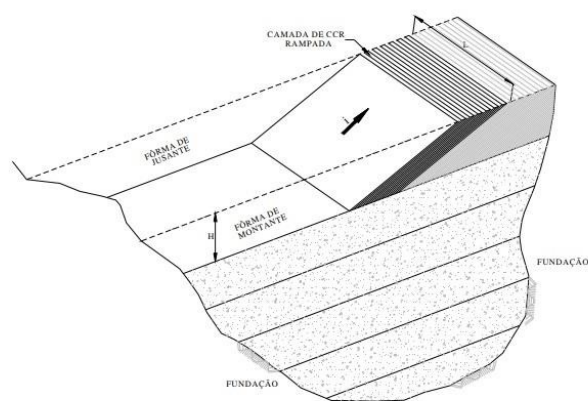
Segundo (Magalhães, 2006) o método mais utilizado foi o tradicional, onde se caracteriza por camadas uniformes de lançamento do CCR. A aderência entre as camadas é garantida por argamassa de ligação, seguindo toda a extensão da camada.

5.5.2 Método Rampado

Utilizado inicialmente na barragem de Jiangya na China, se caracteriza pelas camadas lançadas em rampas, tem como objetivo a redução de juntas em argamassa de ligação, promovendo um maciço mais homogêneo. Proporciona um volume de concreto lançado maior em um intervalo de tempo menor. É eliminada a necessidade de lavagem e retirada de resíduos da pista, reduz a superfície a ser curada. A principal vantagem se dá pela menor superfície exposta. (Magalhães, 2006).

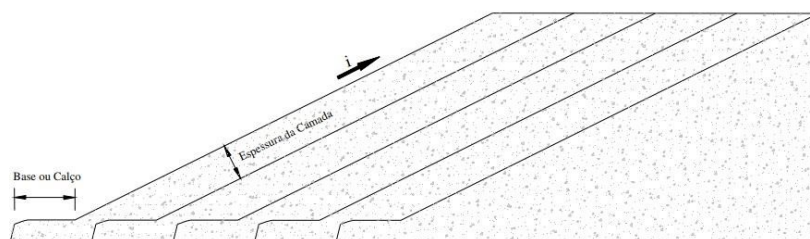
Os procedimentos para realização do método rampado pode ser visualizado na Figura 8 e 9 a seguir.

Figura 8. Procedimentos para realização do método rampado



Fonte: Filho, Luiz Milani (2003, p. 83).

Figura 9. Processo de execução do método rampado



Fonte: Filho, Luiz Milani (2003, p. 84).

O lançamento se dá por meio de correias transportadoras com equipamentos para controlar a segregação do material. Ação que é devidamente mostrada na Figura 10 a seguir.

Figura 10. Lançamento de CCR



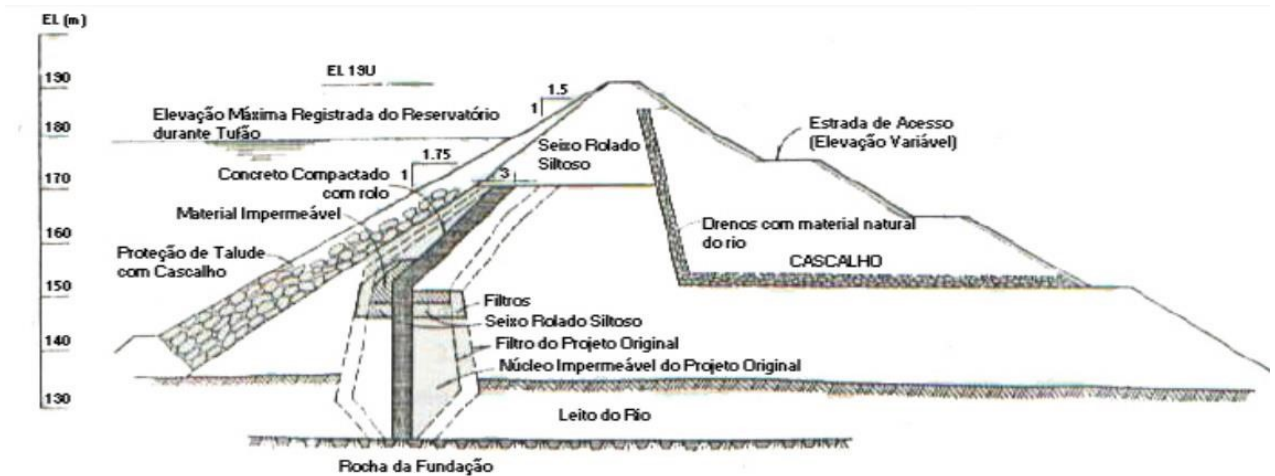
Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland.

5.6 Estabilidade e tombamento

Segundo (TRABOULSI, 2007) as seções transversais de barragens são geralmente dimensionadas considerando a base totalmente comprimida e o esforço da subpressão nas bases em condições normais de carregamento, variando a pressão hidrostática atuante de montante e de jusante. Deve ser analisado pelo projetista a condição da estrutura com o passar do tempo, devido a possibilidade de obstrução parcial ou total de alguns drenos, assim como variações do nível de água de jusante e de montante. De modo geral quando a estabilidade ao tombamento for característica essencial para a realização do projeto, os requisitos de volume dependem do formato da barragem e da localização dos drenos da fundação.

Em se tratando das primeiras barragens a utilizarem CCR como método construtivo, pode-se destacar a ensecadeira da barragem de Shimen, em Taipei, utilizando concreto como núcleo impermeável da barragem de terra. O perfil da barragem é demonstrado na imagem a seguir.

Figura 11. Seção transversal da ensecadeira da barragem de Shimen



Fonte: Traboulsi, Maurice Antoine (2007, p. 33).

5.7 Estabilidade ao deslizamento

A resistência ao escorregamento em uma estrutura de concreto está diretamente relacionada a resistência ao cisalhamento baseado na coesão que o concreto apresenta, em sua tensão de compressão no possível ponto de falha além de relacionar o coeficiente de atrito interno do concreto.

O coeficiente de atrito depende significativamente da rugosidade e sanidade superficial da base do concreto já no seu estado endurecido. A coesão do concreto é obtida juntamente com o ensaio de resistência ao cisalhamento sob pressões de confinamento variáveis.

5.8 Ligações horizontais entre as camadas de CCR

A pesquisa de (TRABOULSI, 2007) demonstra que desde que o método construtivo passou a ser utilizado, diversas dúvidas conceituais foram geradas, uma delas é em relação as juntas horizontais existentes entre as aplicações do CCR. São levantados questionamentos em relação as envoltórias de resistência entre as camadas, se as condições ambientais locais influenciam, o controle de compactação, métodos de impermeabilização, entre outros fatores.

5.9 Cuidados em relação a contaminação do CCR

De maneira a evitar a contaminação do CCR, é realizado a lavagem dos pneus dos caminhões basculantes e sendo obrigatório o uso de correia transportadora. Durante a etapa construtiva alguns equipamentos são alocados definitivamente de maneira a evitar a contaminação do CCR durante o lançamento. A superfície deve ser cuidadosamente limpa antes do lançamento da camada subsequente do CCR.

5.10 Dosagem

Denominação de método a encontrar a composição ideal de materiais de forma a atender os esforços o qual o concreto será solicitado. De acordo com (RICCI, 2007) a metodologia de dosagem para CCR é caracterizada por buscar a melhor mistura entre os agregados utilizados, de forma a proporcionar o menor índice de vazios possível, este que será definido no ensaio de compactação, de modo a encontrar curvas que relacionem o teor de umidade da mistura com sua massa específica aparente seca obtida com a energia de compactação utilizada no ensaio.

O objetivo do ensaio de compactação é encontrar o valor da máxima compacidade, que varia com o índice de vazios dos agregados e o conteúdo da pasta utilizados. De forma que o ponto de máximo é o ponto com maior resistência mecânica.

A metodologia de dosagem empregada se baseia na combinação de agregados e com as características do tipo de cimento escolhido. A resistência é moldada de acordo com a umidade ótima, onde procedimento para a sua obtenção se deve ao tipo de cimento empregado, da quantidade de água utilizada e da energia de compactação, todos esses são fatores que influenciam na dosagem do CCR.

De acordo com (BUCHER, 1985) os agregados que serão utilizados na mistura podem ser de origem natural produzidos através de britagem ou resíduos produzidos em processos industriais. Salientando também a possibilidade da utilização de RCD como agregado, desde que atenda aos requisitos quanto ao limite da granulometria e a sua dureza. O material deve então ser utilizado na mistura de maneira controlada.

O tipo de cimento empregado será escolhido em função da disponibilidade de obtenção do produto na região de aplicação do CCR.

A distribuição granulométrica a ser utilizada será composta de grãos menores, de formas a obter uma superfície mais “fechada”, desse modo evitando também a segregação dos materiais. A granulometria é chave para a obtenção do menor índice de vazios possível, que está ligada diretamente ao ganho de resistência.

O consumo de cimento será fixado entre 110 a 150 Kg/m³ de concreto, com umidade variando de 5,5 a 7,5%, de modo que a utilização de RCD na mistura implica em um aumento do consumo de cimento para atingir uma mesma resistência, conforme afirmação de (RICCI, 2007).

No estudo de (FARIAS, 2006) demonstra alguns métodos de dosagens que foram desenvolvidos com o intuito de diminuir os gastos na construção de barragens. Alguns dos métodos são citados a seguir.

5.10.1 Método do US Army Corps Of Engineers

Desenvolvido no início da década de 70, obtido através de ensaios de campo, obtendo informações sobre as propriedades dos materiais utilizados, e correlacionando a resistência de aderência entre as camadas de CCR que existem durante a aplicação do CCR. A metodologia aborda principalmente a durabilidade do material, desse modo, a qualidade do agregado é essencial, assim como o consumo de cimento empregado à mistura, e principalmente o grau de compactação. De modo que ao final o CCR deve apresentar resistência à abrasão e a erosão, à reatividade álcali-agregado e ao ataque de sulfatos.

O método estipula intervalos de consumo de matérias como etapa inicial para a dosagem do CCR. Através de tabelas com intervalos de valores para as características do agregado, o traço é encontrado.

5.10.2 Método de dosagem do CCR pobre

Método criado nos EUA, o seu resultado é de um CCR de consistência seca e de permeabilidade razoável, baixa homogeneidade ao longo das espessuras das camadas. Com as características finais desse tipo de CCR, criam-se caminhos para percolação da água que estão ligadas diretamente entre as camadas de concretagem

do CCR. Por apresentar este problema, a metodologia exige o uso de materiais complementares utilizado entre as camadas, seja um microconcreto ou argamassa.

5.10.3 Método da alta pasta

Desenvolvido na Europa, consiste na determinação da relação água cimento, e posteriormente relação entre as adições minerais e o consumo de cimento necessário para se atingir as resistências necessárias. De modo que com os ensaios de laboratório é possível descobrir o teor ótimo de água a ser utilizado.

5.10.4 Método Roller compacted concrete (RCD) ou método japonês

O CCR obtido por esse método é o que mais se assemelha ao concreto convencional, de consistência mais úmida. A tipologia de dosagem também se assemelha a dosagem de concreto convencional. A consistência é encontrada pelo aparelho de Vebê. Sendo bastante utilizado em barragens no Japão.

5.10.5 Método da máxima densidade

Nesse método é estabelecido correlação de dados entre a massa específica seca do concreto e o teor de água aplicado ao CCR, são realizados ensaios de compactação nos corpos de prova, variando o teor de água na mistura, para obtenção do teor ideal.

5.10.6 Método brasileiro do alto teor de finos

Se baseia na utilização de material fino, como forma de preencher os vazios na mistura para que se possa atingir uma consistência ideal, coesividade e grau de compactação.

