
A VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA FABRICAÇÃO DE CONCRETO USINADO

André Luiz Capela Garcia

Rafael Aparecido Mota Cardoso

Renato da Silva Santos Júnior

Alfonso Pappalardo Junior

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Este estudo teve como principal objetivo validar a utilização de águas pluviais na produção de concreto usinado na cidade de São Paulo. Nas especificidades, foi realizada a coleta de volume adequado de amostras de águas de chuva nos bairros de Campos Elíseos e Vila Penteados, a fim de investigar as características químicas, averiguar as propriedades físicas e avaliar a eficiência do concreto fabricado com a água pluvial em comparação com o concreto fabricado com água proveniente do sistema de abastecimento público. Os resultados indicaram a aprovação das águas captadas, haja vista a obediência aos rigorosos parâmetros normativos, tais como os teores de cloretos, sulfatos e álcalis, e os valores de tempo de pega e resistência à compressão do concreto, estabelecidos em relação aos dados fidedignos obtidos na avaliação preliminar e nos ensaios físicos e químicos.

Palavras-chave: Água pluvial. Análises. Concreto usinado.

1 INTRODUÇÃO

A preservação dos recursos hídricos está cada vez mais presente nas pautas da sociedade. A crescente apreensão com a disponibilidade, demanda exponencial e deficiente utilização da água nunca teve tamanha relevância como atualmente. A gestão desse recurso, o mais importante do planeta, gera discussões para a busca de soluções sustentáveis que amenizem os impactos ambientais.

Sabe-se que as atividades humanas geram impactos no meio ambiente. Dentre elas, a maior causadora é a construção civil, sendo responsável pelo consumo de um terço dos recursos naturais do planeta, onde a água é o elemento mais utilizado (Oliveira, 2020). Isso posto, o desenvolvimento e a expansão do setor de forma sustentável são necessários.

O gradativo pensamento de inserção de sistemas para reutilização de águas pluviais é um grande passo para começar a reverter o cenário atual, porém, para isso, deve-se analisar o índice pluviométrico da região. Ao longo da última década, as usinas dosadoras buscam associar suas atividades com o pensamento sustentável. Novas opções de argamassas e concretos procuram aliar eficiência com a redução do uso de insumos e o uso de aditivos na mistura, como fibras (Borges; Motta; Pinto, 2019) e areia de britagem (Barbosa *et al.*, 2019). A água é o principal alvo de redução, haja vista a procura de novos tipos de argamassa e concreto que utilizam aditivos amplificadores de trabalhabilidade sem a necessidade de maior adição do insumo.

A totalidade da água utilizada no processo de fabricação do concreto usinado na cidade de São Paulo é proveniente do sistema de abastecimento público, ofertada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). Nas estações de tratamento, o solvente passa por tratamentos físico-químicos a fim de atender aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

Como a água utilizada na fabricação do concreto não possui exigências em termos de qualidade quanto à potabilidade segundo a NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a), verifica-se a possibilidade de uso da água proveniente das chuvas como matéria-prima, com os devidos ensaios e atendimentos aos requisitos vigentes. Em vista disso, o artigo apresenta a análise das características químicas e físicas da água pluvial coletada e a avaliação da eficiência do concreto fabricado com a água pluvial em comparativo com o concreto fabricado da água fornecida pelo sistema de abastecimento público.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Água para fabricação de concreto

No concreto, o emprego da água se dá com a finalidade de hidratar o cimento e unir os demais agregados que irão conferir as características de resistência e durabilidade, com contribuição à trabalhabilidade do material final. Para a fabricação de 1 m³ de concreto, utilizam-se, em média, 150 litros de água de amassamento (Oliveira, 2020). Esse valor pode sofrer alterações de acordo com o traço do concreto e os agregados utilizados na confecção.

Em uma usina dosadora, também se deve considerar a lavagem do caminhão betoneira a cada viagem realizada, em que se consomem, em média, 1.500 litros por lavagens interna e externa. Segundo Oliveira (2020), são utilizados cerca de 500 mil litros de água por mês no processo de produção e lavagem de caminhões betoneiras, em uma usina dosadora de concreto.

A utilização de uma água não adequada para a fabricação de concreto pode acarretar grandes alterações nas propriedades mecânicas e na durabilidade do concreto, trazendo alto risco à estrutura. Devem-se observar os níveis de pH da água, presença de sólidos, sais e teor de ferro. A problemática do teor de sal se dá porque, na presença de água e oxigênio, ocorre a potencialização do processo de corrosão, diminuindo a longevidade da peça. Tais averiguações podem ser checadas na NBR 12655 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022). Deve-se atentar às matérias orgânicas, visto que um dia irão decompor e gerar vazios na peça concretada, fragilizando-a.

