



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

Pablo Teixeira Gonzaga Sousa

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE POSTES COMO
AGREGADO GRAÚDO NA CONSTITUIÇÃO DE NOVOS POSTES DE CONCRETO**

Palmas – TO

2019

Pablo Teixeira Gonzaga Sousa

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE POSTES COMO
AGREGADOS GRAÚDOS NA CONSTITUIÇÃO DE NOVOS POSTES DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente.

Palmas – TO

2019

Pablo Teixeira Gonzaga Sousa

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE POSTES COMO
AGREGADOS GRAÚDOS NA CONSTITUIÇÃO DE NOVOS POSTES DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente.

Aprovado em: 13/11/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Dênis Cardoso Parente

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Dr. Fábio Henrique de Melo Ribeiro

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof.ª Esp Kenia Parente Lopes Mendonça

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

Dedico primeiramente a Deus, que me deu forças durante toda a graduação. Aos meus pais, que não mediram esforços pra me ajudar. À minha irmã, à toda minha família pelo carinho e apoio. E a todos que participaram direta e indiretamente na conclusão do curso (TCC).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos concebidas, por não me deixar fraquejar. Agradeço a meus pais Debora Antunes Teixeira de Sousa e Vagno Gonzaga de Sousa, que sempre estiveram ao meu lado, me encorajando e incentivando, fazendo o possível e o impossível para me apoiar. Aos meus familiares, em especial meus tios e avós por terem me ajudado por todos esses anos, sem medir esforços para que eu alcançasse meus objetivos. À minha irmã, Dóris Teixeira Gonzaga de Sousa, pela paciência e por ter me apoiado nos momentos mais difíceis.

Agradeço à empresa Concreto Artefatos de Cimento, em Araguaína, e à Samu Construções, por me cederem sua estrutura para realização deste trabalho, em nome das pessoas, Celio Dias da Silva e Samuel Oliveira de Sousa.

Agradeço ao corpo técnico do setor de infraestrutura do INCRA (Instituto Nacional de colonização e reforma agraria), em nome de Paulo Nunes, Hugo Lopes e João Alberto, por terem me apoiado e me orientando no meu estágio.

A meu amigo Matheus de Sousa Amorim Gama, por toda ajuda nas noites de estudos durante a graduação. Aos meus amigos da REP (Residência Estudantil Presbiteriana) em especial à Leticia Alves Rocha Dias, que me acolheu quando eu cheguei aqui em Palmas. Agradeço também aos meus amigos que conheci durante a graduação, que estavam sempre ao meu lado nos momentos de aflição, e pela ajuda e apoio incondicional diante dessa tarefa árdua que temos que enfrentar todos os dias. Agradeço a todos os meus professores, em especial ao meu orientador Dênis Cardoso Parente, que contribuíram grandemente para a minha formação ao longo desses anos, transmitindo não só conhecimento, mas também valores que levarei sempre comigo.

RESUMO

SOUSA, Pablo Teixeira Gonzaga. **Estudo de viabilidade de utilização de resíduos de postes como agregados graúdos na constituição de novos postes.** 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e economia na utilização de resíduos de postes de concreto como agregados graúdos para fabricação de novos postes. Para realizar o estudo experimental, foi realizada a caracterização dos agregados naturais e dosagem do concreto, posteriormente realizou-se a substituição do agregado natural por agregado reciclado originados de postes de concreto, onde posteriormente foram confeccionados 12 (doze) corpos de provas cilíndricos e 6 (seis) postes de concreto, para, em seguida, realizar-se os ensaios de acordo com as normas pertinentes a postes de concreto, onde foi avaliado se a substituição de agregado graúdo natural por reciclados atenderia os requisitos para aprovação de poste de concreto, além de avaliar a viabilidade da substituição do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado proveniente de postes de concreto.

Palavras-chave: Postes de Concreto. Pré-moldado. Resíduos de Concreto.

ABSTRACT

SOUSA, Pablo Teixeira Gonzaga. **Feasibility study of the use of pole residues as a large aggregate in the constitution of new poles.** 2019. 48 f. Final course work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2019.

This paper aims to analyze the technical and economical feasibility of using concrete pole residues as coarse aggregates in the manufacture of new poles. For the experimental study, the characterization of the natural aggregates was performed and the concrete dosage was later replaced by the natural aggregate by the recycled concrete pole aggregate, where 12 (twelve) cylindrical samples and 6 (six) concrete poles were made. Then perform the tests in accordance with the relevant standards for concrete poles, where it was assessed whether replacing natural coarse aggregate with recycled aggregate would meet the requirements for post concrete approval and to assess the feasibility of replacing natural coarse aggregate with recycled coarse aggregate. of concrete posts.

Keywords: Concrete poles. Precast. Concrete Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Agregados Naturais.....	20
Figura 2 - Poste de Concreto duplo "T" para entrada de serviço	21
Figura 3 - Tipos de Seções Poste de Concreto	21
Figura 4 - Forma de Poste metálica duplo "T"	24
Figura 5 - Armadura posicionada em fôrma.....	25
Figura 6 - Ilustração gráfica do método de ensaio para vigas	26
Figura 7 - Ilustração gráfica do método de ensaio para poste	28
Figura 8 – Slump Teste.....	41
Figura 9 - Nichos de concretagem.....	41
Figura 10 – Corpos de provas cilíndrico.	42
Figura 11 – Ensaio de flexão em poste de concreto	43
Figura 12 - Fissuras.	44
Figura 13 - Corpos de provas cilíndrico	44
Figura 14– Poste de Concreto.....	45

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

TABELAS

Tabela 1 - Composição granulométrica final do agregado miúdo.....	35
Tabela 2 - Composição granulométrica final do agregado graúdo natural.....	36
Tabela 3- Composição granulométrica final do agregado graúdo reciclado	37
Tabela 4– massa específica, aparente e absorção dos agregados graúdos.....	39
Tabela 5 – massa específica, aparente do agregado miúdo.	39
Tabela 6 – Composições dos Traços.	40
Tabela 7 – Ensaio concreto estado fresco.	40
Tabela 8 – Tensão de ruptura e absorção.	42
Tabela 9 – Resultados do ensaio de flexão em poste de concreto	43
Tabela 10 – Tabela orçamentária dos materiais.	45

GRÁFICOS

Gráfico 1 - curva granulométrica do agregado miúdo.....	36
Gráfico 2 - Gráfico da curva granulométrica do agregado graúdo natural.....	37
Gráfico 3 – Da curva granulométrica do agregado graúdo reciclado	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ARC	Agregado Reciclado de Concreto
ASTETER	Associação Tocantinense de empresas Transportadoras de Entulhos, Reciclagem e Afins
CONAMA	Concelho Nacional do Meio Ambiente
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
NBR	Norma Brasileira
NM	Normas Mercosul
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos da Construção Civil
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
Rn	Resistência Nominal
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Problema da pesquisa	14
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Justificativa	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.3 Classificação dos resíduos	17
2.4 Composição dos resíduos da construção civil	18
2.5 Resíduos reciclados	18
2.6 Agregado reciclado de concreto	19
2.7 beneficiamento dos resíduos do concreto	19
2.7.1 Britagem.....	19
2.7.2 Separação por tamanho	19
2.7.3 Concentração	19
2.7.4 Operações Auxiliares	19
2.8 Características dos agregados reciclados de concreto	20
2.8.1 Granulometria.....	20
2.8.2 Massa específica e massa unitária	20
2.9 Postes de concreto	21
2.10 Requisitos de aceitação de postes de concreto armado	22
2.11 Dosagem do Traço.....	23
2.11.1 Substituição do traço.....	23
2.12 fabricação dos postes	23
2.12.1 Fôrmas	23
2.12.2 Armaduras.....	24
2.12.3 Concretagem	25
2.12.4 Lançamento e adensamento do concreto	26
2.12.5 Ensaio para flexão	26
3 METODOLOGIA.....	29
3.1 Preparação das amostras e britagem	29
3.2 Caracterização dos agregados.....	29
3.2.1 Caracterização da composição granulométrica do agregado miúdo.....	29
3.2.2 Caracterização da composição granulométrica do agregado graúdo natural e reciclado	
3.2.3 Determinação da massa específica e massa específica aparente do agregado miúdo.	30
3.2.4 Determinação da massa específica e massa específica aparente dos agregados.....	31
3.3 Dosagem do concreto	31
3.4 Ensaio do concreto	31
3.4.1 Abatimento.....	31
3.4.2 Determinação da absorção de água.....	32
3.4.3 Compressão axial.....	32
3.4.4 Ensaio de flexão em postes	32
3.4.5 Sequência dos ensaios.....	33
3.4.6 Procedimento Geral	33
3.4.7 Procedimentos Específicos	33
4 RESULTADOS	35
4.1 análises granulométrica	35

4.1.1 Agregado miúdo natural	35
4.1.2 Agregado graúdo natural	36
4.1.3 Agregado graúdo reciclado	37
4.2 Massa específica, aparente e absorção de água do agregado graúdo	39
4.2.1 Agregado graúdo.....	39
4.2.2 Agregado miúdo	39
4.3 Concreto	39
4.3.1 Concreto estado fresco.....	40
4.3.2 Concreto Estado Endurecido	41
4.3.2.1 Resultados compressão axial e absorção de água.....	42
4.3.2.2 Resultados flexão de postes	43
4.4 Custo de produção	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
5.1 Sugestões para futuras investigações.....	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A construção Civil é umas das maiores geradoras de resíduos, os Resíduos da Construção Civil (RCC) corresponde a mais de 50% de todos os resíduos sólidos urbanos, a origem destes rejeitos se dá de diversas formas, como demolição, reformas, reparos, perdas no processo de execução, além das formas acidentais. Dessa forma, diminuindo drasticamente a capacidades dos aterros sanitários (ANGULO et al., 2003).