5.10.7 Método utilizado no laboratório de FURNAS

Utilização combinações binárias como metodologia de dosagem, onde é o método de confirmação para obtenção de curvas cúbicas, de modo a encontrar a

proporção de matérias a serem utilizados. Nesse tipo de dosagem o consumo de cimento já é definido, a quantidade de água empregada é adotada. A utilização da quantidade de agregados ideais é disponibilizada pela curva teórica, desse modo encontrando as devidas proporções para obtenção do traço, que posteriormente pode ser ajustado para atingir o cannon time, que é o tempo de vibração.

5.10.8 Água na mistura

De acordo com (RICCI, 2007) a água é um fator de grande influência nas características do CCR, pois ele se torna muito sensível a variações nos teores de água nele aplicados. A falta de água aumenta a probabilidade de se ocasionar segregação, o que por sua vez, influencia diretamente no processo de compactação, que desse modo se torna mais difícil, assim como o acabamento superficial. Por outro lado, o excesso de água pode ocasionar a instabilidade da mistura durante a compactação. De certo modo a falta ou excesso de água na mistura afeta diretamente a resistência final a ser obtida, e a sua trabalhabilidade.

6. Procedimentos metodológicos

De forma a alcançar os objetivos mencionados anteriormente, foram estabelecidas etapas, que no decorrer do estudo foram alcançadas conforme seus critérios dispostos como obrigatórios para a realização de uma nova tarefa. Desse modo a pesquisa se baseou pelo conhecimento do material RCD que foi caracterizado e comparado com o material que é comumente utilizado. Com os resultados encontrados foi possível a análise das características do material, permitindo assim julgar os dados obtidos de maneira a responder se existe ou não a viabilidade da utilização de resíduos da construção civil em concretos compactados a rolo para a construção de barramentos.

De maneira que a primeira etapa se baseou pela familiarização do tema escolhido, onde foi buscado a melhor linha de pesquisa, essa etapa foi de grande importância pois permitiu a construção dos objetivos e a metodologia do estudo.

A mistura do CCR foi preparada seguindo as recomendações da NBR 16312 parte 2 de preparação em laboratório de CCR, onde é permitido que a sua produção seja realizada de acordo com a NBR 12821.

6.1 Extração do material

No Brasil segue inicialmente uma classificação visual para o RCD, de modo a evitar porções mais grosseiras de material não mineral, como madeira, vidros, betume, plásticos, gesso e etc. a classificação visual permite localizar as porções que não serão utilizadas, separadas manualmente através de diferenças de cor, forma ou até mesmo a textura das partículas ali presentes.

Nas indústrias de reciclagem os materiais reciclados são classificados de forma simples, de modo que matérias de cor cinza apresentam grande predominância de material cimentício, os materiais de cor avermelhada são aqueles em sua grande maioria de origem cerâmica.

Para o presente estudo, o RCD utilizado foi proveniente de material cerâmico e de material de concreto utilizado em laboratórios de análise como blocos cerâmicos e corpos de prova de concreto, de modo a se obter a granulometria ideal, foi realizado o processo de moagem desse material.

Inicialmente a amostra foi colocada no triturador de mandíbulas. O triturador de mandíbulas faz uma trituração de forma grosseira deixando a amostra com aspecto de granulometria de agregado graúdo, dessa forma realizou-se a redução de sua granulometria depois desta etapa. Nesse momento ocorreu a passagem pelo moinho de bolas de forma a conseguir uma granulometria mais próxima de agregados miúdos.

6.2 Caracterização do material

Como forma de seguir ao estudo para a produção de um CCR, foi necessário a caracterização do material, sendo assim, o ambiente de laboratório se tornou essencial. Para a dosagem foi analisado a quantidade de materiais a serem utilizados. Os ensaios realizados estão listados a seguir.

6.2.1 Ensaio de granulometria

Seguindo as diretrizes de ensaio da NBR NM 248:2003 que prescreve o método para determinação granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto, através de serie normal e intermediária de peneiras. Definindo as porções granulométricas, módulos de finura e diâmetro máximo característico.

6.2.2 Determinação de massa unitária e do volume de vazios

Seguindo os métodos estipulados pela NBR NM 45 como meio de determinar a densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos, ou de mistura dos dois. Em seu estado compactado e em seu estado solto.

A massa unitária poderá ser encontrada através da seguinte fórmula.

$$p_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

Onde:

p_{ap} = é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

m_{ar} = mais do recipiente mais agregado (kg);

m_r = massa do recipiente vazio, em quilogramas (kg);

V = volume do recipiente (m³);

F = fator para o recipiente (1/m³).

6.2.3 Determinação de massa específica e massa específica aparente

Seguindo as etapas estipuladas pela NM 52 para obtenção do valor da massa específica dos agregados para a produção de concretos. E seguindo as etapas estipuladas pela NM 53 para agregados graúdos.

Massa específica do agregado seco pode ser obtida conforme a equação a seguir.

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a}$$

Onde:

d_1 =Massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

M= massa da amostra seca em estufa (g);

V= volume do frasco em centímetros cúbicos (cm³);

V_a = volume de água adicionado ao frasco, de acordo com a fórmula seguinte

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{p_a}$$

m_1 = massa do conjunto frasco e agregado (g);

m_2 = massa total do frasco agregado e água (g);

p_a = massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³).

Massa específica do agregado saturado superfície seca, pode ser encontrada seguindo a seguinte fórmula.

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a}$$

Onde:

d_2 = massa específica do agregado saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_s = massa da amostra em condição saturada superfície seca (g);

V= volume do frasco em centímetros cúbicos (cm³);

V_a = volume de água adicionado ao frasco (cm³).

Ao final a massa específica poderá ser obtida seguindo a seguinte formula.

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{p_a}}$$

De modo que d_3 = é a massa específica do agregado, em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

6.2.4 Determinação de consistência

Como forma de garantir a consistência de CCR, o ensaio de abatimento de troco de cone garantirá o slump de zero conforme a NM 67.

6.2.5 Ensaio coeficiente de permeabilidade

Será caracterizado conforme a NBR 14545: 2000 de coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável, com água percolando através do solo, que no caso do estudo será o RCD em regime de escoamento laminar. Com o cálculo seguindo as seguintes etapas:

Massa específica seca:

$$p_d = \frac{M_s}{V_i}$$

Com os respectivos valores:

$$M_s = 741,84 \text{ g/cm}^3$$

$$V_i = 454,6 \text{ cm}^3$$

$$p_d = 1,63 \text{ g/cm}^3$$

O coeficiente (K) de permeabilidade foi calculado de acordo com a expressão:

$$k = \frac{a * H}{A * \theta t} * \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$$

Com os respectivos valores encontrados:

$$a = \text{area interna da bureta} = 4,91 \text{ cm}^2$$

$$H = \text{altura do corpo de prova} = 10 \text{ cm}$$

$$A = \text{área do corpo de prova} = 45,46 \text{ cm}^2$$

$$\theta t = \text{diferença entre os instantes } t2 \text{ e } t1 = 60 \text{ s}$$

$$h1 = \text{é a carga hidráulica no instante } t1 = 35 \text{ cm}$$

$$h2 = \text{é a carga hidráulica no instante } t2 = 30 \text{ cm}$$

.

6.2.6 Ensaio de compactação

Foi caracterizado conforme a NBR 7182 que determina a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados, de acordo com os processos especificados.

O ensaio é realizado fixando o molde cilíndrico em uma base, o cilindro complementar de fechamento é posicionado, e o conjunto é disposto em uma base rígida. Uma folha de papel filtro deve ser posicionada para evitar o contato da amostra com a superfície metálica ou do disco espaçador. O material é colocado no molde seguindo as orientações da norma.

Os cálculos para obtenção dos resultados são demonstrados a seguir.

$$p_d = \frac{m_u * 100}{V * (100 + w)}$$

Onde:

p_d = é a massa específica aparente seca, expressa em gramas por (g/cm³);

m_u = massa úmida do solo compactado, expressa em gramas (g);

V = Volume útil do molde cilíndrico, expresso em centímetros cúbicos (cm³);

W = é o teor de umidade do solo compactado, expresso em porcentagem (%).

É recomendável realizar a curva de saturação que é a relação entre a massa específica aparente seca e o teor de umidade, para o grau de saturação do solo igual a 100%, utilizando da equação a seguir.

$$p_d = \frac{S}{\left(\frac{w}{p_w}\right) + \left(\frac{S}{p_s}\right)}$$

Onde:

p_d = é a massa específica aparente seca, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

S = é o grau de saturação

W = teor de umidade, arbitrado na faixa de interesse, expresso em porcentagem (%);

p_s = massa específica dos grãos do solo, conforme a ABNT NBR 6458, expressa em gramas por centímetro cúbicos (g/cm³);

p_w = massa específica da água, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm^3), considerando igual a 1g/cm^3 .

De modo a utilizar as coordenadas cartesianas normais, será traçado a curva de compactação, utilizando de dados dos teores de umidade e das massas específicas aparentes secas correspondentes.

6.3 Procedimento para CCR

A produção do CCR é dividida em duas etapas, onde o procedimento de cálculo foi conforme estipulado por (Recena, 2011), a primeira se caracteriza por elaborar alguns corpos de prova para averiguação de sua umidade ótima na mistura, de modo que é seguido uma proporção de 1:5 de cimento e agregados.

Especifica-se um consumo de cimento o qual ficará fixo. 5 traços foram realizados variando o teor de umidade total na mistura. De modo a compreender como se dá o comportamento da água no traço específico de CCR.

A mistura é realizada na betoneira, e a moldagem é realizada com o auxílio de um soquete de 4,5 kg com altura de queda de 45 cm, onde cada camada será compactada com 25 golpes.

Após 7 dias, os corpos de prova foram retificados e rompidos, de maneira a tornar possível a construção de um gráfico que relacione os resultados obtidos no rompimento de resistência a compressão do concreto. A leitura do gráfico permite que se encontre a umidade ótima para a mistura de concreto. Como a consumo de cimento foi fixo. É possível relacionar a quantidade de água utilizada na mistura com o consumo de cimento, elaborando um novo gráfico de resistência e relação água cimento (a/c).

A segunda etapa é realizada com a elaboração de novos 5 traços com a água de umidade ótima fixada que foi descoberta na etapa anterior, desta vez variando o consumo de cimento. O processo foi o mesmo, de forma que ao final foi possível gerar o gráfico de resistência e a/c .

Foi elaborado um traço de controle, onde o RCD não faz parte da constituição. E 3 traços com adição de RCD na mistura, de modo a comparar as características dos traços realizados.

6.4 Ensaios e procedimentos para análise dos resultados

6.4.1 Resistência a compressão

Resistência a compressão axial conforme estipulado pela norma ABNT NBR 5739 para ensaio de compressão de corpos de prova, onde prescreve os métodos a serem utilizados para realização do ensaio.

Conforme a norma prescreve os corpos de prova deverão ser mantidos em cura úmida ou saturada, conforme as instalações disponíveis nos campos, foram utilizados tanques.

Para a realização do ensaio as duas faces do corpo de prova devem ser rematadas, dessa forma antes do rompimento, os corpos de prova foram retificados em máquina retificadora, buscando atender as exigências necessárias para realização do ensaio.

6.4.2 Resistência a tração por compressão diametral

O conhecimento sobre a resistência a tração do concreto tem caráter bastante importante. Sabendo essa característica, em projeto podem ser previstas peças mais duráveis, possibilitando uma melhor análise dos níveis de fissuração por meio de valores da tração do concreto (Farias et al, 2003).

O ensaio realizado por compressão diametral é um método indireto de obtenção desse resultado. Este que foi desenvolvido pelo engenheiro Lobo Carneiro, do qual é conhecido como Brazilian test, ou simplesmente ensaio Brasileiro (FURNAS, 1997).

O ensaio consiste em aplicar o esforço de compressão na geratriz de um cilindro, onde no ponto de contato existem apoios de taliscas, dispostos longitudinalmente. A ruptura do corpo de prova se dá pela tração ocasionada em planos diametralmente opostos.

Resistência a tração foi analisada conforme a ABNT NBR 7222 que demonstra os métodos necessários para se encontrar a resistência a tração o qual será analisada.