Segundo o item 3.5 da NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a), a água de captação pluvial pode ser utilizada na fabricação do concreto, desde que seja submetida aos procedimentos requisitados. Na referida norma, não é especificado o tratamento para águas pluviais, mas a água deve passar pelo mesmo ritual de uma água de poço, reúso de esgoto, entre outros (Santos, 2015). Nesse procedimento, o pH é o fator que demanda maior atenção, já que a chuva em São Paulo apresenta um pH médio de 4,5 e 5,0 (Iwakura, 2001), e o requisito normativo mínimo é 5,0.

As distintas partes da norma NBR 15900 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009) especificam os parâmetros que devem ser atendidos pela água para ser considerada adequada para utilização no concreto. Tais requisitos partem de avaliações preliminares a ensaios químicos e físicos, os quais a consideram apta após obtenção de resultados satisfatórios em todas as etapas.

2.2 Influência das propriedades da água no concreto

A água é um dos fatores mais importantes para a fabricação do concreto, sendo determinante quanto à sua resistência. Além disso, possui o papel de ser o elemento de interligação entre os ligantes hidráulicos e agregados (Lima, 2018). Sendo assim, as impurezas presentes na água podem ser prejudiciais para o concreto, tanto no seu estado fresco quanto em seu estado endurecido, podendo gerar inúmeras manifestações patológicas.

No estado fresco do concreto, a água reage com os componentes do cimento Portland, formando cristais hidratados e construindo a estrutura molecular dos hidratos de sílica e cálcio (C-S-H), até formar uma pasta endurecida. No estado endurecido, a água atua como meio de transporte de íons liberados durante a dissolução das partículas de cimento e a formação dos cristais, garantindo a continuidade da reação de hidratação e, conseqüentemente, o crescimento da resistência e redução da porosidade, o que afeta diretamente a durabilidade (Piazza, 2014).

Em termos de função estrutural, a água também pode desenvolver sintomas patológicos que são exacerbados quando utilizada em condições com grandes índices de pH, acidez e alcalinidade. O cloreto presente no concreto aumenta a condutividade elétrica ao acelerar o processo de corrosão da armadura, além de causar a despassivação desta, o que afeta significativamente a vida útil da estrutura (Alves, 2007). Quando em altas concentrações, a presença do sulfato pode causar reações expansivas e deletérias por causa da formação de compostos expansivos do tipo etringita e gesso secundário, afetando a superfície da peça com fissuras, esfoliação, redução efetiva da dureza e resistência superficial do concreto e até mesmo redução do pH, colocando em risco a passivação da armadura (Helene, 2004).

2.3 Reaproveitamento de águas pluviais

Em um bom sistema de reaproveitamento, devem-se estudar os índices pluviométricos para dimensionar seu sistema de coleta e armazenamento para que atenda ao volume de água precipitado. Alguns cuidados são relevantes, como o descarte da água de lavagem do telhado, ou seja, do primeiro volume que irá se precipitar, pois este pode carregar consigo poeiras, restos orgânicos e até compostos químicos e agentes patogênicos que podem condenar sua água (May, 2004).

Os reservatórios de armazenamento podem ser enterrados, semienterrados, apoiados no solo ou até mesmo elevados, e construídos de diversos materiais, principalmente de alvenaria, de fibra de vidro e de aço. A escolha do local deve ser pensada estrategicamente por meio da análise do ponto de coleta, para evitar a necessidade de instalação de