Diariamente são coletados em Palmas cerca de 250 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU (Prefeitura Municipal de Palmas-TO, 2018). A destinação inadequada dos entulhos gera graves problemas urbanos, não só nas grandes cidades, refletindo diretamente na qualidade ambiental e dos espaços urbanos.

Segundo a Associação Tocantinense de empresas Transportadoras de Entulhos, Reciclagem e Afins (ASTETER), são coletados, em média, 80 contêineres de cinco metros cúbicos por dia de entulhos, cerca de 60% vem da construção civil (ASTETER, 2017).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), veio trazer diretrizes para gestão e a destinação dos resíduos sólidos incluído os da construção civil, responsabilizando o gerador pela destinação final dos resíduos sólidos. Devido à essa questão legal surgiu a necessidade de promover a destinação correta e sustentável para os resíduos produzidos pela cadeia produtiva da construção civil.

Nesse contexto acolhe-se o problema da destinação dos Poste de Concretos substituído pelas concessionárias de energia elétrica, conforme a concessionária de distribuição de energia elétrica no estado do Tocantins (ENERGISA), só no ano de 2015 foram descartados 3.940 postes de concreto armado (ENERGISA, 2016).

Segundos a empresa Postes Indaial os valores de mercado dos postes duplo “T” variam de R\$ 270,00 a R\$ 4.611,00 reais, dependendo do seu tamanho e de sua resistência que varia de postes com o comprimento a partir de 5 metros até 13 metros, com classe de resistência a partir de 150 daN até 2000 daN.

Este Trabalho teve como objetivo de utilizar o resíduo proveniente dos postes de concreto descartados, para confecção de concreto estrutural que serão utilizados para moldagem de novos postes de concreto armados, seguindo os requisitos de fabricação seguindo as normas específicas.

1.1 Problema da pesquisa

É possível a utilização de resíduos de concreto provenientes de postes para confecção de novos postes?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade de utilização de resíduos de concreto de postes de linhas elétricas na composição de novos postes de concreto, pretendendo abordar a viabilidade técnica e econômica, além de mitigar os impactos ambientais causados por estes resíduos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Classificar as propriedades granulométricas, massa específica, massa unitária modo de finura, para utilizar como agregados para o concreto.
- Elaborar as dosagens de concreto para poste, pelo o método da ABCP para resistência de 25 Mpa, utilizando agregado natural e agregado de concreto reciclado.
- Comparar as propriedades do concreto nos estados plástico e endurecido: consistência e a resistência a compressão axial e a flexão.
- Avaliar a substituição do agregado, de acordo com os critérios e as exigências técnicas mínimas das normas para postes de concreto.

1.3 Justificativa

A utilização de agregado reciclado em concretos no Brasil está restrita a concretos não estruturais. Entretanto, em alguns países do mundo, como Portugal, Espanha, Reino Unido e Alemanha, sua utilização em concretos estruturais não é somente permitida, pois, nestes países é obrigatório o uso de pelo menos 20% de agregado reciclado de concreto (ARC) em concreto estrutural, desde que o ARC siga alguns pré-requisitos (SILVA et al., 2016). Por isso é importante a realização de estudos que viabilizem o uso de agregados reciclados em concreto estruturais, já que o país não possui normas específicas.

Os postes de concreto são um dos principais matérias descartados pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica, estes resíduos tem um alto potencial de reciclagem, principalmente para fins estruturais por ser tratar de um matéria de características

mais homogêneas, uma vez que os postes são basicamente compostos por concreto e aço, diferente de resíduos de outras origens, como os da construção civil que são de um material heterogêneo, contendo uma variedade infinita de matérias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Engenharia civil e a geração de resíduos

Segundo John (2000) a construção civil é considerada uma cadeia produtiva, sendo uma das maiores da economia, possuindo assim um enorme impacto ambiental por ser considerada um setor responsável pela transformação do ambiente natural em meio construído.

Sabe-se também que o processo produtivo da indústria da construção civil, se realizado de forma inadequada, é responsável por problemas de bem-estar social, econômico, e ambiental, em função da geração de Resíduos da Construção e Demolição (RCD).

De acordo com Angulo (2000) as principais fontes de ocorrência para geração dos RCD, estão:

- Na elaboração de projeto, resultado em erro de contrato e ou modificações no projeto;
- Na intervenção, causando excesso ou ausência de ordens, além de erros no fornecimento;
- Na manipulação dos materiais, provocando danos durante o transporte e realizando estoques inadequados dos matérias;
- Na operação e outras ações, causando mau funcionamento dos equipamentos, uso de material incorreto, sobras de materiais em dosagens, vandalismos e roubos.

Já para Levy e Helene (1997) a origem dos RCD se dá em:

- Catástrofes naturais ou artificiais: bombardeios, desabamentos, incêndios entre outros.
- Demolições: pavimentos rodoviários de concreto ou de obras que chegaram ao final da sua vida útil.
- Deficiência inerente ao processo construtivo empregado e a baixa qualificação da mão de obra.

Apesar dos problemas gerados, o entulho deve ser visto como uma importante fonte de material com grande utilidade para a construção. O uso mais tradicional em aterros nem sempre é o mais racional, pois esse material serve para substituir materiais extraídos de jazidas ou pode se transformar em matéria prima para componentes de construção, com a qualidade comparável aos matérias tradicionais (MOTA, 2014).

2.2 Resíduos de construção e demolição

Os resíduos de construção e demolição (RCD) é encontrado em várias obras e se evidencia de forma muito similar entre elas, de forma geral, são materiais de grande volume e pesados, que quando depositados de forma inadequada podem provocar contaminação, devido à lixiviação ou solubilização de diferentes substâncias.

A Resolução nº 307/2002 do CONAMA define no artigo 2º, parágrafo I, os resíduos da construção civil como sendo:

“os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultante da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimentos asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc.”.

2.3 Classificação dos resíduos

Os Resíduos, independentemente de sua fonte, devem ser classificados de acordo com o impacto e risco ambiental que oferecem, para que possam ser direcionados aos locais apropriados, seja reaproveitamento, reciclagem ou aterro.

No Brasil, os resíduos sólidos são classificados seguindo a norma NBR 10004, 2004, ela é responsável por categorizar, conforme os riscos que podem causar ao meio ambiente e a saúde pública:

- a) Classe I – Perigosos;
- b) Classe II – Não perigosos;
- c) Classe II A – Não inertes;
- d) Classe II B – Inertes.

Já o CONAMA, através da resolução nº 307/2002, classifica o RCD em quatro classes diferentes:

- Classe A: São os resíduos que podem ser reutilizados na própria obra, como exemplos materiais cerâmicos, solos de terraplenagem, argamassa, e restos de artefatos de concretos;
- Classe B: São resíduos que podem ser reciclados para outros fins, dentre eles destacam-se, papel e papelão, plásticos, vidros, madeiras e gesso;
- Classe C: São resíduos que não podem ser reciclados, pois não há técnicas para o processo de reaproveitamento, dentre eles lixas, massas corridas, massa de vidro;
- Classe D: São materiais perigosos que podem causar danos à saúde humana e animal a ao meio ambiente, tintas, solventes e vernizes.

2.4 Composição dos resíduos da construção civil

A composição dos resíduos da construção civil é um importante parâmetro a ser examinado no momento em que se lida com sistemas de tratamento e disposição final desses resíduos.

Leite (2001), após fazer o beneficiamento do RCC, determinou a sua composição por amostras de forma visual, a classificação ocorreu apenas com agregados graúdos, já que se torna inviável a classificação visual do agregado miúdo.

Leite observou na composição os seguintes constituintes:

- a) Concreto: todo material composto por cimento, areia e brita;
- b) Material Cerâmico: todo material polido, ou não, constituídos de blocos, tijolos, telhas, revestimento cerâmico de piso e parede, ladrilhos, entre outros;
- c) Argamassa: parcela de material constituído de cimento e ou cal areia sem a presença de agregado graúdo ou pedrisco;
- d) Rocha naturais: qualquer tipo de fragmento de rocha natural que foi usado, ou não, e que não apresenta nenhum tipo de material aglomerante;
- e) Outros: todas as partículas de material como papel, madeira, metal, plástico, têxteis, amianto entre outros.

2.5 Resíduos reciclados

Para se realizar a reciclagem é necessário que os matérias passem pelo o procedimento de beneficiamento. De acordo com Leite (2001), em síntese.

O beneficiamento dos resíduos de construção e demolição envolve desde a sua coleta, passando por separação, britagem e peneiramento. Até sua estocagem para posterior utilização.

Leite (2001) ainda afirma que o beneficiamento de RCD se aparenta muito com o processo voltado aos agregados naturais, envolvendo as metodologias e equipamentos, cujo na maior parte são iguais.

A heterogeneidade da composição do RCD como citado anteriormente é muito grande, portanto, faz-se necessário que no processo de reciclagem se realize a divisão dos materiais a serem reciclados como agregados ou para outros fins.