6.4.3 Absorção de água

foi determinada conforme prescreve a NBR ABNT 9778 que estipula para argamassa e concretos o método para a determinação da absorção de água por imersão- índice de vazios e massa específica, realizado através de imersão.

A imersão da água é o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. O ensaio consiste em se obter a massa seca da amostra com auxílio da estufa, e posteriormente imersão da amostra em água por 72 horas. Para a obtenção da amostra saturada.

A porcentagem de absorção (A) da amostra é expressa pela fórmula a seguir:

$$A = \frac{M_{SAT} - M_S}{M_S} * 100$$

Onde:

m_{sat} = é a massa da amostra saturada;

m_s = é a massa da amostra seca.

Posteriormente foi analisado o índice de vazios que a amostra apresenta.

$$Iv = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat}} * 100$$

Onde:

m_i = massa da amostra saturada imersa em água.

Massa específica da amostra seca:

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$$

Massa específica da amostra saturada:

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i}$$

Massa específica real:

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$$

6.4.4 Permeabilidade a água

Como método a descobrir o coeficiente de permeabilidade à água, foram seguidos os passos estipulados pela ABNT NBR 10786. O coeficiente de permeabilidade é expresso por ser a velocidade de percolação de água no concreto, seguindo a lei de Darcy, aplicável a fluxos de fluidos viscosos, em meio poroso, em regime laminar e permanente com a vazão de água seguindo uma direção, submetida a um gradiente de pressão, que atravessa uma determinada seção do concreto.

O coeficiente de permeabilidade será calculado pela seguinte equação.

$$K = \frac{Q * L}{A * H}$$

Onde:

K= coeficiente de permeabilidade, expresso em centímetros por segundo (cm/s);

Q= vazão de entrada, expressa em centímetros cúbicos por segundo (cm³/s);

L= altura do corpo de prova (cm);

A= área da seção transversal do corpo de prova, expressa em centímetros quadrados (cm²);

H= altura da coluna d'água correspondente a pressão utilizada, expressa em centímetros (cm).

6.4.5 Teor de água

Como O CCR tem Slump de zero e tem como função já dito anteriormente de garantir a maior massa específica, com resistência suficiente para suportar a ação de um rolo compactador, a água se torna um fator preponderante e que deve ser realizado com total controle em sua adição.

6.4.6 Absorção de água por capilaridade

Conforme determina a ABNT NBR 9779 para estabelecer a absorção de água, através de ascensão capilar, para argamassa e concretos. De modo que após o ensaio pode ser calculada pela seguinte equação.

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S}$$

De modo que:

C= É a absorção de água por capilaridade, expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm²);

m_{sat} = Massa saturada do corpo de prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, expressa em gramas (g);

m_s = É a massa do corpo de prova seco, assim que este attingir a temperatura de (23 ± 2) ° C, expressa em gramas (g);

S= É a área da seção transversal, expressa em centímetros quadrados (cm²).

6.4.7 Consistência e massa específica pelo Vebê modificado

Conforme estipula a ABNT NBR 16312-3 para concreto compactado a rolo (CCR) produzido em laboratório para sua aplicação em barragens, onde foi encontrado a massa específica do CCR em seu estado fresco. encontrado através da seguinte fórmula.

$$m_e = \frac{m_1 - m_3}{m_4}$$
$$m_4 = V_1 - (M_2 - M_1)$$

Onde:

m_e = É a massa específica do concreto, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

m_1 = É a massa do conjunto concreto e recipiente, expressa em gramas (g);

m_2 = É a massa do conjunto concreto, recipiente e água, expressa em gramas (g);

m_3 = É a massa do recipiente, expressa em gramas (g);

m_4 = É a massa de água que corresponde numericamente ao volume do concreto obtido pela subtração de $((V_1 - (m_2 - m_1))$, expressa em centímetros cúbicos (cm³);
 V_1 = É o volume do recipiente, expresso em centímetros cúbicos (cm³).

6.5 Estudo de caso

A definição do tema abordado partiu da necessidade da reutilização de resíduos, que em grande maioria não são aproveitados corretamente. Desse modo aliando sua utilização no CCR de barragens, utilizaria um grande volume de material que anteriormente seria descartada, reduzindo assim possíveis gastos com coleta de material e com outros tipos de materiais agregados e contribuindo para o meio ambiente, evitando o descarte indevido de material.

7. RESULTADOS

Inicialmente foi realizado o processo de coleta dos materiais a serem empregados no estudo do CCR. O cimento utilizado como dito anteriormente pode ser o que o mercado oferta. Para as análises que serão demonstradas a seguir, foi utilizado o cimento do tipo CP II-Z da marca Ciplan por ser de mais fácil acesso na região. O material RCD foi constituído de resíduos de corpos de prova de concreto e blocos cerâmicos, utilizados em conjunto na mistura de CCR em proporções variadas, com sua substituição realizada em massa.

7.1 Definição dos agregados utilizados

Para a composição do CCR foram utilizados:

- Areia de granulometria média (obtida nas dragas da região)
- Brita de numeração 1 (de granulometria 19mm)
- Cimento do tipo II-Z da marca Ciplan
- RCD do tipo classe A

O agregado miúdo do tipo areia média foi adquirido nas dragas da região e a brita do tipo 1 de 19mm foi adquirida em centros de britagem.

7.2 Processo de moagem do RCD

O material RCD foi adquirido em seu estado bruto com dimensões grandes e impossíveis de vincular a mistura de CCR, devido a isso foi realizado um processo de moagem do material como já explicado anteriormente, utilizando triturador de mandíbulas e moinho de bolas. Após essa etapa todo o material triturado foi peneirado na peneira de 4,75 mm de maneira a obter somente a porção condizente a granulometria de agregados miúdos, com esta etapa concluída todo o material foi então caracterizado. O aspecto do material após a moagem é demonstrado na Figura 12.

Figura 12. Material após moagem



Fonte: Autoria Própria (2019)

7.3 Caracterização dos agregados

Compreender totalmente os materiais os quais se utilize garante uma melhor análise dos resultados, pois permite entender com clareza o comportamento das amostras submetidas ao estudo, por isso todos os materiais empregados no estudo serão analisados separadamente e em conjunto analisando as características do CCR.

7.3.1 Agregado miúdo

7.3.1.2 Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo

Para o procedimento de análise granulométrica do agregado miúdo, do RCD e agregado graúdo foi utilizada a série normal de peneiras. Onde conforme a tabela 1 da NBR NM 248 especifica a série normal de abertura das peneiras. Na Tabela 6 é demonstrado a série de peneiras utilizadas no estudo, tanto para agregado miúdos e graúdos.

Tabela 6. Série de peneiras

Série Normal
75 mm
-
-
37,5mm
-
-
19 mm
-
9,5 mm
-
4,75 mm
2,36 mm
1,18 mm
600 µm
300 µm
150 µm

Fonte: Adaptado da NBR NM 248

Os resultados obtidos ao final do ensaio contendo a porcentagem média retida em cada peneira, a porcentagem média retida acumulada em cada peneira, a dimensão máxima característica do material utilizado e o seu módulo de finura podem ser analisados na tabela 7 a seguir.

Tabela 7. Granulometria agregado miúdo

D a t a:	27-mar-19	Granulometria do Agregado Miúdo - NBR NM 248:2003		
Abertura da Malha das Peneiras (mm)	massa inicial seca (gr)	500,0	(Mrm)	(Mra)
	Mrg) Massa retida (gr)	Mr%) Massa retida (%)	Massa retida média	Massa retida acumulada
	Ensaio	Ensaio	(%)	(%)
9,5	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	14,0	1,4%	1,4%	1,4%
2,36	37,3	3,7%	3,7%	5,1%
1,18	55,4	5,6%	5,6%	10,7%
0,6	95,0	9,5%	9,5%	20,2%
0,3	508,2	50,9%	50,9%	71,1%
0,15	211,4	21,2%	21,2%	92,3%
Fundo	77,2	7,7%	7,7%	100,0%
Mt) Total □	998,5	Módulo de finura	2,01	Diâmetro máximo = 4,75
Mt = (de Mrg) Mr% = (Mrg / Mt) *100 Mrm = (Mr% ensaio) Mra = (Mrm Massa retida media)				
Módulo finura = % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100				
D. máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada < 5%				

Fonte: Autoria Própria

7.3.1.3 Massa específica do agregado miúdo

Foi obtido a massa específica do agregado juntamente com a sua massa unitária solta e compactada na tabela 8.

Tabela 8. Composição de massas e absorção (agregado miúdo)

Massa específica real	2,66	g/cm ³
Massa solta	1,593	g/cm ³
Massa compactada	1,659	g/cm ³
Absorção	1,88	%

Fonte: Autoria Própria

7.3.2 RCD

7.3.2.1 Determinação da composição granulométrica agregado RCD

Para o procedimento de análise granulométrica do agregado RCD também foi utilizado a série normal de peneiras.

Os resultados obtidos ao final do ensaio contendo a porcentagem média retida em cada peneira, a porcentagem média retida acumulada em cada peneira, a dimensão máxima característica do material utilizado como agregado miúdo e o seu módulo de finura podem ser analisados na tabela 9 a seguir.

Tabela 9. Granulometria RCD

D a t a:	11-mar-19	1) Granulometria do RCD - NBR NM 248:2003		
	massa inicial seca (gr)	500,0	(Mrm)	(Mra)
Abertura da malha das peneiras (mm)	Mrg) Massa retida (gr) Ensaio	Mr%) Massa retida (%) Ensaio	Massa retida média (%)	Massa retida acumulada (%)
9,5	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	1,4	0,1%	0,1%	0,1%
2,36	642,5	32,2%	32,2%	32,3%
1,18	517,8	26,0%	26,0%	58,3%
0,6	666,8	33,5%	33,5%	91,8%
0,3	1,7	0,1%	0,1%	91,9%
0,15	0,0	0,0%	0,0%	91,9%
Fundo	162,1	8,1%	8,1%	100,0%
Mt) Total S	1.992,3	Módulo de Finura	3,66	Diâmetro Máximo = 4,75
Mt = (S de Mrg) retida média) Mr% = (Mrg / Mt) *100 Mrm = Mr% ensaio Mra = (S Mrm Massa				
Módulo finura = S % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100				

Fonte: Autoria Própria (2019)

7.3.2.2 Massa específica do agregado RCD

Foi obtido a massa específica do agregado juntamente com a sua massa unitária solta e compactada na tabela 10.

Tabela 10. Composição de massas e absorção (RCD)

Massa específica real	2,35	g/cm ³
Massa solta	1,347	g/cm ³
Massa compactada	1,448	g/cm ³
Absorção	21,91	%

Fonte: Autoria Própria (2019)

7.3.3 Agregado graúdo

7.3.3.1 Determinação da composição granulométrica agregado graúdo

A composição granulométrica do agregado graúdo é mostrada na Tabela 11.

Tabela 11. Granulometria agregado graúdo

D a t a:	11/mar/19	1) Granulometria Agregado Graúdo - NBR NM 248:2003		
Massa inicial seca (kg)	10,000			
Abertura das Peneiras	Massa retida	Massa retida	Massa retida média	Massa retida acumulada
75	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
63	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
50	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0	0,0%	0,0%	0,0%
19	67,0	1,3%	1,3%	1,3%
12,5	3.520,2	70,4%	70,4%	71,8%
9,5	1.310,0	26,2%	26,2%	98,0%
6,3	80,2	1,6%	1,6%	99,6%
4,75	21,0	0,4%	0,4%	100,0%
2,36	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
1,18	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
0,6	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
0,3	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
0,15	0,0	0,0%	0,0%	100,0%
Fundo	0,0	0,0%	0,0%	100,0%

Fonte: Autoria Própria (2019)

Com massa total de 4998,5 g, modulo de finura de 6,99 e diâmetro máximo característico de 19 mm.