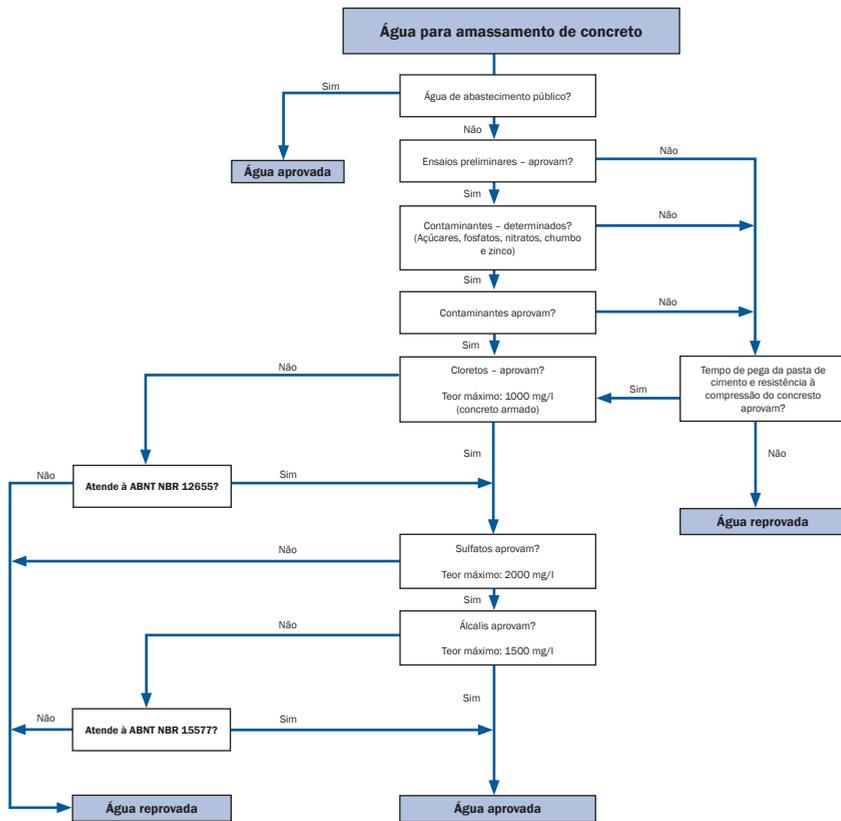
bombas e reduzir os gastos (Anneccchini, 2005). Os reservatórios demandam um certo cuidado, pois precisam conter uma abertura para inspeção e limpeza, sua cobertura tem que ser impermeável, a entrada de luz solar deve ser evitada para não haver a proliferação de algas, e é imprescindível realizar regularmente uma limpeza para evitar a formação de lodo no fundo.

O consumo de água aumentou mais de seis vezes em menos de um século, ficando superior ao crescimento populacional, que dobrou no mesmo período (Cazarin; Fraportí, 2022). Com esse cenário, tornam-se de suma importância as discussões de reaproveitamento da água em todo o mundo. O principal elemento para um programa de reúso de águas pluviais dar certo é a aceitação pública (Mancuso; Santos, 2003), visto que apenas com a população enxergando a necessidade seria possível reverter o panorama atual.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos e ensaios práticos laboratoriais utilizados seguiram os parâmetros da NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a), norma que estabelece as etapas de amostragem, bem como os critérios para sua avaliação e aceitação. O documento é dividido em 11 partes, em que a primeira classifica a água em função de sua origem e demonstra todas as exigências a serem atendidas em sua utilização na preparação do concreto.

O Fluxograma 1 apresenta a sequência de ensaios que fornecem os subsídios necessários para aceitação ou recusa de uma amostra de água. A água de abastecimento público não demanda ensaio, haja vista a aprovação automática por norma. Dessa forma, o comparativo com a água pluvial é realizado apenas nas etapas físicas de tempo de pega e resistência à compressão dos corpos de prova.



Fluxograma 1 Aceitação dos ensaios da água destinada ao amassamento de concreto

Fonte: Adaptado da NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a).

O caminho a ser utilizado, conforme o fluxograma, terá início nos ensaios preliminares, indo para a determinação do tempo de pega da pasta de cimento e resistência à compressão do concreto, ensaios que, se atingida a resistência exigida, confirmam os níveis aceitáveis dos contaminantes não determinados, até os ensaios químicos de determinação do teor de cloretos, sulfatos e álcalis. A escolha da sequência se deve à necessidade da realização dos ensaios físicos para confirmar a aplicação da água pluvial e ter dados fidedignos em relação à resistência e durabilidade do concreto.

3.1 Coleta da água

A coleta de água para os ensaios seguiu o item 5 da NBR 15900-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009b), com a captação de duas amostras de 20 litros em lugares distintos.

O primeiro local escolhido foi o reservatório de reúso de águas pluviais de um empreendimento residencial localizado na região da Vila Penteadado, zona leste de São Paulo. A segunda amostragem também foi obtida em um reservatório de reúso de águas pluviais localizado no bairro dos Campos Elíseos, na região central de São Paulo.

Os reservatórios utilizados possuem torneiras para liberação de vazão que foram deixadas abertas por cerca de 3 minutos antes do início da coleta, conforme recomendação do item 5 da NBR 15900-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009b). Após o preenchimento, os recipientes foram devidamente identificados com o local da coleta, a finalidade a que se destinam, a quantidade, a data e a hora da coleta, conforme mostra Figura 1. Além disso, houve a coleta de água de abastecimento público, operada pela concessionária Sabesp, no Laboratório de Materiais de Construção situado no *campus* Higienópolis da Universidade Presbiteriana Mackenzie.



Figura 1 Amostras de água pluvial coletadas

Fonte: Acervo pessoal.