Esta heterogeneidade dos agregados afeta diretamente na resistência do concreto, por este motivo é importante a separação destes materiais.

2.6 Agregado reciclado de concreto

A norma ABNT NBR 15116/2004, descreve agregado reciclado de concreto como pertencente à classe A classificado de acordo com a NBR 10004/2004, contendo na sua composição gráuda no mínimo 90% de massa contendo rochas e cimento Portland.

A maneira de reciclagem geralmente utilizada para os resíduos de concreto no estado endurecido, a qual podem ser provenientes de múltiplas fontes, tendo em vista a sua utilização como agregados em novos traços ou como composição de base e sub-bases de rodovias.

2.7 beneficiamento dos resíduos do concreto

Uma das etapas para utilização dos resíduos de concreto e o beneficiamento, em razão em que normalmente são encontrados em grandes dimensões. O beneficiamento e basicamente dividido em quatro partes: britagem, separação por tamanho, concentração e operações auxiliares.

2.7.1 Britagem

Consiste no processo de redução de tamanho, comumente se utilizar britadores de mandíbula, giratórios, de impacto e martelo simples, a diferença entre eles e a forma que a carga e aplicada.

2.7.2 Separação por tamanho

Resume-se ao processo de separação das partículas por meio de separadores ou peneiras esta separação pode ser feita a seco ou de forma úmida.

2.7.3 Concentração

Podem ser feitas de muitas formas, como a separação magnética, catação, flotação e a separação por meio denso, na intenção de remover os contaminantes presente no ARC.

2.7.4 Operações Auxiliares

As principais são a homogeneização por meio de pilhas, secagem e transporte dos agregados reciclados de concreto.

2.8 Características dos agregados reciclados de concreto

2.8.1 Granulometria

A granulometria de partículas sólidas engloba e especifica a espessura dela, bem como da frequência que ocorrem em uma determinada faixa ou classe de tamanho. Essa propriedade afeta diretamente o consumo de cimento e a resistência mecânica além de agir na trabalhabilidade, tendo um papel primordial na dosagem do concreto.

Para agregados miúdos segundo, a norma ABNT NBR 7211/2009, agregado miúdo são os grãos que passam pela peneira 4,8 mm e ficam retidos na peneira 0,075 mm. Já o agregado graúdo são os grãos que passam por peneiras quadradas com abertura nominal de 152 mm 75 mm e ficam retidos na peneira 4,8 mm.

2.8.2 Massa específica e massa unitária

A massa unitária é a divisão entre a massa do agregado lançado em um recipiente e o volume deste recipiente, já a massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume.

A determinação da massa específica é feita seguindo a norma NBR NM 52/ 2009 para agregados miúdos, para o agregado graúdo a norma para este ensaio é a NBR NM 53/2009. Já para a determinação da massa unitária, a norma é a mesma para os dois tipos de agregados, conforme a NBR NM 45, 2006.

Figura 1 - Agregados Naturais



Fonte: Autor (2019).

2.9 Postes de concreto

Segundo Benencase (2015) “Os postes de concreto armado são elementos estruturais lineares, usualmente modelados como viga em balanço, nos quais o esforço de flexão é preponderante”.

Conforme informações de fabricantes, os postes em geral são fabricados com alturas entre 5 e 15 metros, a ENERGISA normatiza os postes de distribuição de acordo com a norma ETU 114, com altura que vão a partir de 9 até 13 metros e resistências 300 a 100 daN.

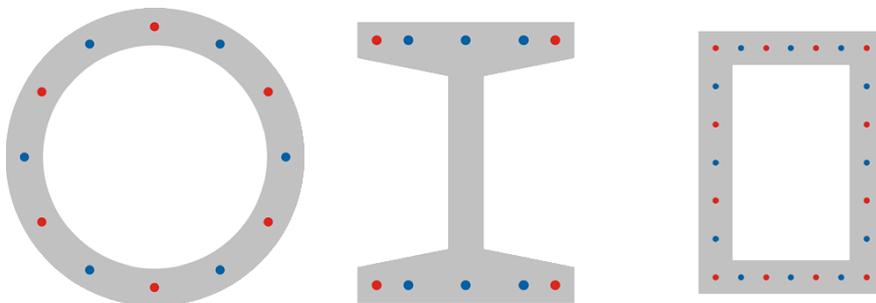
Figura 2 - Poste de Concreto duplo "T" para entrada de serviço



Fonte: Autor (2019).

As seções mais usuais são: duplo “T”, retangular vazada e circular vazada (Figura 3), com diâmetros externos variados, estas medidas variadas ocasiona economia na produção dos postes.

Figura 3 - Tipos de Seções Poste de Concreto



Fonte: (ARRIEIRO, 2009).

De acordo a norma da ABNT NBR 5422/1985 os postes estão sujeitos a três tipos de esforços:

- Esforços permanentes: são aqueles que se mantem constante durante a vida útil do poste, como peso dos isoladores, peso próprio e os carregamentos transmitidos pelos cabos;
- Esforços variáveis: são aqueles que se manifesta altera significativamente ao longo da vida útil da estrutura, como a temperatura, ventos, gelo em regiões frias;
- Esforços excepcional: são cargas que duram pouco tempo na estrutura, que precisa ser considerada no projeto, como aquelas que ocorrem durante o transporte do poste, também e considerado cargas para a prevenção do fenômeno de cascata.

Conforme a normativa da Companhia Paranaense de Energia (COPEL) os valores de carga para atender postes de concreto para serem aplicados em entrada de serviço variam de 75 a 300 daN de acordo com a família de postes.

2.10 Requisitos de aceitação de postes de concreto armado

Para o recebimento de um novo lote de postes, deve-se fazer uma inspeção geral; a verificação do controle de qualidade; e a realização de ensaios, seguindo as orientações e quesitos da norma ABNT NBR 8451-3/2012.

Os testes são propostos para a verificação de momento fletor, elasticidade e resistência à ruptura e absorção de água. Os requisitos devem atender a norma ABNT NBR 8451/2012, são explicitados a seguir.

Os postes submetidos à foça nominal de projeto não devem apresentar flechas no plano da aplicação das forças reais, superiores a:

- 5% do comprimento nominal, quando o esforço e aplicado na direção de menor inercia no poste de seção duplo “T”;
- 3,5% do comprimento nominal para as demais situações.

A flecha residual, medida depois que se anula a aplicação de um esforço correspondente a 140% da resistência nominal para concreto armado e 150% para concreto protendido, no plano de aplicação dos esforços reais, não deve ser superior a:

- 0,5% do comprimento nominal, quando o esforço e aplicado na direção de menor inercia do poste de seção duplo “T”;
- 0,35% do comprimento nominal para as demais situações.

Todos os postes submetidos a uma tração igual à resistência nominal não devem apresentar fissuras, exceto as capilares. As fissuras que aparecerem durante a aplicação dos esforços correspondentes a 140% da resistência nominal, após a retirada deste esforço, devem fechar-se ou tornar-se capilares.

A resistência à ruptura não deve ser inferior a duas vezes a resistência nominal. Os postes simétricos de seção duplo “T” devem apresentar na direção de menor resistência, uma resistência igual a 50% da indicada para a direção de maior resistência.

2.11 Dosagem do Traço

A dosagem do concreto é resumida em selecionar ingredientes apropriados entre os materiais disponíveis e determina a combinação mais econômica que resultará na característica mínima de desempenho.

Segundo Metha e Monteiro (1994), a condição mais relevante de desempenho no estado fresco é a trabalhabilidade, e no estado endurecido e a resistência. A trabalhabilidade é responsável pela facilidade com que o concreto possa ser lançado, compactado e acabamento e a resistência, está relacionada à durabilidade do concreto.

Existem inúmeros métodos de dosagem experimental, entre eles o ITERS, INT, IPT, ABCP etc. Para o concreto em análise, empregou-se ao método da ABCP de dosagem.

2.11.1 Substituição do traço

Neto (2017) avaliou a influência da substituição do agregado graúdo reciclado de concreto, ele fez a substituição do agregado em três composições com percentuais diferente sendo elas com 25%, 50% e 75% de substituição de agregados graúdos reciclados provenientes de postes de concreto. Ele concluiu que, para não influenciar na resistência, o agregado deve ser substituído no máximo 50%, pois a partir dessa faixa existe uma perda significativa de resistência, não se adequando a concretos estruturais com mais de 30 MPA.

2.12 fabricação dos postes

2.12.1 Fôrmas

As fôrmas servem para dar forma ao concreto fresco, sustentando-o, até que tenha resistência necessária, para a desmoldagem.

Elas podem ser construídas de diversas matérias como o alumínio, aço, plásticos, fibras, madeiras revestidas ou não, para poste é comumente utilizada fôrmas metálicas (Figura 4).

As fôrmas apresentam alguns quesitos como a resistência mecânica a rupturas, resistência à deformação, estanqueidade, regularidade geométrica, textura superficial adequada, estabilidade dimensional, baixa aderência ao concreto além de proporcionar facilidade para o lançamento e adensamento do concreto e posicionamento correto das armaduras.