7.3.3.2 Massa específica do agregado graúdo

Os procedimentos de ensaio resultaram nos valores de massa específica apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Composição de massas e absorção (agregado graúdo)

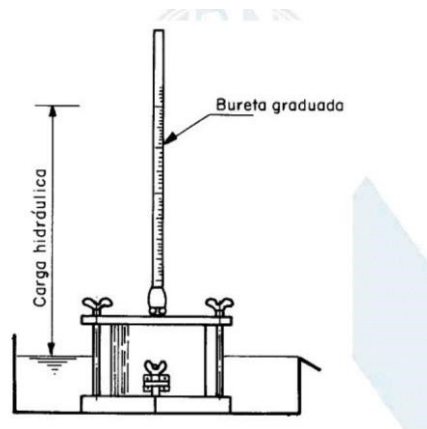
Massa específica aparente	2,34	g/cm ³
Massa solta	1,28	g/cm ³
Massa compactada	1,4	g/cm ³
Massa específica do agregado em SSS	2,35	g/cm ³
Absorção	0,29	%

Fonte: Autoria Própria (2019)

7.4 Determinação do coeficiente de permeabilidade a uma carga variável

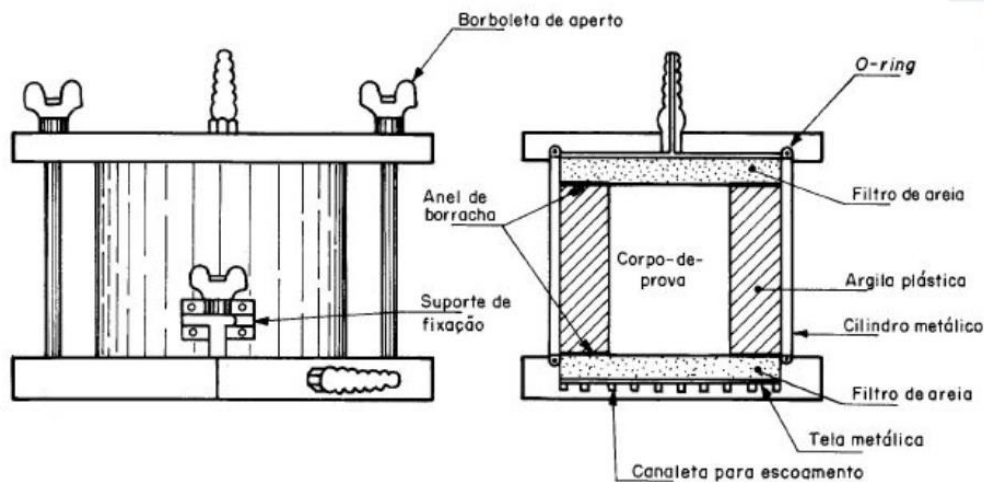
Ensaio realizado com permeâmetro metálico com aproximadamente 15 cm de diâmetro e 13 cm de altura, de modo que funciona com a acoplagem de duas tampas. A argila plástica empregada para vedação do espaço entre o corpo de prova e parede do permeâmetro foi do tipo bentônica. O recipiente utilizado nos ensaios está demonstrado nas Figuras 13 e 14.

Figura 13. Permeâmetro



Fonte: NBR 14545

Figura 14. Esquemática do permeâmetro



Fonte: NBR 14545

O processo de compactação foi realizado com o auxílio do soquete de Proctor respeitando os limites e camadas a serem compactadas conforme a norma.

A retirada da amostra não foi realizada com o auxílio de extrator, devido o equipamento apresentar defeito de funcionamento, desse modo ainda assim amparado pela norma no item 3.3.2 que prescreve método para a extração de forma não vertical, de maneira a não provocar flexão na amostra ensaiada, utilizando assim molde de abertura lateral. E ainda segundo o item 3.3.3 pode ser realizada a talhagem do corpo de prova até atingir as dimensões desejadas.

O ensaio seguiu-se conforme a norma até atingir pelo menos quatro determinações do coeficiente de permeabilidade relativamente próximas. Foi calculado a massa específica aparente seca inicial do corpo de prova e demais índices físicos.

Desse modo, efetuando os cálculos, encontra-se o valor de $2,77 \cdot 10^{-3}$ cm/s para o coeficiente K de permeabilidade.

7.5 Ensaio de compactação (RCD)

Ensaio realizado para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca do material RCD quando compactado seguindo os procedimentos especificados.

A energia de compactação do molde foi realizada de acordo com o item 4.1 da NBR 7182 caracterizada como energia de compactação normal, dividido em 3 camadas com 26 golpes em cada camada. A quantidade de água inicialmente empregada ao ensaio foi de 230 ml com adições de 2% até encontrar o ponto de umidade ótima para compactação, para que esse ponto fosse representado necessitou-se de 6 amostras. Os resultados encontrados durante o ensaio podem ser visualizados na Tabela 13.

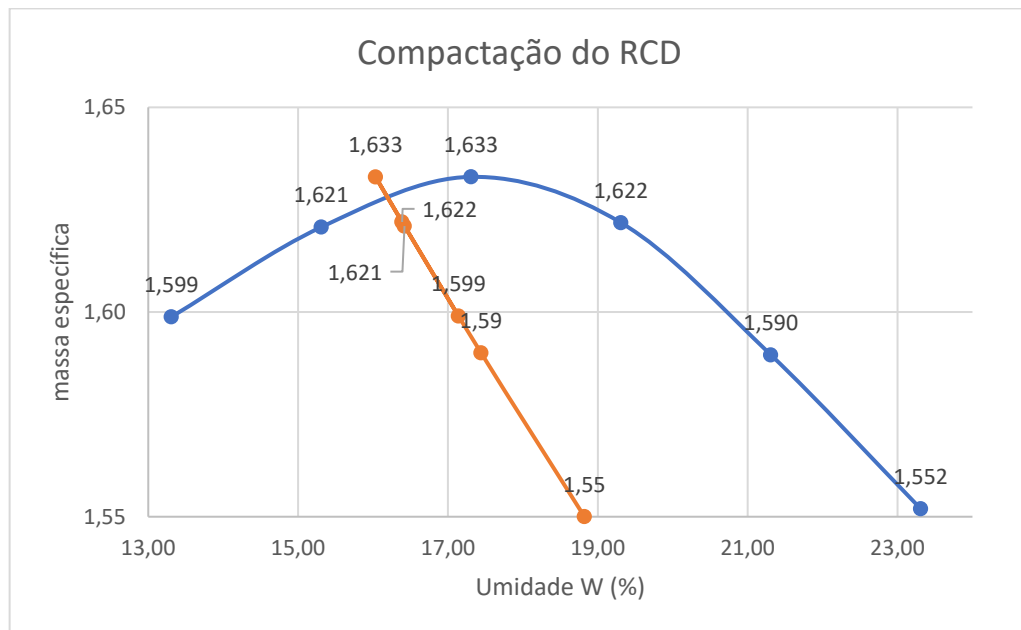
Tabela 13. Ensaio de compactação

	1	2	3	4	5	6
w (%)	13,309	15,309	17,309	19,309	21,309	23,309
água(g)	230,000	287,012	344,024	401,036	458,048	515,060
água (%)	8,068	10,068	12,068	14,068	16,068	18,068
c+s+a (g)	5927,210	5984,200	6030,800	6050,000	6043,300	6028,800
c (g)	4123,810	4123,810	4123,810	4123,810	4123,810	4123,810
s+a (g)	1803,400	1860,390	1906,990	1926,190	1919,490	1904,990
v (cm³)	995,460	995,460	995,460	995,460	995,460	995,460
ρ específico	1,812	1,869	1,916	1,935	1,928	1,914
ρ específico(s)	1,599	1,621	1,633	1,622	1,590	1,552
w (%) - Percentual de água utilizado na mistura c - massa do cilindro de Proctor s - Massa de solo a - massa de água						

Fonte: Autoria Própria (2019)

Utilizando coordenadas cartesianas é então traçado a curva de compactação do material estudado, juntamente com a curva de saturação de 85%, onde estão representados nas abscissas os teores de umidade W e nas ordenadas as massas específicas aparentes secas conforme Gráfico 1.

Gráfico 1. Curva de compactação



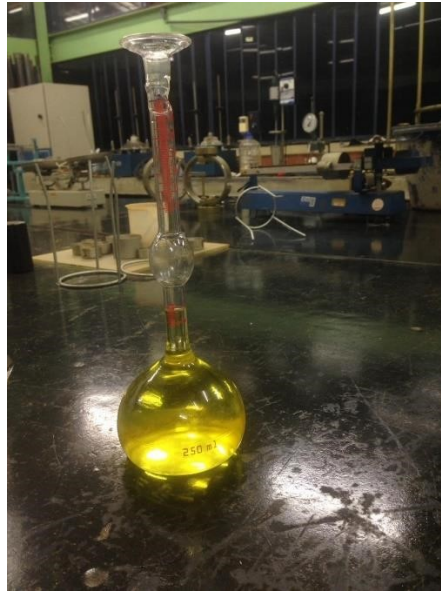
Fonte: Autoria Própria (2019)

Desse modo constatou-se que a umidade ótima de compactação para o material a ser estudado é de 17,30% atingindo uma massa específica aparente seca de 1,63 g/cm³.

7.6 Massa específica do cimento

De modo a determinar a massa específica do cimento Portland foi realizado o ensaio conforme a NBR 16605 com a utilização do frasco de *Le Chatelier*. A Figura 15 demonstra parte da realização do ensaio. O resultado obtido foi de 3,14 g/cm³.

Figura 15. Realização do ensaio massa específica do cimento Portland



Fonte: Autoria Própria (2019)

7.7 Método de regularização das superfícies

Foi realizado a regularização da superfície através da retificação, que consiste por meios mecânicos de retirar uma fina camada de material de modo a deixar as duas faces do corpo de prova planas para receber de maneira uniforme o carregamento. Esse processo foi realizado com equipamento específico para essa operação em laboratório profissional da região. Na Figura 16, alguns corpos de prova retificados.

Figura 16. Corpos de prova retificados



Fonte: Autoria Própria (2019)

7.8 Analisando teor de água e quantidade de cimento

7.8.1 Análise do percentual de água

Foram realizados traços de CCR em que a quantidade de agregados e de aglomerante foi mantida fixa, sem a presença de RCD, variando apenas o teor de água em meio a mistura, tal análise permitiu verificar como a água influencia na mistura do CCR. De modo que após o rompimento de vários corpos de prova com teores de água distintos foi possível elaborar intervalos de teores de água dos quais são benéficos para a mistura de CCR. Foram utilizados alguns equipamentos externos a instituição, como máquina de retificar corpos de prova e moldes de corpos de prova, devido a instituição não possuir a quantidade de moldes disponíveis para a análise do estudo.

Os seguintes teores foram analisados:

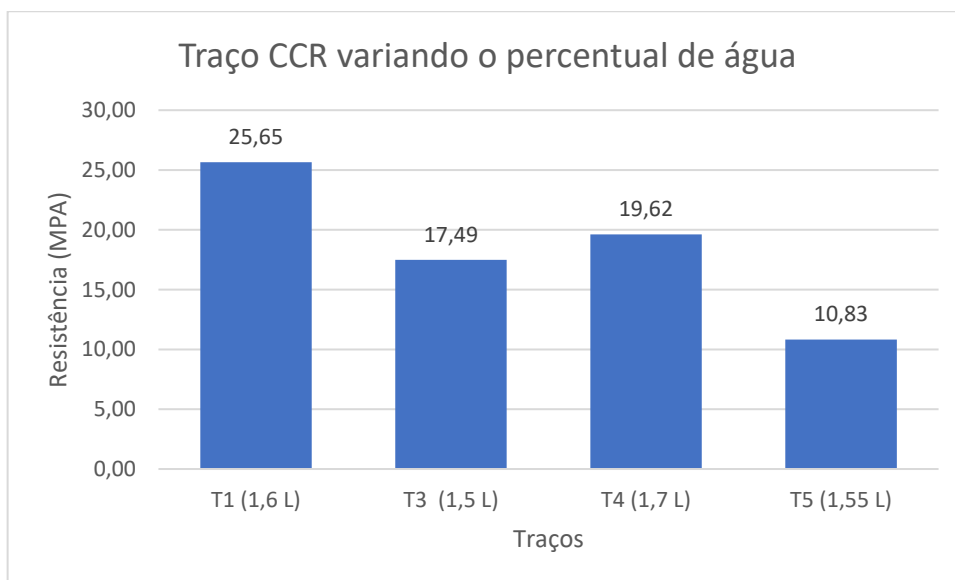
- Traço 1 com 1,6 litros ($a/c = 0,4$)
- Traço 2 com 1,3 litros ($a/c = 0,325$)
- Traço 3 com 1,5 litros ($a/c = 0,375$)
- Traço 4 com 1,7 litros ($a/c = 0,425$)

- Traço 5 com 1,55 litros ($a/c = 0,3875$)

Foram produzidos 3 corpos de prova de cada traço totalizando 15 corpos de prova para esta primeira etapa do estudo.

Os traços foram rodados em betoneira de rotação vertical e moldados e compactados com soquete compactador de Proctor em três camadas. Após 10 dias os corpos de prova de análise foram retificados e rompidos, analisando a resistência a compressão conforme a NBR 5739, é importante salientar que o traço de número 2 não foi rompido. O baixo teor de água fez com que o CCR tivesse um aspecto bem mais seco e por sua vez frágil, os corpos de prova do traço 2 não suportaram a retificação, o que para análise foi desconsiderado o teor de 1,3 litros, considerando-o muito abaixo do necessário para produzir um concreto capaz de ser compactado. Os demais traços foram retificados e rompidos normalmente. O gráfico 2 representa os resultados.

Gráfico 2. Resistências alcançadas variando percentual de água



Fonte: Autoria Própria (2019)

O Traço que apresentou o pico de resistência e demonstrando o melhor teor de água para a mistura de CCR foi o Traço 1 com teor de 1,6 litros. Com esse resultado foi possível analisar como se dá o comportamento desse tipo de concreto conforme o teor de água é aumentado.

7.8.2 Análise do percentual de cimento

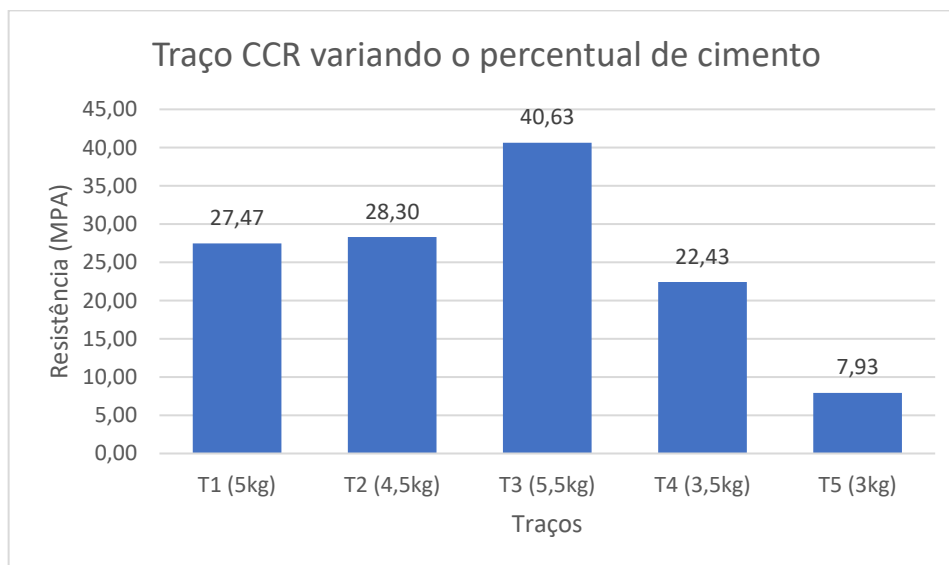
Posteriormente foi analisado o comportamento do CCR conforme fosse variado o seu consumo de cimento. Novamente foram elaborados 5 traços com 3 corpos de prova para cada traço com 15 corpos de prova no total para essa etapa.

A produção do CCR nesta etapa ocorreu sem RCD, variando o consumo de cimento da mistura, o teor de água foi fixado em 1,6 litros. Para essa etapa foram utilizados os seguintes consumos de cimento:

- Traço 1= 5kg ($a/c = 0,32$)
- Traço 2= 4,5 kg ($a/c = 0,35$)
- Traço 3= 5,5 kg ($a/c = 0,29$)
- Traço 4= 3,5 kg ($a/c = 0,45$)
- Traço 5= 3 kg ($a/c = 0,53$)

Novamente após 10 dias os corpos de prova foram retificados e rompidos e analisados a sua resistência a compressão. O comportamento comparando o consumo de cimento pode ser visualizado no gráfico 3.

Gráfico 3. Resistências alcançadas variando o percentual de cimento



Fonte: Autoria Própria (2019)

Como pode ser visualizado no gráfico anterior conforme foi aumentado o consumo de cimento do CCR obteve aumentado a resistência, de modo a não encontrar o ponto de máximo para o consumo de cimento. Por esse motivo outros traços foram analisados de maneira a aumentar o consumo de cimento a fim de encontrar o ponto de máximo da mistura.

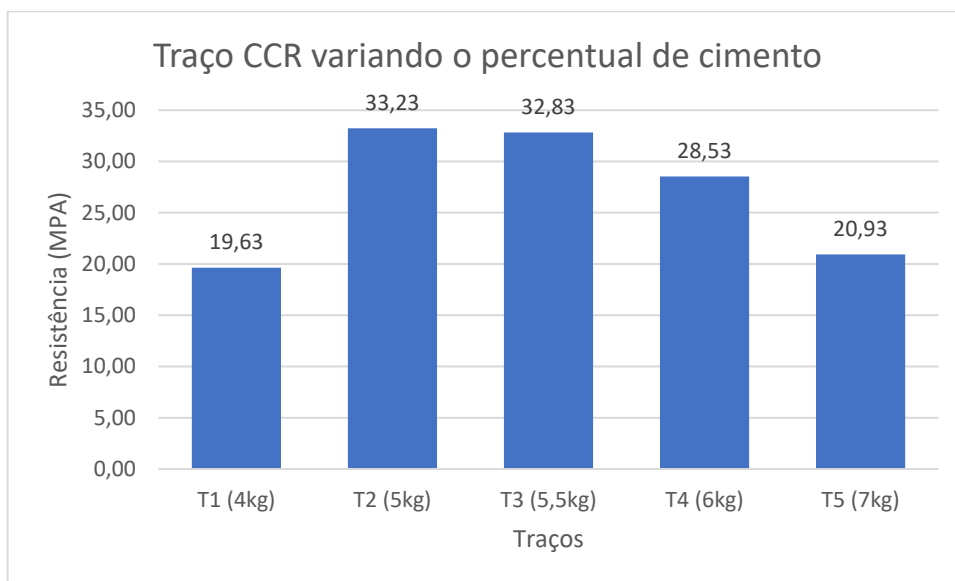
7.8.3 Análise do percentual de cimento segunda etapa

Foram então produzidos traços com consumo de cimento de:

- Traço 1 = 4 kg ($a/c = 0,4$)
- Traço 2 = 5 kg ($a/c = 0,32$)
- Traço 3 = 5,5 kg ($a/c = 0,29$)
- Traço 4 = 6 kg ($a/c = 0,26$)
- Traço 5 = 7 kg ($a/c = 0,22$)

Com o aumento do consumo de cimento foi possível analisar o ponto de máximo na mistura de CCR, representado no gráfico 4.

Gráfico 4. Resistências alcançadas variando percentual de cimento segunda etapa

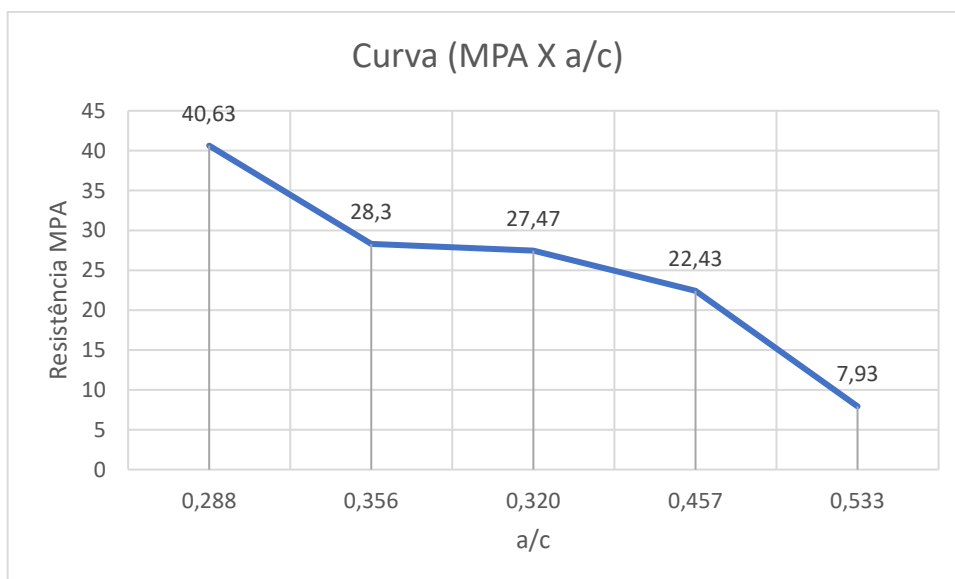


Fonte: Autoria Própria (2019)

7.8.4 Curva de relação resistência x relação água cimento

Foi possível construir a curva de resistência e a relação água cimento, conforme Gráfico 5.

Gráfico 5. Curva de relação resistência com a/c



Fonte: Autoria Própria (2019)

Segundo (TRABOULSI, 2007) o CCR com baixo consumo de cimento apresenta aparência semelhante à brita graduada tratada com cimento. E se utilizado consumo de cimento um pouco maior o CCR após seu adensamento apresenta aparência de um concreto convencional. De fato, essa característica foi observada e comprovada durante o estudo. A Figura 17 do corpo de prova de CCR demonstra o aspecto visual do concreto.

Figura 17. Aspecto visual CCR



Fonte: Autoria Própria (2019)

É importante lembrar das análises do CCR em seu estado fresco que foram constituídas de sua consistência pelo Slump Test onde é constituído de um Slump de 0 cm, e a sua massa específica pelo ensaio de Vebê modificado. Os resultados para essa etapa serão descritos posteriormente.

7.9 Definição da quantidade de traços e corpos de prova

A análise do comportamento do CCR para o estudo se deu com a produção de um traço padrão e mais três traços com adições de RCD, sendo elas

especificamente de 25%,50% e 100%. Onde cada traço foi composto por 20 corpos de prova totalizando 80 corpos de prova, sendo divididos em:

- 6 CPs = Análise de resistência a compressão
- 6 CPs = Análise de resistência a tração (método Brazilian Test)
- 3 CPs = Determinação da absorção de água por capilaridade
- 2 CPs = Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica
- 3 CPs = Análise de perda de resistência

Ao final do estudo foram confeccionados 125 corpos de prova.

7.10 Mudanças nos percentuais

No momento de produzir o CCR com adição de RCD como 100% de agregado miúdo notou-se a grande influência da utilização de somente esse tipo de material se não combinado com o agregado comumente utilizado que é a areia. O material triturado de RCD apresenta grande capacidade de absorção, desse modo um traço padrão de CCR sem adição ou substituição de areia por RCD apresenta grande diferença em relação a sua consistência. No traço de 100% a mistura com a quantidade de água utilizada como padrão se apresentou insuficiente para a completa hidratação dos materiais, de modo que ao final ainda continham agregados secos na mistura, impossibilitando prosseguir com esse teor e obter um comparativo real com o percentual de água utilizado.

O traço de 50% de RCD já apresentava estar próximo do limite de adição de RCD para a quantidade de água utilizada, por isso optou-se por utilizar um teor próximo ao de 50%. O processo de produção de RCD continuou com último traço com adição de 60% de RCD.

Os aspectos visuais de todos os traços estão apresentados nas Figuras 18 e 19.