Figura 4 - Forma de Poste metálica duplo "T"

Forma para poste duplo T tipo "D" e "B" POSTES

Tabela:

Tipo	D	B-0	B-1	B-1.5	B-2	B-2.5	B-3	B-4
Resistência Nominal (daN)	100 a 200	300 a 600	800	1000	1500	2000	2500	3000
Dimensão da Topo (mm)	100 x 120	110 x 140	130 x 168	140 x 182	170 x 224	200 x 264	210 x 280	230 x 308
Comprimento (m)	Dimensão da Base (mm)							
9	190 x 264	290 x 392	310 x 420	300 x 434	350 x 476	380 x 518	390 x 532	410 x 560
10	200 x 280	310 x 420	330 x 448	340 x 462	370 x 504	400 x 546	410 x 560	430 x 588
11	210 x 296	330 x 448	350 x 476	360 x 490	390 x 532	420 x 574	430 x 588	450 x 616
12	220 x 312	350 x 476	370 x 504	380 x 518	410 x 560	440 x 602	450 x 616	470 x 644
13	-	370 x 504	390 x 532	400 x 546	430 x 588	460 x 630	470 x 644	490 x 672
14	-	390 x 532	410 x 560	420 x 574	450 x 616	480 x 658	490 x 672	510 x 700
15	-	410 x 560	430 x 588	440 x 602	470 x 644	500 x 686	510 x 700	530 x 728

Dimensões conforme Norma NBR 9452



Fonte:(FORMATEC, 2019).

2.12.2 Armaduras

Segundo Melhado (1998) apud (SOUSA, 2013), o concreto:

Tem boa resistência a compressão, em ordem de 25 MPa, enquanto o aço tem boa resistência a tração e a compressão na ordem de 500 MPa chegando em aços especiais para concreto pretendido em 2000 MPa. No entanto a resistência a tração do concreto é muito baixa, cerca 1/10 da sua resistência a compressão, o que explica seu emprego solidariamente com o aço.

Benencase (2015), apresenta as metodologias de dimensionamento, para poste de concreto, ele considera que os postes são vigas engastadas em balanço sujeitas flexão simples, seguindo a norma ABNT NBR 6118/2014, para poste do tipo duplo "T" e feito o

dimensionamento considerado sua seção como “T” e o sepultado é espelhado para o lado oposto.

Após o dimensionamento irá se iniciar o preparo da armadura, os fios e barras são cortados de acordo as especificações do projeto, neste processo se utilizam máquinas de corte mecânicas ou manuais.

Depois da liberação do aço cortado prossegue para a fase de dobras do aço, nesta etapa as dobras são comumente feitas pelo método manual, onde se utiliza uma bancada de madeira com pinos de aço ou pregos juntamente com as chaves de dobras.

Após as dobras do aço é feita a montagem da armadura com as peças cortadas e dobradas anteriormente, e efetuado a soldagem para união dos componentes.

A seguir a armadura será montada e posicionada na fôrma com espaçadores que garantirão o correto posicionamento da armadura (Figura 5).

Figura 5 - Armadura posicionada em fôrma



Fonte: (COPLAS, 2019)

2.12.3 Concretagem

A dosagem do concreto para pré-moldados deve apresentar um padrão superior de qualidade, livre de falhas que prejudique a estética das peças, visto que habitualmente é empregado de forma aparente como material de acabamento final.

O concreto dependerá diretamente do fck, das dimensões das peças e espaçamento das armaduras.

2.12.4 Lançamento e adensamento do concreto

O concreto será lançado o mais próximo possível da sua disposição final, evitando segregação dos agregados, o concreto deve ser lançado com espessura entre 15 a 30 cm, nunca ultrapassando $\frac{3}{4}$ da altura da agulha do vibrador.

Adensamento do concreto deve ser feito com cautela para que o concreto preencha todos os espaços da fôrma, com cuidado para que o material não seja segregado e o vibrador de imersão não entre em contato com a armadura, podendo causar vazios no entorno da mesma. Para vibradores de imersão, são exigidas espessuras iguais a $\frac{3}{4}$ do tamanho da agulha, deve ser garantida distância para que o concreto seja uniformemente adensado.

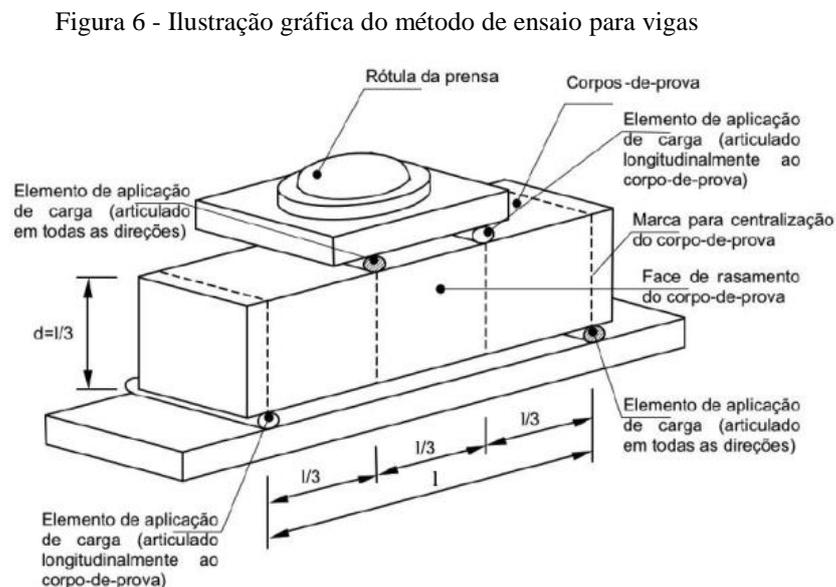
2.12.5 Ensaios para flexão

A flexão é definida pela atuação do momento fletor sobre a peça, basicamente a flexão é classificada em dois tipos:

- Flexão simples: quando o esforço normal é nulo;
- Flexão Composta: quando a existência de forças são normais;

As normas ABNT NBR 12142/2010 e a ABNT NBR 8451-3/2012x defini os principais métodos de ensaio para verificação da resistência a flexão.

A ABNT NBR 12142/2010 a determina a resistência à tração na flexão de corpo de provas prismáticos, o ensaio compreende e utiliza uma prensa de ensaio para corpo de provas cilíndricos onde é descrito no esquema abaixo (Figura 6):



Fonte: (ABNT NBR 12142, 2010).

O corpo de prova deve cumprir o que está estabelecido pela norma (ABNT NBR 5738, 2016). A resistência é calculada por fórmulas disponíveis na norma, através dos dados obtidos na leitura do equipamento e a posição da ruptura.

No caso que a ruptura ocorra dentro do terço médio, a equação para o cálculo da resistência a flexão será:

$$f_{ct,f} = \frac{F.l}{b.h^2}$$

Onde:

$f_{ct,f}$ = Resistência à tração na flexão (Mpa);

F = Carga máxima aplicada (KN);

l = Comprimento do Vão (mm);

b e h = Largura e altura média do corpo de prova na seção de ruptura, respectivamente (mm).

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, com distância inferior a 5% do l o cálculo de resistência à tração na flexão se dá pela expressão:

$$f_{ct,f} = \frac{3.F.a}{b.h^2}$$

Neste caso a é a distância entre a média entre a linha de ruptura, a linha que corresponde o apoio mais próximo em milímetros.

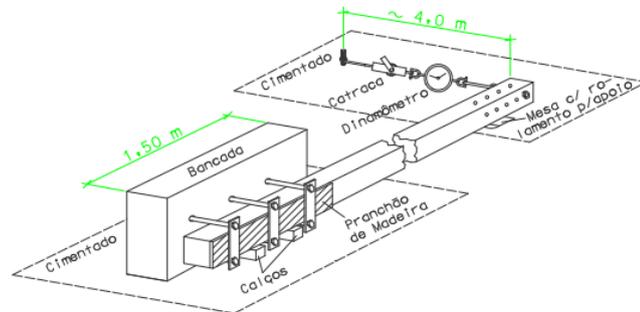
A outra metodologia descrita pela ABNT NBR 8451-3/2012 é ensaio mecânico, cobrimento de armadura e inspeção geral para postes de concreto armado e protendido, e tem como objetivo verificar a carga de ruptura, momento fletor, e do cobrimento da armadura.

Os ensaios consistem em utilizar uma banca de ensaios como sugerido pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia) (Figura 7).

Figura 7 - Ilustração gráfica do método de ensaio para poste

BANCADA PARA TESTES E ENSAIOS DE POSTES PARA ENTRADAS DE SERVIÇO
(Sugestão para construção)

Simulação do ensaio



Fonte: (COPEL, 2014)

O ensaio mecânico de flexão e ruptura tem como objetivo de verificar:

- Elasticidade do poste com carga nominal;
- Carga de Ruptura do poste;

Os critérios de aceitação já foram descritos anteriormente, seguindo a norma pertinente.

3 METODOLOGIA

Com a intuito de atingir os objetivos propostos, a metodologia aplicada será experimental por meio de ensaios, onde será comparada a resistência à flexão dos postes de referência com os postes com substituição de agregado graúdo reciclado.

As matérias que foram utilizados para a constituição do concreto consistiram em agregados de origem natural, e agregado graúdo reciclado de poste de concreto onde o agregado natural será caracterizado e, posteriormente, foi feita a substituição de parte do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado.

Foi feita a moldagem dos postes e, após 28 dias de cura, foram realizados os testes de resistências à compressão e flexão os quais foram feitos de acordo com as normas pertinentes.