Figura 18. Traços de CCR (traço 1 e traço 2)



Traço 1



Traço 2

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 19. Traços de CCR (traço 3 e traço 4)



Traço 3



Traço 4

Fonte: Autoria Própria (2019)

É importante destacar que todos os traços atingiram o Slump determinado.

7.11 Ensaio de consistência e massa específica pelo Vebê modificado

O recipiente foi adaptado para um de volume conhecido, para garantir a possível análise do ensaio. A mesa vibratória também necessitou de ser adaptada, conforme a NBR 13312-3 que permite que seja utilizado outro tipo de equipamento vibratório, desde que atenda a frequência estabelecida na ABNT NBR 5738. O equipamento utilizado que atendia as especificações foi o vibrador de peneiras, que além de possuir a frequência necessária, também já possuía hastes que facilitavam

travar o recipiente utilizado. O molde utilizado para realizar o ensaio foi o molde de CBR que permitiu a análise e travamento no agitador de peneiras. A Figura 20 demonstra a realização do ensaio.

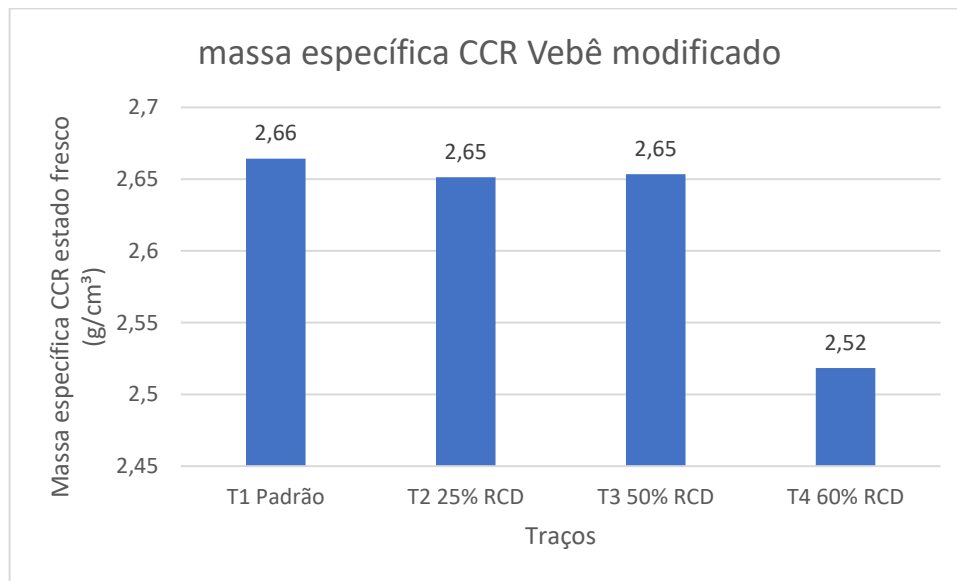
Figura 20. Ensaio de massa específica do CCR



Fonte: Autoria Própria (2019)

O resumo dos resultados encontrados ao final do ensaio podem ser visualizados no Gráfico 6.

Gráfico 6. Massas específicas dos traços



Fonte: Autoria Própria (2019)

O traço 1 padrão apresentou o maior valor de massa específica pelo ensaio de Vebê modificado, entretanto os traços 2 e 3 apresentam valor muito aproximado ao traço padrão, não apresentando grandes perdas de massa específica se forem comparados entre si.

O único traço realmente abaixo nesse quesito é o traço 4, porém ainda dentro dos padrões esperados. Segundo (TRABOULSI, 2007) o CCR deve ter massa específica de no mínimo $2,5 \text{ g/cm}^3$, sendo assim todos os traços atendem ao requisito para CCR.

7.12 Metodologia de cura do concreto

Figura 21. Cura do concreto



Fonte: Autoria Própria (2019)

Todos os corpos de prova foram mantidos em laboratório e imersos em água até a data dos respectivos ensaios.

7.13 Absorção de água por capilaridade

Os corpos de prova utilizados para ensaio de absorção de água por capilaridade continham as mesmas dimensões dos utilizados para os demais ensaios, sendo cilíndricos de dimensões de 10x20 centímetros.

O início do ensaio sempre acontecia na idade de 25 dias do CCR. Até a data de realização do ensaio os corpos de prova permaneceram imersos em água. as marcações para o ensaio foram realizadas com auxílio de pincel e paquímetro, conforme Figura 22.

Figura 22. faixa limite para realização do ensaio



Fonte: Autoria Própria (2019)

Os corpos de prova ficaram apoiados sobre pequenos suportes de modo a impedir o contato da face inferior com o recipiente. A disposição dos corpos de prova pode ser visualizada na Figura 23 a seguir.

Figura 23. Ensaio de absorção de água por capilaridade



Fonte: Autoria Própria (2019)

Os resultados para a absorção de água até 72 horas estão demonstrados na Tabela 14.

Tabela 14. Leituras de 24h, 48h e 72h para determinação de absorção por capilaridade

Tipo do traço	n(x) traço	Cp(x)	Pesagem 24 horas (g)	Pesagem 48 horas (g)	Pesagem 72 horas (g)	Altura de absorção (cm)
Padrão	Traço 1	CP1	3795,04	3795,8	3795,36	5
		CP2	3735,79	3736,62	3736,64	10,2
		CP3	3713,74	3714,73	3715,31	6
25% RCD	Traço 2	CP1	3833,39	3833,75	3834,7	4,8
		CP2	3802,69	3803,75	3805,75	4
		CP3	3719,79	3719,98	3720,87	5,1
50% RCD	Traço 3	CP1	3392,29	3393,2	3393,2	5
		CP2	3363,1	3365,16	3365	5,5
		CP3	3461,52	3461,62	3462,1	5,5
60% RCD	Traço 4	CP1	3692,29	3694,68	3695,3	5
		CP2	3515,89	3519,97	3522,2	6,5
		CP3	3624,66	3226,34	3627,8	5

Fonte: Autoria Própria (2019)

Os valores para a absorção de água por capilaridade podem ser visualizados na Tabela 15.

Tabela 15. Resultados de absorção

Traço (x)	Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)
Traço 1	0,249
Traço 2	0,241
Traço 3	0,693
Traço 4	0,479

Fonte: Autoria Própria (2019)

De modo geral observa-se que todos os traços com adições de RCD na mistura tiveram um desempenho positivo para a altura de absorção por capilaridade

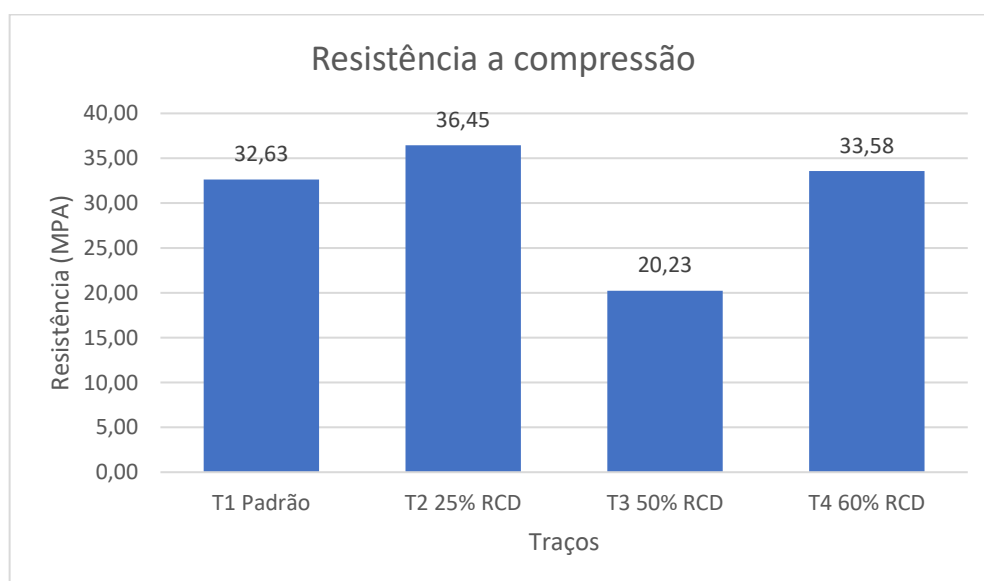
no CCR se comparados as médias entre os valores encontrados. Destacando o traço 2 de adição de 25% de RCD com o melhor desempenho entre todos.

Porem quando é analisado a massa do corpo de prova juntamente com a altura de absorção alguns resultados de desempenho são alterados, onde os traços de número 3 e 4 se apresentam inferiores devido à altura de absorção por sua massa. O traço de número 2 para esse quesito apresentou o melhor desempenho.

7.14 Resultados para resistência a compressão

Todos os corpos de prova para análise de resistência a compressão foram retificados e rompidos na idade de 28 dias. Foi considerada uma média de todos os 6 corpos de prova de cada traço, os resultados gerais são demonstrados no Gráfico 7.

Gráfico 7. Resistência a compressão dos traços



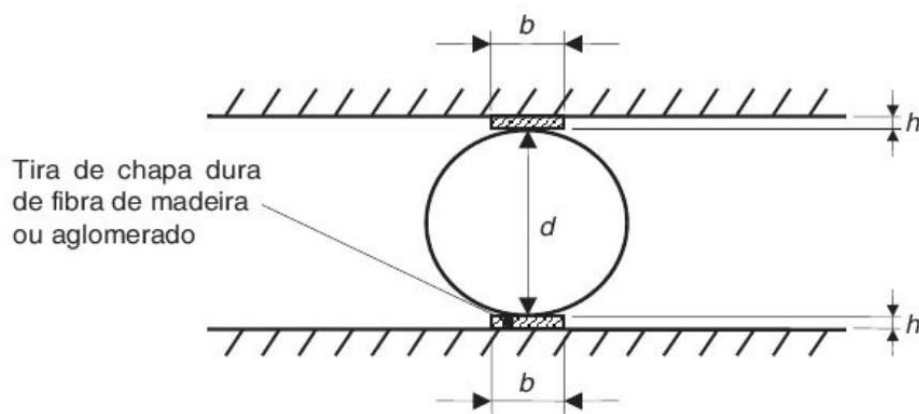
Fonte: Autoria Própria (2019)

Os traços de número 2 e 4 apresentaram desempenho melhor que o traço padrão comparando a sua resistência a compressão, de modo que o traço 2 obteve o melhor desempenho nesta análise com resultado acima dos demais traços. O traço de número 3 não se apresenta recomendável se comparado a sua resistência a compressão.

7.15 Resultados para resistência a tração

Foi realizado o rompimento a tração por compressão diametral. Conforme o item 3.4 da NBR 7222 um dispositivo auxiliar para facilitar o posicionamento do corpo de prova deve ser utilizado. Foram empregadas tiras de chapas de madeira isentas de qualquer ondulação ou imperfeições com comprimento maior que a geratriz do corpo de prova. O corpo de prova foi posicionado de maneira que o plano axial definido por geratrizes diametralmente opostas, recebam o carregamento coincidente com o eixo de aplicação da carga. A disposição é demonstrada na Figura 24 a seguir.

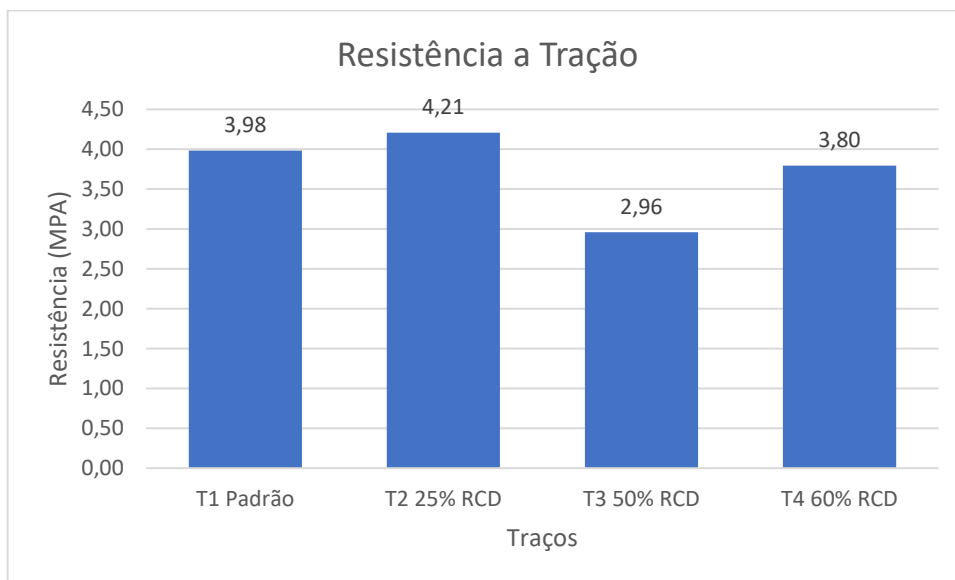
Figura 24. Disposição do corpo de prova



Fonte: NBR 7222

Os resultados de resistência a compressão podem ser visualizados na Gráfico 8.

Gráfico 8. Resistência a tração do CCR



Fonte: Autoria Própria (2019)

Em relação ao traço padrão somente o traço número 2 obteve desempenho superior se comparado a sua resistência a tração. Os traços 3 e 4 obtiveram desempenho inferior ao traço padrão, desse modo os seguintes teores influenciam negativamente para o desempenho a resistência a tração.

7.16 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

o ensaio foi realizado com os corpos de prova com 25 dias de idade, até o momento do ensaio estavam imersos em água. os resultados de massa seca, saturada por 72 horas e por imersão estão demonstrados na Tabela 16 a seguir.

Tabela 16. Determinação das massas secas, saturadas e imersas

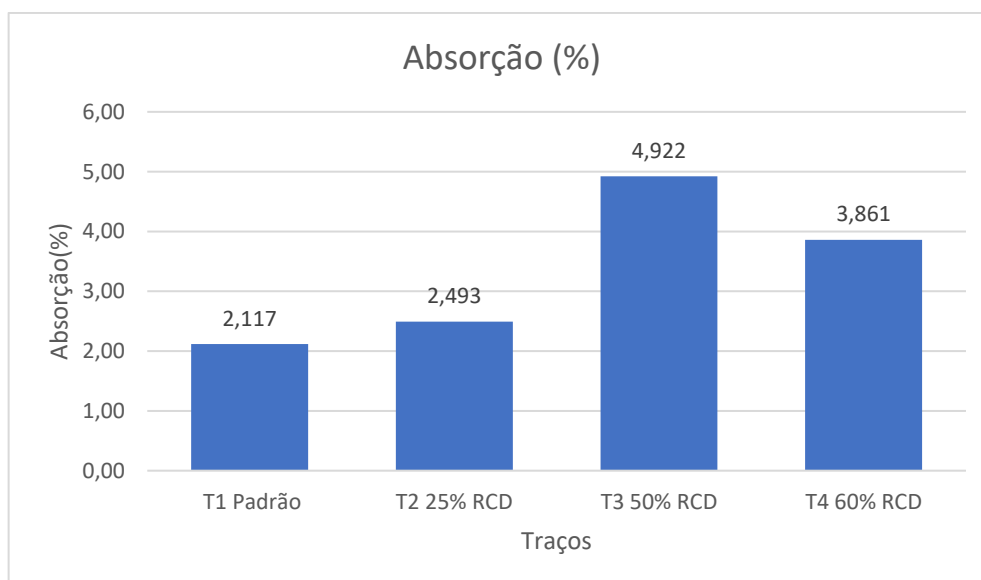
Traço (x)	CPX	Seca	Saturado após 72 horas	Imersão
Traço 1	CP1	3721,1	3795,77	2250,7
	CP2	3709,3 6	3792,02	2240,6
Traço 2	CP1	3855,9	3969,68	2280,9
	CP2	3835,7 9	3913,73	2320,9
Traço 3	CP1	3406,0 6	3552,17	2040
	CP2	3296,2 7	3480,05	1965
Traço 4	CP1	3437,5 8	3603,05	2080
	CP2	3616,1	3722,99	2160

Fonte: Autoria Própria (2019)

O Gráfico 9 a seguir representa os resultados de absorção referentes aos traços.

7.16.1 Absorção do dos traços de CCR

Gráfico 9. Percentual de absorção do CCR



Fonte: Autoria Própria (2019)

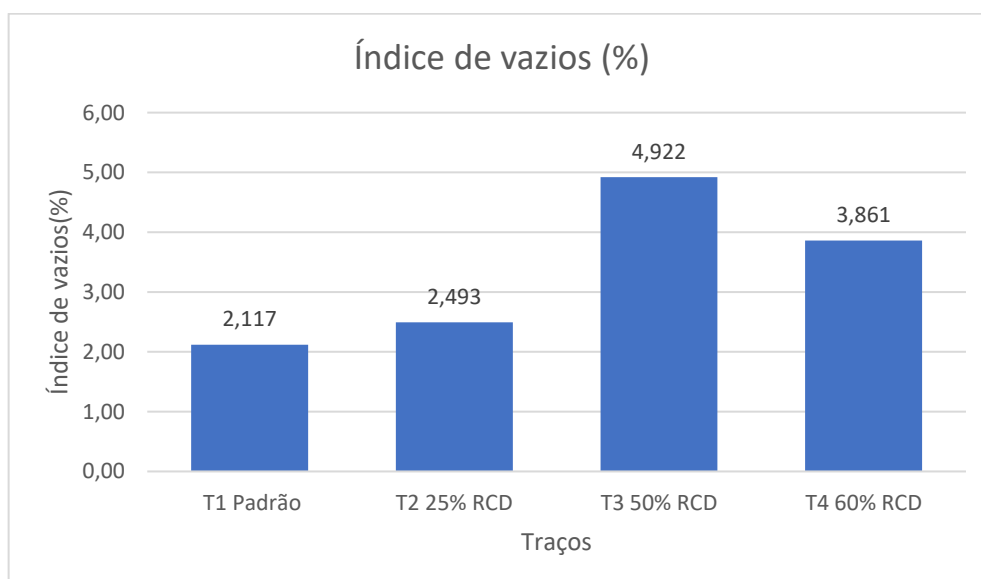
A absorção está totalmente ligada ao índice de vazios, de modo que quanto menor o volume de vazios menor será o valor da absorção do CCR. Em se tratando da absorção do CCR, o traço a apresentar o melhor desempenho foi o traço padrão,

porém o traço 2 de 25% RCD apresenta valor semelhante se comparado os dois valores. Os demais traços apresentaram absorção um pouco maior que os dois iniciais. Apesar das diferenças de resultados, todos os traços apresentaram absorção dentro da faixa esperada.

7.16.2 Índice de vazios dos traços de CCR

Os índices de vazios do CCR estão representados no Gráfico 10.

Gráfico 10. Percentual de índice de vazios



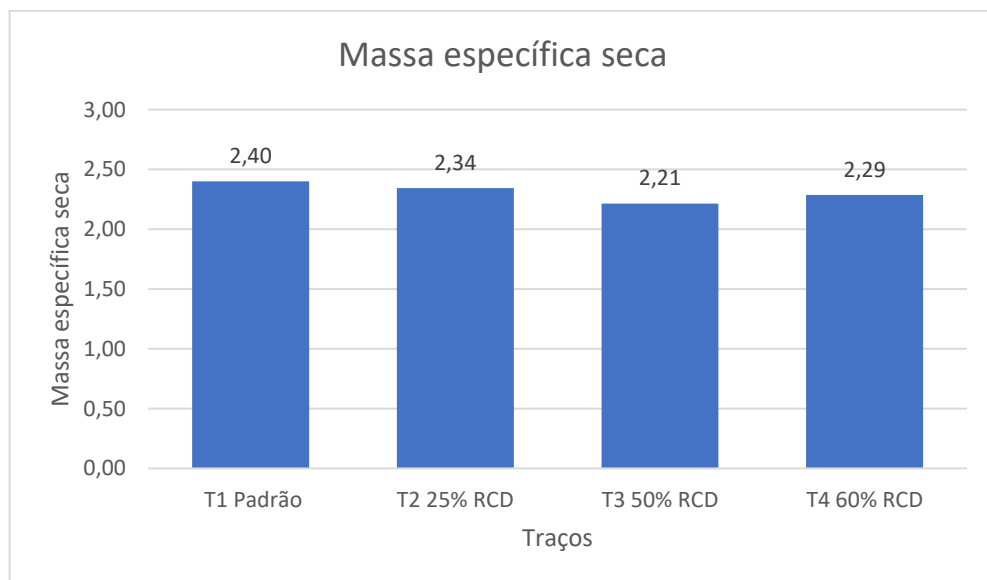
Fonte: Autoria Própria (2019)

Em relação ao número de vazios, o traço que apresenta o menor índice de vazios é o traço padrão sem substituições de RCD em sua mistura, o traço 2 apresenta valor semelhante, apresentando quase as mesmas características em relação ao índice de vazios. Os demais traços apresentaram valores bastante distintos se comparados com os traços 1 e 2.

7.16.3 Massa específica seca dos traços de CCR

os resultados de massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada e massa específica real estão demonstradas no Gráfico 11.

Gráfico 11. Massa específica seca do CCR



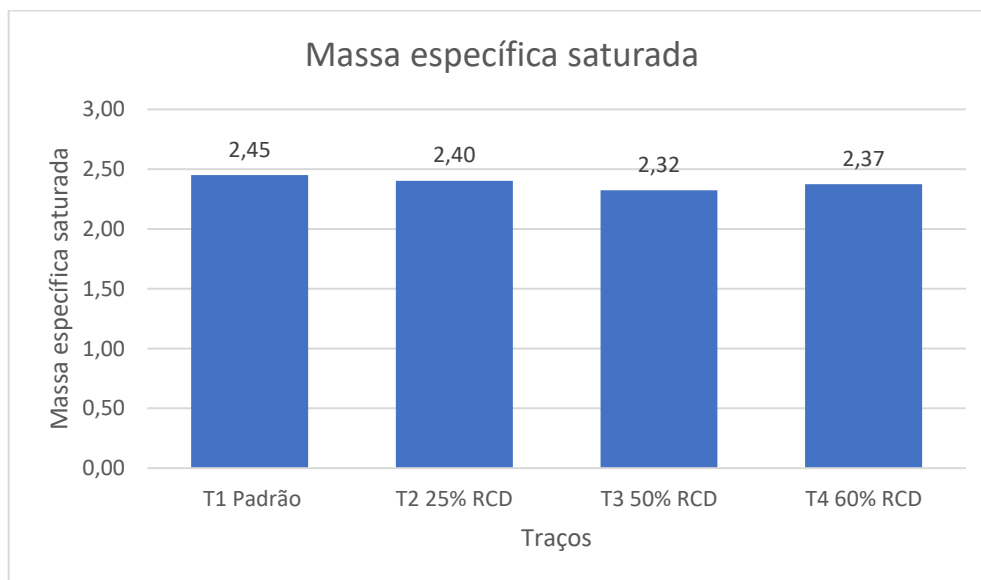
Fonte: Autoria Própria (2019)

Se comparados a massa específica seca, o traço que obteve maior valor foi o traço padrão, entretanto os demais traços apresentam valores bem próximos ao traço de controle.

7.16.4 Massa específica saturada dos traços de CCR

O Gráfico 12 a seguir demonstra a massa específica saturadas dos corpos de prova.