3.1 Preparação das amostras e britagem

Nesta fase foi realizado o preparo dos resíduos de postes de concreto, visto que os postes são construídos em concreto armado, é necessária a remoção das ferragens, separando o concreto das barras de aço.

A remoção da ferragem foi realizada na empresa de fabricação dos postes de forma manual com marretas. Após a separação os metais foram enviados para reciclagem enquanto o resíduo do concreto foi enviado para britagem na própria empresa.

O britado foi regulado para produzir agregados com diâmetro máximo de 19 mm, o mesmo diâmetro máximo característico do agregado natural. Após a britagem foi realizada a separação dos matérias finos, e também garantido o diâmetro máximo característico da amostra.

3.2 Caracterização dos agregados

3.2.1 Caracterização da composição granulométrica do agregado miúdo

Seguindo os parâmetros da ABNT NBR NM 248:2003, que determina os agregados da composição granulométrica, foi feita a verificação com 500 gramas de agregado miúdo natural, que foi submetida a um ensaio de granulometria com auxílio de peneiras com diâmetros nomina de 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3 e 0,15.

A agitação foi realizada por agitação mecânica durante o tempo de 1 minuto, tendo em vista que é o tempo necessário para que os grãos que aprestam diâmetros menores passem pelas peneiras de diâmetros maiores ou ficando retidos nas peneiras equivalentes.

Posteriormente foram verificados e coletados os agregados de cada peneira e devidamente pesados em balanças. As porcentagens médias acumuladas e retidas foram calculados com a precisão de 1%. E o módulo de finura também foi calculado com aproximação de 1%.

3.2.2 Caracterização da composição granulométrica do agregado graúdo natural e reciclado

De acordo com o que foi exposto na análise anterior, para o agregado graúdo também foi utilizado a ABNT NBR NM 248:2003, que objetiva determinar a composição granulométricas dos agregados. Sendo que, para caracterização das duas amostras, foi utilizado 3 (três) quilogramas de material, onde os mesmos foram submetidos ao ensaio de peneiramento com a auxílio de peneiras de série intermediárias com diâmetros nominais de 76; 25; 19; 9,5 e 4,8, para agregado graúdo reciclado e natural.

Posteriormente foi efetuada a agitação da amostra por 1 minuto, logo após foi realizada a pesagem para determinar as porcentagens retidas em relação às massas totais dos materiais retidos em cada peneira, assim podendo definir o diâmetro máximo característico.

3.2.3 Determinação da massa específica e massa específica aparente do agregado miúdo.

Para a verificação da massa específica e massa específica aparente foi utilizada a NBR NM 45:2006, vale ressaltar que na pesquisa foram utilizados apenas agregados miúdos naturais.

Para a determinação foi utilizada uma amostra de 500g, de acordo com a norma não é necessária a secagem dos agregados, pois o ensaio tem como objetivo fornecer informações para o proporcionamento de um concreto, desta forma o agregado foi ensaiado em condições de umidade naturais.

A massa específica do agregado miúdo foi determinada através de avaliação de cálculos previstos na norma, utilizando-se as massas do picnômetro com água e do picnômetro com água e agregado.

A massa aparente ou unitária foi estabelecida através de análises volumétricas, onde o agregado miúdo foi adicionado a um recipiente de volume conhecido. A avaliação da absorção de água, não foi efetuada para o agregado miúdo natural.

3.2.4 Determinação da massa específica e massa específica aparente dos agregados

A determinação da massa específica e da massa específica aparente dos agregados graúdos naturais quanto o reciclado de concreto de postes, foi determinada através da norma NM 52/2009.

As metodologias descritas na norma permitiram determinar a massa específica aparente dos agregados graúdos através das mensurações de volume, massa e cálculos específicos.

Nestes ensaios foram realizados praticamente os mesmos processos do ensaio para agregados miúdos, entretanto as amostras avaliadas foram de 3 quilogramas, tanto de agregados naturais quanto para agregados reciclados de concreto. A característica de absorção de água foi avaliada através da diferença de massa da amostra de agregado seco e em estado de saturação com a superfície seca.

3.3 Dosagem do concreto

Para a dosagem do Traço foi utilizado o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) com uma resistência pretendida de 25 Mpa. Ele foi iniciado com a definição de relação água/cimento, estimando quanto à resistência ou quanto à durabilidade.

A determinação do consumo de água se dá através da dimensão máxima do agregado graúdo, e da consistência do concreto. O consumo de cimento é determinado a partir da relação entre o consumo de água e a relação água/cimento.

A determinação de agregado graúdo é feita através do valor do volume compactado seco do agregado graúdo, pela relação da dimensão máxima característica do agregado graúdo e do módulo de finura da areia. O consumo do agregado miúdo foi definido através da massa específica do cimento, agregado e água.

Neto (2017) já avaliou a influencia a compressão, utilizando agregados reciclados de concreto com origem de poste descartados, a proposta e utilizar duas proporções sugeridas por ele, de 25% e 50% assim também poder avaliar a flexão dos traços sugeridos.

3.4 Ensaio do concreto

3.4.1 Abatimento

Para a determinação do abatimento do material foram usados os critérios apresentados na NM 67:1996 que determina a consistência pelo abatimento do troco de cone, conhecido

como ensaio de abatimento (*slump test*), que seguiu da seguinte maneira: foram umedecidos os moldes e a chapa de base, logo após foi colocado o cone sobre a chapa base. Sendo que, para obter estabilidade, foi posicionado com os pés sobre as aletas do cone, sucedeu o preenchimento até um terço do lume total e dando 25 golpes, em seguida foi colocado mais um terço representativo, em seguida foi golpeado novamente com 25 vezes, e, por fim, preenchido o restante do cone e dado os 25 golpes finais com auxílio da haste. Logo após foi retirado o cone de forma apropriada e posicionado ao lado da amostra de forma investida para que se realize a medição com auxílio da haste em cima do cone investido. Assim obtendo os resultados de abatimento para, a partir daí, realizar as análises necessárias segundo os parâmetros da dosagem adquirida.

3.4.2 Determinação da absorção de água

Para determinar a absorção de água foi através da ABNT NBR 9778/2009 – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Para este ensaio foram moldados dois corpos de prova pra cada traço, totalizando 6 (seis) corpos de provas.

3.4.3 Compressão axial

Foram realizados três traços e analisados com 28 dias, dois corpos de prova por traço, totalizando 6 corpos de provas que foram estudados.

Conforme com a NBR 5738/2015, foi dimensionado os corpos de prova de 10x20 centímetros para cada amostra. Para modelagem foi necessário colocar aproximadamente 50 por cento do volume do recipiente com a amostra e em seguida foi golpeado 12 vez, seguidamente foi preenchido o restante do recipiente com a amostra e dado mais 12 golpes e por fim com auxílio de espátula foi uniformizada a superfície exposta. Após 24 hora foram retirados os concretos cilíndricos e foram identificados de acordo com o traço determinado.

Após 28 dias os corpos de provas foram levados à prensa hidráulica, de acordo com a NBR 5739/2007 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos, com a finalidade de obter suas respectivas resistências.

3.4.4 Ensaio de flexão em postes

Os ensaios foram realizados seguindo as normas da COPEL NTC 917110, uma vez que, a partir de 2012, a ABNT não exige mais teste de flexão para postes de até 8 metros de

comprimento, esta norma leva todos os requisitos da ABNT NBR 8451/2012 para postes de mais de 8 metros.

3.4.5 Sequência dos ensaios

Sempre que dois ou mais ensaios forem realizados em um mesmo poste, é necessário obedecer à sequência dada para evitar que um ensaio afete o resultado do outro. No caso de postes duplo T, os ensaios de elasticidade previstos devem ser realizados somente em uma face de cada amostra escolhida.

3.4.6 Procedimento Geral

- **Engastamento**

Foi fixado a base do poste na bancada de ensaio, com comprimento de Engastamento conforme a equação a seguir:

$$e = \frac{L}{10} + 0,60 \text{ , em metros}$$

Onde: “L” é o comprimento do nominal do poste em metros “e” é o comprimento de engastamento em metros , com a medida de engastamento assim obtida, fixa o poste à banca.

- **Posição de apoio do carrinho para sustentação do poste**

Posicionar o carrinho de apoio sobre a chapa metálica a uma distância de aproximadamente (70±10) % do comprimento do poste no sentido base/topo.

- **Aplicação de esforços**

A distância de onde deve ser aplicado o esforço ao topo do poste deve ser 200 mm. A aplicação e a retirada de esforços devem ser sempre lentas e gradativas, devendo evitar variações bruscas do carregamento durante os ensaios.

3.4.7 Procedimentos Específicos

- **Verificação da elasticidade do poste com carga nominal:**

Com o poste engastado, aplicou-se o esforço R_n , correspondente a sua resistência nominal, à distância de 200 mm do topo, durante 1 (um) minuto, no mínimo, para permitir a acomodação do engastamento.

Com o engastamento já acomodado, aplicou-se novamente o esforço R_n durante 5 (cinco) minutos, no mínimo, após 5 (cinco) minutos ou mais, desde o início da aplicação foram feitas as verificações necessárias

Terminado o ensaio, manteve-se o poste engastado e a cinta de aço presa, para permitir a execução dos ensaios seguintes.

- **Verificação da resistência à ruptura do poste:**

Adotaram-se os procedimentos do ensaio anterior, porém aplicando-se um esforço a 1,4 vezes a R_n , correspondente a carga mínima de ruptura do poste, durante 5 (cinco) minutos, no mínimo.