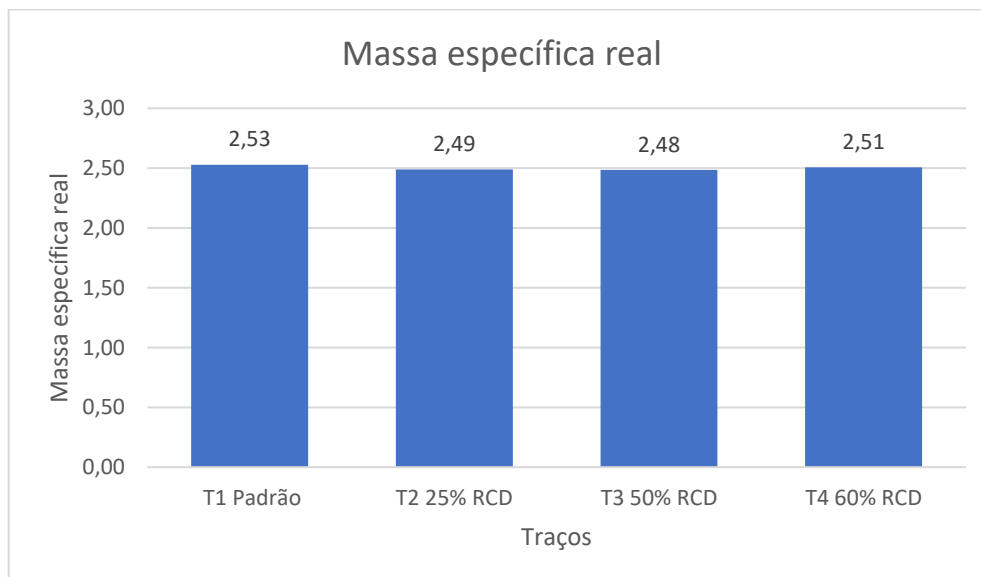
Gráfico 12. Massa específica saturada do CCR



Fonte: Autoria Própria (2019)

7.16.5 Massa específica real dos traços de CCR

Gráfico 13. Massa específica real do CCR



Fonte: Autoria Própria (2019)

Em relação a massa específica saturada e a massa específica real o traço padrão apresentou o maior valor, o traço de número 2 novamente apresenta valor muito semelhante ao traço de controle, juntamente com os demais traços. Especificamente observando a massa específica real o traço de número 4 esteve mais próximo ao valor do traço de controle.

7.17 Análise de perda de resistência

Foram separados 3 corpos de prova de cada traço, esses corpos de prova foram submetidos a ciclos repetitivos de secagem em estufa e saturação imersos em tanque de água.

Os processos de saturação e secagem tinha a duração de 1 dia. De maneira a realizar o procedimento por aproximadamente 15 dias, e sempre entre os intervalos de secagem e saturação a massa do corpo de prova foi registrada, ao final os corpos de prova foram rompidos de modo a analisar sua resistência a compressão.

Em relação as massas dos corpos de prova registradas durante todo o processo, nenhum traço obteve esse dado afetado.

Em relação a resistência a compressão, os traços de número 1 e 2 correspondentes ao traço de CCR convencional e o traço de CCR com 25% de RCD, não tiveram suas resistências a compressão afetadas. Para o traço de número 3, que é referente ao CCR com 50% de RCD obteve uma queda de resistência de ordem de 25%. Por fim para o traço de número 4, que correspondente ao traço de CCR de 60% de RCD, dispôs de uma queda de resistência de ordem de 15%.

8. CONCLUSÃO

Com base nos resultados pode-se concluir que:

- a) A absorção do RCD apresenta ser superior aos agregados naturais, o que faz com que a quantidade de água na mistura para o mesmo desempenho do traço padrão seja maior, conforme item 7.3.2.2 (Massa específica do agregado RCD).
- b) A utilização de percentuais muito altos prejudica as propriedades do CCR para um mesmo consumo de água como foi relatado no item 7.9 (Mudanças nos Percentuais). Desse modo a sua utilização pode ser realizada em teores altos se o consumo de água for elevado.
- c) A adição de RCD para composição do CCR mantém a sua massa específica acima da mínima em seu estado fresco, dado que todos os percentuais de adição atingiram a massa específica mínima de $2,5\text{g/cm}^3$ conforme o item 7.10 (Ensaio de consistência e massa específica pelo Vebê modificado).
- d) A utilização de teores muito grandes de RCD faz com que a absorção seja maior e por sua vez o volume de vazios no CCR também seja superior. A superfície do CCR com RCD apresenta maior facilidade de absorção por capilaridade conforme é aumentado o teor de RCD no CCR de acordo com o item 7.12 (Absorção de água por capilaridade).
- e) Teores de adições de 25% aumentam a resistência a compressão do CCR, o aumento de resistência é de aproximadamente 10% em relação ao CCR convencional, como demonstrado nos resultados do item 7.13 (Resultados para resistência a compressão).
- f) Teores de adições de 25% aumentam a resistência a tração do CCR, o aumento da resistência é de cerca de 6% em relação ao CCR

convencional, os resultados foram demonstrados no item 7.14 (Resultados para resistência a tração).

- g) O CCR com adições de RCD apresenta massa específica mais leve que o CCR convencional com utilização de agregados naturais, o que faz com que o CCR em seu aspecto já endurecido tenha pesos específicos menores que o traço padrão de agregados naturais, de acordo com os resultados obtidos no item 7.15 (Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica).
- h) É notório afirmar que a utilização de RCD para confecção de CCR em percentuais mais altos que 50% apresentam pontos negativos para o seu uso, listando como a perda de resistência quando submetidos a ciclos de secagem e saturação no item 7.16 (Análise de perda de resistência).
- i) A utilização de RCD como agregado para CCR irá gerar uma grande economia se comparado um grande volume de concreto utilizado, o custo elevado dos agregados naturais se deve a distância das jazidas. O estudo de (RICCI, 2007) apontou que a maioria dos custos unitários são menores em relação a utilização dos agregados comuns para sua utilização em CCR. A pesquisa em São Paulo aponta também que alguns custos de equipamentos e serviços são os mesmos conforme apresentado na Tabela 5 do item 5.3 (CCR com agregado reciclado).

8.1 Recomendações para trabalhos futuros

Como recomendações para trabalhos, propõe-se que:

Realizar análise para percentuais de RCD próximos de 25%, como o percentual de 25% se apresentou positivo para sua utilização no CCR, recomenda-se aprofundar o estudo de modo a encontrar o melhor percentual de RCD a se utilizar.

Aumentar a margem de estudo para mais uma variável, sendo a adição de água. Como o RCD faz com que necessite o uso de mais água para um mesmo desempenho do CCR convencional, recomenda-se a análise de CCR com RCD com quantidade de água proporcional a absorção do agregado.

8. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANDRIOLO, F. R. **Contribuições Para o Conhecimento e Desenvolvimento do Concreto Rolado**. São Paulo: Barber- Greene. 1989.

ANDRIOLO, Francisco Rodrigues. **Aspectos Sobre o Uso de CCR em Barragens Brasileiras**. IN: VII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS. Chengdu, China, 2015. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/documentos/AspectosDoUsoDoCCREmBarragensnoBrasil01Agosto2015.pdf>. Acesso em: 30 Dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10786: Concreto Endurecido – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade à água**. Rio de Janeiro, 2013. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821: Preparação de Concreto em Laboratório – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2009. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545: Solo – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Argilosos a Carga Variável**. Rio de Janeiro. 2000. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil – Utilização em Pavimentação e Preparo de Concreto sem Função Estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2004. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16312-1: Concreto Compactado com Rolo Parte 1: Terminologia**. Rio de Janeiro. 2014. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16312-2: Concreto Compactado com Rolo Parte 2: Preparação em Laboratório**. Rio de Janeiro. 2015. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16312-3: Concreto compactado com Rolo Parte 3: Ensaios de Laboratório em Concreto Fresco**. Rio de Janeiro. 2015. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458: Grãos de Pedregulho Retidos na Peneira de Abertura 4,8 mm – Determinação da Massa Específica, da Massa Específica Aparente e da Absorção de Água**. Rio de Janeiro, 2017. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e Argamassa – Determinação da Resistência a Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica**. Rio de Janeiro, 2009. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro. 2012. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro. 2017. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica**. Rio de Janeiro. 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios**. Rio de Janeiro. 2006. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente**. Rio de Janeiro. 2009. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado Graúdo – Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água**. Rio de Janeiro. 2009. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone**. Rio de Janeiro. 1998. 8p.

BABILON, Anderson Luiz. **Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil: Uma Proposta Para o Município de Ipatinga- MG**. 2008. 77 f. Dissertação (Magister Scientiae) – Centro Universitário de Caratinga, Minas Gerais.

BUCHER, H. R. E. **Método de dosagem de concreto pobre rolado para pavimentos**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1985. 55 p. (estudo técnico 77).

CARNEIRO, Alex P. **Caracterização do Entulho de Salvador Visando a Produção de Agregado Reciclado**. Grupo de Estudos em Materiais de Construção – Universidade Federal da Bahia, Bahia.

CARRIJO, P. M. **Análise da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos da construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. 129 f. tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CHO, Y. H; YEO, S. H. Application of recycled waste aggregate to lean concrete subbase in highway pavement. **Canadian Journal of Civil Engineering**, Ottawa, ca, v.31, n. 6, p.p. 1101-1108, Dec. 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **056/2013 ES: Pavimento Rígido – Sub-Base de Concreto de Cimento Portland Compactado com Rolo – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro. 2013. 11p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **059/2004 ES: Pavimento Rígido – Pavimento de Concreto de Cimento Portland, compactado com Rolo – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro. 2004. 11p.

DONATO, Maciel. **Comportamento Mecânico de Concreto Compactado com Rolo Reforçado com Fibras de Polipropileno**. 2003. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

DORNELLES, L. O.; GIRARDI, R.; HASTENPFLUG, D. **Utilização de agregado reciclado em concreto compactado a rolo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60, 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu; 2018.

FARIAS, L. A.; LIDUÁRIO, A. S.; FONSECA, A. C.; STIVAL, M. L.; ANDRADE, M. A. s.; CASCUDO, O. **Ensaio de tração direta em corpos de prova de concreto: uma revisão bibliográfica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45, 2003, Vitória. Anais... Vitória; 2003.

FARIAS, Luciana dos Anjos. **Implementação do Método de Dosagem Científica Para o Concreto Compactado a Rolo (CCR) de Barragens**. 2006. 241 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiás.

FILHO, Luiz Milani. **O Uso do Concreto Compactado Com Rolo em Barragens – Tendências Futuras**. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal da Itajubá, Minas Gerais.

FURNAS, EQUIPE DE. **Concreto massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades**. São Paulo, PINI/ Walton Pacelli de Andrade, 1997.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 102 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docente) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

MAGALHÃES, C. G. UHEs Santa Clara e Fundão – Projeto de Barragem em CCR visando a construção pelo método rampado. **Concreto & Construções – IBRACON**, ANO XXXIV, n. 42, p. 32-35, março/ abril/ maio de 2006.

MANAHAN, S. E. **Fundamentals of Environmental Chemistry**. Boca Raton: CRC Press LCC, 2001.

OLIVEIRA, P. J.: SALLES, F. M. **Concreto compactado a rolo – Características e propriedades**. In: SIMPÓSIO DE OBRAS EM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, 1., 1995, São Paulo. Anais... São Paulo, abr. 1995. P. 187-208.

PAULA, Paulo Roberto Freire. **Utilização dos Resíduos da Construção Civil na Produção de Blocos de Argamassa Sem Função Estrutural**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia Para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e Controle de Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland**. 3.ed. EDIPUCRS, 2011.

RIBEIRO, F. M. **Inventário de Ciclo de Vida da Geração Hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: Primeira Aproximação**. 2003, São Paulo. Dissertação – Universidade de São Paulo / USP, 456 p.

RICCI, Gino. **Estudo de Características Mecânicas do Concreto Compactado com Rolo com Agregados Reciclados de Construção e de Demolição para Pavimentação**. 2007. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHNEIDER, D. M.; PHILIPPI Jr., A. **Gestão Pública de Resíduos da Construção Civil no Município de São Paulo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2004.

TRABOULSI, Maurice Antoine. **Análise do Comportamento de Juntas de CCR com Alto Teor de Finos**. 2007. 260 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. **A Utilização do Entulho Como Agregado, na Confecção do Concreto**. 1997. 156 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. **Metodologia de Avaliação do Potencial de Reciclagem de Resíduos**. 2003. 464 F. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, São Paulo.