- **Teste de ruptura do poste:**

Após a aplicação de 1,4 vezes a R_n , durante 5 minutos, conforme ensaio anterior, continuou-se aplicando esforço progressivo até provocar a ruptura do poste, o valor máximo lido no dinamômetro é igual a carga real de ruptura do poste.

4 RESULTADOS

4.1 análises granulométrica

Posteriormente à realização dos ensaios de caracterização granulométrica, de acordo com o que foi detalhado na metodologia, foi possível obter-se os valores de massa retida em cada peneira de série normal e elaborar as respectivas curvas granulométricas e identificar o diâmetro máximo característico e o módulo de finura das amostras.

4.1.1 Agregado miúdo natural

O Agregado miúdo natural (areia), utilizado na pesquisa tem origem predominante quartzosa, extraída de jazidas naturais localizada próximas à cidade de Araguatins, no estado do Tocantins.

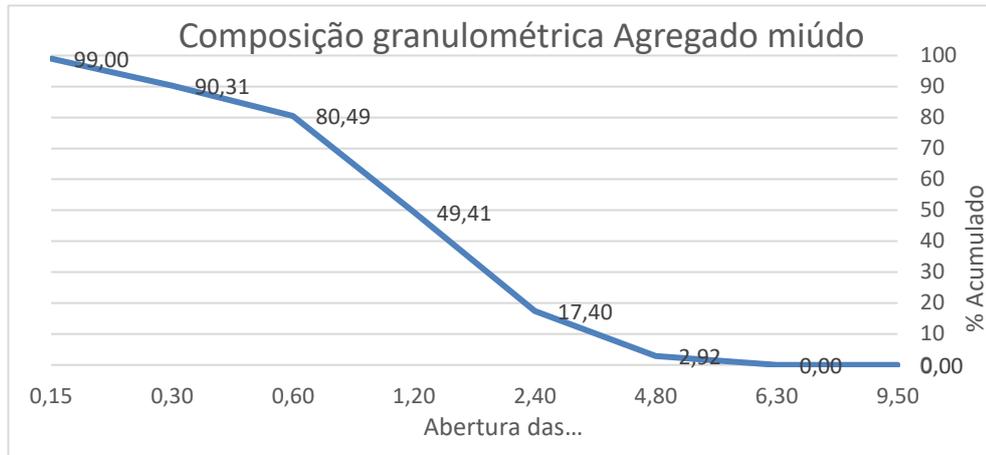
O ensaio de composição granulométrica realizado com agregado miúdo natural obteve os resultados apresentados abaixo:

Tabela 1 - Composição granulométrica final do agregado miúdo

PENEIRAS			
	MASSA	% RETIDA	
(mm)	RETIDA (g)	SIMPLES	ACUMULADA
9,5	-	-	-
6,3	-	-	-
4,8	5,8	2,92	2,92
2,4	28,9	14,48	17,40
1,2	63,8	32,01	49,41
0,6	62,0	31,08	80,49
0,3	19,6	9,81	90,31
0,15	17,3	8,69	99,00
FUNDO	2,0	1,00	100,00
TOTAL	199,43	100,00	
MÓDULO DE FINURA	3,39		

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Gráfico 1 - curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Os resultados do ensaio de caracterização granulométrica do agregado miúdo natural revelaram o módulo de finura de 3,39 mm e o diâmetro máximo característico e de 4,8 mm.

4.1.2 Agregado graúdo natural

O agregado graúdo natural utilizado nesta pesquisa foi seixo rolado extraído de jazidas naturais próximas à Araguatins, estado do Tocantins.

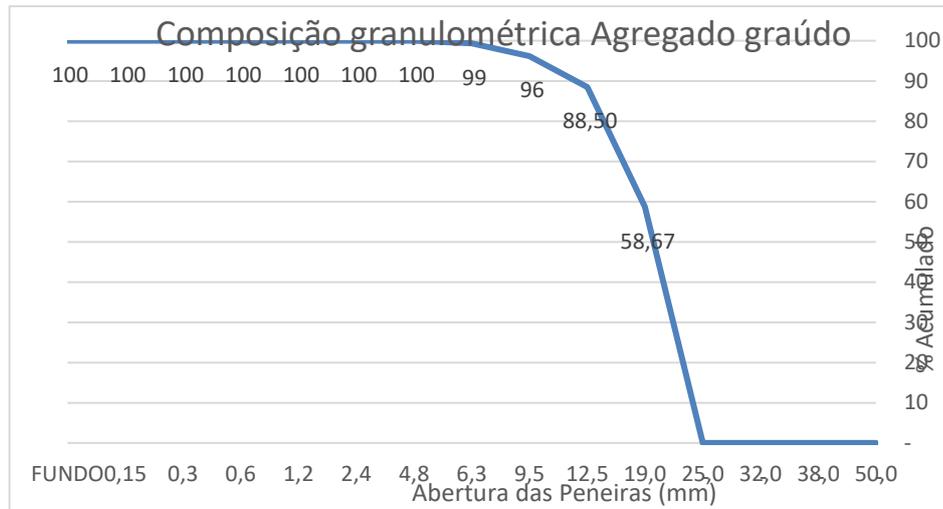
O ensaio de composição granulométrica realizado com agregado graúdo natural obteve os resultados apresentados abaixo:

Tabela 2 - Composição granulométrica final do agregado graúdo natural.

PENEIRAS		MASSA		
Pol / Nº	(mm)	RETIDA (g)	% RETIDA	
			Simplex	Acumul.
2	50,00	-	-	-
1 1/2	38,00	-	-	-
1 1/4	32,00	-	-	-
	25,00	-	-	-
	19,00	1,50	50,00	50,00
	12,50	1,27	42,33	92,33
	9,50	0,15	5,00	97,33
	6,30	0,05	1,67	99,00
	4,80	0,03	1,00	100,00
	2,40	-	-	100,00
	1,20	-	-	100,00
	0,60	-	-	100,00
	0,30	-	-	100,00
	0,15	-	-	100,00
FUNDO		-	-	100,00
TOTAL		3,00	100,00	
MÓDULO DE FINURA				9,39

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Gráfico 2 - Gráfico da curva granulométrica do agregado graúdo natural



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

De acordo com o que podemos verificar, o agregado natural utilizado na constituição do concreto projeto expressa uma curva granulométrica que nos apresenta uma pequena heterogeneidade quanto ao diâmetro. Observa-se que cerca de 97,33 de toda a amostra em massa está entre as peneiras 9,5 mm e 19 mm de diâmetros característicos. Na amostra não foi observado material pulverulento e o diâmetro máximo característico realmente atende o valor de 19 mm, escolhido na pedreira.

4.1.3 Agregado graúdo reciclado

O agregado graúdo reciclado utilizado nesta pesquisa foi obtido de poste de concreto substituídos. O ensaio realizado agregado graúdo reciclado obteve os resultados apresentados a seguir:

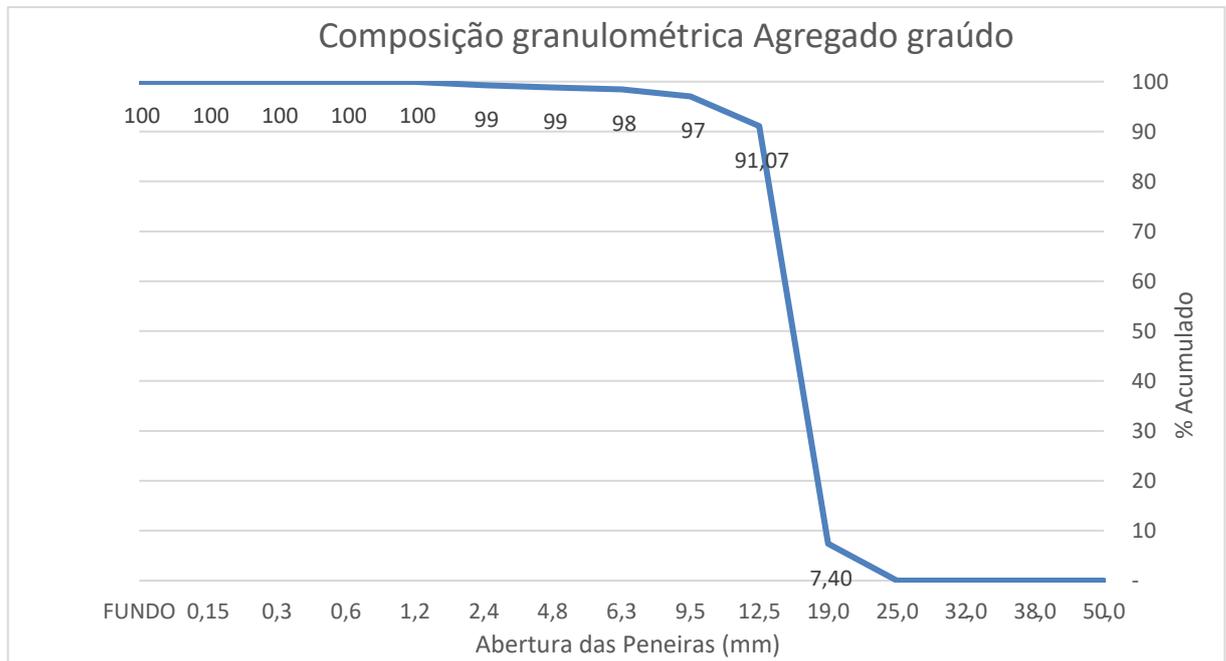
Tabela 3- Composição granulométrica final do agregado graúdo reciclado

PENEIRAS		% RETIDA		
Pol / Nº	(mm)	MASSA RETIDA (g)	Simplex	Acumul.
2	50,00	-	-	-
1 1/2	38,00	-	-	-
1 1/4	32,00	-	-	-
	25,00	-	-	-
	19,00	0,22	7,40	7,40
	12,50	2,51	83,67	91,07
	9,50	0,18	6,00	97,07
	6,30	0,04	1,47	98,53
	4,80	0,01	0,40	98,93

	2,40	0,01	0,40	99,33
	1,20	0,02	0,67	100,00
	0,60	-	-	100,00
	0,30	-	-	100,00
	0,15	-	-	100,00
FUNDO		-	-	100,00
TOTAL		3,00	100,00	
MÓDULO DE FINURA				8,92

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Gráfico 3 –Da curva granulométrica do agregado graúdo reciclado



Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Na análise dos resultados colhidos na caracterização granulométrica do agregado reciclado, constatou-se uma maior heterogeneidade nos diâmetros característicos da amostra e uma melhor distribuição entres as frações retidas nas peneiras.

O reflexo disso é uma maior porcentagem de material de diâmetro inferior a 12,5 mm como também uma maior quantidade de material pulverulento na amostra, que pode afetar o abatimento e a resistência do concreto dosado, visto que este material consegue subtrair água de hidratação e amassamento do cimento.

Isto se torna preocupante, uma vez que durante a preparação da amostra do agregado graúdo reciclado já havia sido removido grande parte do material pulverulento.

O diâmetro máximo característico também foi de 19 mm, em virtude do que foi proposto, que o agregado graúdo reciclado teria que estar com as características mais

próximas o possível do agregado natural, para que os teste de resistência e abatimento pudessem ser comparados de forma mais precisa.

4.2 Massa específica, aparente e absorção de água do agregado graúdo

4.2.1 Agregado graúdo

Os ensaios de massa específica, aparente e absorção de água foram realizados de acordo com o que foi detalhado na metodologia.

Os valores de massa específica, aparente e absorção de água dos agregados graúdos reciclados e naturais pode ser observado na tabela a seguir.

Tabela 4– massa específica, aparente e absorção dos agregados graúdos.

Propriedade	Agregado Natural	Agregado Reciclado
Absorção de Água (%)	1,19	2,88
Massa Especifica (kg/m ³)	2650	2560
Massa Unitária (kg/m ³)	1360	1270

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

4.2.2 Agregado miúdo

Os ensaios de massa específica e aparente foram realizados de acordo com o que foi descrito na etapa da metodologia, os valores de massa específica e aparente encontrados podem ser observados na tabela a seguir, não foi necessário determinar a absorção de água do agregado miúdo.

Tabela 5 – massa específica, aparente do agregado miúdo.

Propriedade	Agregado Natural
Massa Especifica (kg/m ³)	2630
Massa Unitária (kg/m ³)	1670

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

4.3 Concreto

A dosagem foi elaborada de acordo com método ABCP, para resistir à compressão de 25 MPA, que é a resistência adequada para a fabricação do concreto para novos postes o abatimento de projeto adotado foi de 100 mm, com desvio de 4,0 para controle razoável.

Da combinação de parâmetros relativos à composição do concreto resultaram os traços da tabela 6.

Tabela 6 – Composições dos Traços.

Traços	cimento	Areia	Seixo	Reciclado	Água
Referência	1	1,77	1,78	0	0,44
25%	1	1,77	1,34	0,45	0,44
50%	1	1,77	0,89	0,89	0,44

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

4.3.1 Concreto estado fresco

O concreto foi fabricado na empresa SAMU construções, foi realizado a confecção de um traço por dia, pois a empresa disponibilizava apenas uma fôrma para poste, os traços foram rodados entre os dias 03/09/2019 a 10/09/2019, utilizando o cimento CP II E-32, a Tabela 7 apresenta os resultados dos testes de consistência, além do consumo real de cimento.

Tabela 7 – Ensaio concreto estado fresco.

Propriedade	Referência	25%	50%
Abatimento do tronco de cone	100 mm	100 mm	80 mm
Consumo real de cimento	465 kg	465 kg	465 kg

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

A dosagem elaborada com agregadas naturais denotou boa trabalhabilidade e consistente dentro dos padrões satisfatório, tendo sido utilizado os princípios das normas NBR 11172 e NBR 12655.

Na segunda dosagem, foi substituído parcialmente com 25% de agregado graúdo reciclado, mantendo o agregado miúdo natural da dosagem de referência. Não houve qualquer alteração de trabalhabilidade em relação à dosagem de referência.

A terceira dosagem teve a taxa de substituição do agregado graúdo de 50% de ARC, mantendo o agregado miúdo natural da dosagem de referência. Foi observado uma perda na trabalhabilidade, não comprometendo os limites de tolerância de +- 2 mm no slump teste (Figura 11), não necessitando alteração no fator água cimento.

Figura 8 – Slump Teste.



Fonte: Autor (2019).

No entanto, os postes moldados com 50% de substituição apresentaram defeitos, conhecidos como nichos de concretagem (Figura 12), provavelmente causados, pela a grande quantidade de material pulverulento do agregado graúdo reciclado, perda de abatimento, mesmo estando no limite de tolerância.

Figura 9 - Nichos de concretagem.



Fonte: Autor (2019).

4.3.2 Concreto Estado Endurecido

Já a análise do concreto no estado endurecido foi realizada de duas formas, com corpos de provas cilíndricos e postes de concreto com 5 metros de comprimento, com os

corpos de provas cilíndricos além do teste resistência a compressão axial, foi realizado ensaios de absorção, já os postes de concreto foram analisados a resistência à flexão.

4.3.2.1 Resultados compressão axial e absorção de água

Os ensaios de compressão axial foram realizados dia 24 de outubro de 2019 no laboratório de materiais do CEULP/ULBRA, com mais de 28 dias de cura, juntamente com o de absorção.

Os resultados de resistência a compressão axial e absorção dos corpos de provas (figura 13) podem ser observados na tabela 5, foi notado que todos os traços tiveram resistências apropriadas para confecção de postes, atendendo o mínimo de 25 MPa.

Tabela 8 – Tensão de ruptura e absorção.

Corpos de Prova	Tensão de Ruptura (MPa)	Absorção (%)
Referência 1	27,2	3,84
Referência 2	28,9	3,86
25% - 1	26,3	3,34
25% - 2	26,5	3,84
50% - 1	25,8	4,63
50% - 2	25,5	4,45

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

A norma para poste de concreto ABNT 8451-4/2012 fixa em até 7% de absorção de água no concreto, todos os traços obtiveram absorção menor que a exigida por norma, se adequando para utilização do concreto em postes.

Figura 10 – Corpos de provas cilíndrico.



Fonte: Autor (2019).

4.3.2.2 Resultados flexão de postes

Os ensaios flexão (Figura 14) foram realizados na empresa Concreto Artefatos de Cimento em Araguaína Tocantins, no dia 19 de outubro de 2019, com mais de 28 dias de cura do concreto.

Figura 11 – Ensaio de flexão em poste de concreto



Fonte: Autor (2019).

Foi realizado o ensaio com 6 postes com os traços sugeridos, onde foi observado a flecha com a carga de projeto, a flecha residual, a quantidade de fissuras, além da carga total de ruptura, a tabela 6 apresenta os resultados obtidos durante os experimentos.

Tabela 9 – Resultados do ensaio de flexão em poste de concreto

Poste	Flecha (cm)	Flecha Residual (cm)	Número de Fissuras		Carga de Ruptura (kgf)
			Face A	Face B	
Referência 1	24	3,5	17	14	200
Referência 2	23	3,5	23	17	200
25% - 1	22	3,5	26	21	200
25% - 2	23	3,5	19	20	200
50% - 1	24	2	33	27	200
50% - 2	24	2	38	29	200

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Como observado na tabela 9, a flecha na carga de projeto que seria de 150 kgf foi dentro do esperado para todas os postes avaliados, todos dentro da faixa de 5% da altura que corresponde a 25 cm, podendo ser aprovado. Os postes com 25% de substituição apresentaram flecha residual idêntica com os postes referência, já os com 50% apresentou um pouco mais de elasticidade, diminuindo a sua flecha residual para 2 cm, atendendo aos parâmetros das normas para poste de concreto.

O número de fissuras (Figura 15) no momento da aplicação da força foi acentuado em postes com 50% de substituição, mas depois da retirada dos esforços, foram fechadas se tornando capilares, atendendo os requisitos da norma.

Figura 12 - Fissuras.



Fonte: Autor (2019).

Quanto à carga de Ruptura, todos os postes atingiram a mesma carga de 200 kgf (Figura 16), tendo atingindo 1,4 da resistência nominal, se adequando as normas de postes de concreto, tendo os resultados dentro do esperado para sua utilização.

Figura 13 -Dinamômetro no momento da ruptura.



Fonte: Autor (2019).

4.4 Custo de produção

Os levantamentos de custo foram feitos de acordo com o preço local, na cidade de Augustinópolis Tocantins, onde se localiza a empresa SAMU construções, que cedeu sua estrutura para realizar a moldagem dos postes (figura 17).

Figura 14– Poste de Concreto



Fonte: AUTOR (2019).

Os custos de britagem do agregado reciclado graúdo foram feitos através da tabela de referência SINAPI, onde foi considerado o custo de britagem e peneiramento do material, desconsiderando o preço de aquisição deste material, pois foi obtido através de doação. A tabela 10 apresenta os quantitativos de todos os traços e os valores unitários por quilograma e valores totais.

Tabela 10 – Tabela orçamentária dos materiais.

Item	Preço Unitário (R\$/kg)	Quantidade (kg)	Valor Referência (R\$)	Quantidade Substituição 25% (kg)	Valor Substituição 25% (R\$)	Quantidade Substituição 50% (kg)	Valor Substituição 50% (R\$)
Cimento CP II E-32	1,97	35,00	68,95	35,00	68,95	35,00	68,95
Areia	0,02	65,91	0,99	65,91	0,99	65,91	0,99
Seixo	0,07	62,30	4,61	46,73	3,46	31,15	2,31
Usinagem RCC	0,004	0,00	0,00	15,58	0,06	31,15	0,12
Aço Ø 8 mm	4,32	7,90	34,13	7,90	34,13	7,90	34,13
Aço Ø 6,3 mm	2,31	0,74	1,70	0,74	1,70	0,74	1,70
		Total	110,37	Total	109,28	Total	108,19

Fonte: dados da pesquisa, 2019.

Para produção de um poste sem substituição foi gasto R\$ 110,37 reais, já os postes com substituição de 25% custou R\$ 1,09 reais a menos se comparado com o poste referência, já o de 50% teve uma redução de R\$ 2,18 reais em comparação ao poste de referência, tendo uma diferença de preço de 2%, reduzindo o custo final de produção dos postes de concreto, além de dar finalidade a um resíduo sólido de ótima qualidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como conclusão geral, pode-se afirmar que o uso de agregados reciclados de concreto, oriundos do processo de britagem se apresenta como excelente solução para fabricação de postes de concreto. Sua ótima qualidade permite um comportamento satisfatório do ponto de vista da resistência mecânica, que é um dos pontos mais importantes na aprovação de um poste de concreto.

Verifica-se que a utilização de agregados reciclado de concreto apresenta uma grande possibilidade de contribuição para a preservação ambiental, no momento que diminui a extração de agregados naturais, diminuindo, assim, o consumo de matérias retirados de jazidas, e dando um melhor destino aos resíduos sólidos por conter uma alta qualidade, por ser homogêneo, sem adição de contaminantes.

Os resultados obtidos neste estudo tiveram comprovação quando comparados com os conceitos utilizados na pesquisa e através dos ensaios experimentais.

- Os agregados graúdos de concreto reciclados de postes, possuem excelente potencial de utilização, não se esgotando os estudos de suas propriedades devendo da continuidade.
- A utilização de agregados graúdos reciclados de poste, consegue atingir a resistência mecânica adequadas para confecção de postes de concreto.
- É considerado a utilização de agregado reciclado como ambientalmente correto, haja vista que diminuir os impactos causados pela à disposição incorreta dos resíduos sólidos, além de diminuir o consumo de novas matérias.
- Os matérias reciclados devem ser considerados como um novo material, devendo-se aprofundar os estudos sobre a suas propriedades para que se possa ser aplicado com mais confiabilidade, haja vista sua influência sobre as propriedades do novo concreto.
- A granulometria dos agregados reciclados do concreto sofre influência do processo de britagem, tendo maiores taxa de absorção, menor peso unitário.
- A substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado não influenciou a trabalhabilidade com até 25% de substituição, com a quantidade de 50% deve-se tomar cuidado com o adensamento ou utilização de plastificantes para não ocorrer ninhos de concretagem.
- A substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado de postes, influencia nas propriedades do concreto, absorvendo mais água, e reduzindo a resistência a compressão dependendo da quantidade de substituição.
- A substituição não influenciou a resistência do concreto a flexão, atendendo praticamente todas as especificações da norma, flecha, flecha residual, fissura e resistência a flexão em poste de concreto.
- Existe viabilidade técnicas na utilização de agregados graúdos reciclados de postes para confecção de novos postes por atender todos os requisitos para aprovação de postes de concreto.

- Deve-se tomar precaução em substituições maiores que 50% de agregados graúdos reciclados de poste de concreto, para evitar nichos de concretagem.
- Foi observado que economicamente é viável a substituição do agregado graúdo natural por agregado reciclado de poste, em nossa região, podendo haver maior viabilidade em outras regiões onde o preço do agregado graúdo seja superior.

Portanto, diante dos resultados alcançados, pode-se dizer que este estudo vem comprovar que se pode utilizar o agregado graúdo reciclado de postes de concreto, para confecção de novos postes além de agregar valor econômico a um produto que ainda é tratado como lixo, trazendo sérios transtornos à população e aos governos, quando se percebe a inexistência de áreas apropriadas a uma correta disposição ocasionando agressão ao meio ambiente.

5.1 Sugestões para futuras investigações

- Estabelecer metodologia mais adequadas as técnicas de dosagem de concreto para postes produzido com agregado graúdo reciclado de concreto de postes.
- Estudar mais profundamente a influência agregado reciclado de poste de concreto na trabalhabilidade.
- Como se comportam as dosagens do concreto na presença do agregado graúdos reciclado de postes.
- Analisar postes com outros percentuais de substituição de agregados reciclados graúdos de postes.
- Analisar postes com resistências maiores e os efeitos da substituição de agregados naturais por agregados reciclado.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 12142. **Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos.** Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=4876&token=37ad16da-2377-4bd5-8431-cbbb92aa30e4&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- _____. NBR NM 45. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=25068&token=adb90c5e-919e-4eff-a806-1f1a4e66c7ee&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- _____. NBR NM 52. **Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.** Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=22877&token=adb90c5e-919e-4eff-a806-1f1a4e66c7ee&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- _____. NBR NM 53. **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=22881&token=adb90c5e-919e-4eff-a806-1f1a4e66c7ee&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- _____. NBR 10004. **Resíduos sólidos - Classificação.** Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=170&token=adb90c5e-919e-4eff-a806-1f1a4e66c7ee&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- _____. NBR 15116. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos.** Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=23795&token=adb90c5e-919e-4eff-a806-1f1a4e66c7ee&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- _____. NBR 5422. **Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.** Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=5329&token=adb90c5e-919e-4eff-a806-1f1a4e66c7ee&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- _____. NBR 5738. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=1938&token=37ad16da-2377-4bd5-8431-cbbb92aa30e4&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

_____. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=5211&token=37ad16da-2377-4bd5-8431-cbbb92aa30e4&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

_____. NBR 7211. **Agregados para concreto - Especificação**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=238&token=adb90c5e-919e-4eff-a806-1f1a4e66c7ee&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

_____. NBR 8451-3. **Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica - Parte 3: Ensaios mecânicos, cobrimento da armadura e inspeção geral**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=31405&token=adb90c5e-919e-4eff-a806-1f1a4e66c7ee&sid=detkornnawba40wgim4f0bnv&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

_____. NBR 8451-1. **NBR8451-1: Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica - Parte 1: Requisitos**. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=31403&token=7b81d934-11f3-4cb3-ae9b-8c9b105de43b&sid=iuv2gf4rzzwtjghfsxhauw3y&email=eng.pablo@live.com>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. doi:10.11606/D.3.2000.tde-05102005-112833. Acesso em: 14 de set. 2019.

ANGULO, S. C. et al. Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição. São Paulo, 2003.

ARRIEIRO. **Manual SuperPoste**. 2009. Disponível em <http://arrieiro.com/thumbsposte/pages/image/imagepage12.html>. Acesso em: 23 de out. 2019.

BENENCASE, P. F. **Análise do comportamento estrutural de postes de concreto armado utilizados em linhas de transmissão de energia elétrica**. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

BRASIL. **Resolução CONAMA no 307, de 5 de julho de 2002**. conselho nacional do meio ambiente, Publicada no DOU no 136, de 17 de julho de 2002, 2002.

COPEL. **NTC 917110 Procedimentos para Homologação de Postes de Concreto para ES 141114**. 2014. Disponível em: <www.copel.com/normas>. Acesso em: 26 abr. 2019
COPLAS. **Distanciador Circular**. Disponível em: <<https://www.coplas.com.br/dr-poste?lightbox=dataItem-izsu1opw>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

FORMATEC. **Poste duplo T (Tipo B e D) | Formatec**. Disponível em: <<https://www.formatecformas.com.br/portfolio-item/poste-duplo-t-tipo-b-e-d/>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000 113p.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**, 1997. Disponível em: <<https://bdpi.usp.br/item/000747896>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

MOTA, J. A. **destinação dos resíduos sólidos da construção civil em manaus: do canteiro de obras ao destino final**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UCEFF, 2014.

NETO, C. et al. **Como agregado graúdo na constituição de concreto para fins estruturais. of concrete for structural purposes**. p. 1–14, 2017.

SILVA, R. V et al. Design of reinforced recycled aggregate concrete elements in conformity with Eurocode 2. **Construction & Building Materials**, v. 105, p. 144–156, 2016.

SOUSA, J. A. **Produção de peças estruturais de concreto pré moldado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC, Lages/SC, 2013.