3.2 Avaliação preliminar

A água pluvial coletada deve atender aos parâmetros preliminares presentes no Quadro 1. Os procedimentos de cada item obedecem à NBR 15900-3 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009c).

QUADRO 1

Requisitos de inspeção preliminar de água destinada ao amassamento de concreto

Parâmetro	Requisito
Óleos e gorduras	Não mais do que traços visíveis
Detergentes	Qualquer espuma deve desaparecer em 2 min
Cor	De amarelo-claro a incolor
Odor	Inodora
Ácidos	pH \geq 5
Matéria orgânica	A cor da água deve ser mais clara ou igual à da solução-padrão, após a adição de NaOH
Material sólido	Máximo de 50.000 mg/l

Fonte: Adaptado da NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a).

3.2.1 Óleos, gorduras, detergentes e cor

Foram coletados 80 ml das amostras em uma proveta graduada de 100 ml, a qual se encontrava sobre uma superfície sem vibrações e em repouso por 30 minutos.

Nos primeiros minutos, analisou-se a presença de óleos, gorduras e espumas. Após o fim do repouso, averiguou-se a cor de cada amostra, que pode variar de incolor a um tom de amarelo-claro.

3.2.2 Odor

A verificação do odor consistiu em agitar as amostras por 30 segundos de modo a misturar qualquer material presente nas provetas, que são vedadas com tampa apropriada. Após isso, foi apurado o odor da amostra em relação à água de abastecimento público, classificando-a como inodora ou não inodora, conforme Figura 2.



Figura 2 Análise do odor das amostras

Fonte: Acervo pessoal.

Feita a constatação, 0,5 ml de ácido clorídrico (HCl) foi adicionado e misturado às amostras a fim de examinar a presença do odor típico de sulfeto de hidrogênio, conforme item 6.1.4 da NBR 15900-3 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009c).

3.2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

A aferição do pH foi feita por meio da inserção do papel indicador universal nas provetas das amostras (Figura 3).



Figura 3 Medição do pH

Fonte: Acervo pessoal.

3.2.4 Matéria orgânica

O ensaio consistiu na comparação entre duas soluções. A primeira era uma solução de 50 ml em um tubo de ensaio, sendo 47,5 ml de cada amostra de água pluvial e 2,5 ml de uma solução de hidróxido de sódio 3%.

A segunda solução, preparada juntamente com a primeira, também possuía 50 ml, sendo 1,5 ml de uma solução-padrão de ácido tânico 2% e 48,5 ml de uma solução de hidróxido de sódio 3%. Os dois conjuntos de soluções foram agitados e deixados em repouso por uma hora. Em seguida, foi feita a avaliação qualitativa ao comparar a coloração da primeira solução, com presença da água pluvial, em relação à segunda solução, composta pelos reagentes.

3.2.5 Material sólido

A conferência da existência de material sólido deu-se pela agitação de 250 ml da amostra de cada água em uma proveta graduada e pela transferência para um recipiente béquer de vidro de 250 ml, previamente pesado, em banho-maria, onde se completou a evaporação. O vasilhame foi levado a uma estufa com o propósito de secar o material sólido numa temperatura de 105 °C, durante uma hora. Após o período, o béquer foi pesado numa balança com precisão de 0,001 g a fim de realizar a verificação por meio da Equação 1.

$$R = \left(\frac{m2 - m1}{v} \right) \cdot 10^6 \quad (1)$$

em que:

R = quantidade de sólidos totais (mg/l);

m1 = massa do béquer (g);

m2 = massa do béquer com a amostra após a secagem (g);

v = volume da amostra (ml).

3.3 Ensaios físicos

Os experimentos laboratoriais efetuados nos remeteram à demonstração direta de resistência e aplicação do concreto. A partir dessa premissa, realizaram-se os métodos vinculados às especificações normativas com o intuito de analisar as características exigidas para o concreto fabricado com as três amostras de água (Vila Penteadado, Campos Elíseos e Sabesp).

3.3.1 Determinação da pasta de consistência normal

De acordo com o item 7 da NBR 16606 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018c), a pasta de cimento foi elaborada com 500 g de cimento e massa de água adicionada por tentativas a partir de 120 g. Durante 30 segundos, a pasta foi condensada em velocidade baixa e deixada em repouso nos 60 segundos seguintes, realizando-se a raspagem das paredes internas com espátula de borracha.

O estabelecimento da consistência se deu ao colocar a pasta no molde sobre a placa-base de vidro e posicionar o conjunto sob o aparelho de Vicat provido de sonda de Tetmajer (Figura 4), onde sua haste foi deslocada até a sonda entrar em contato com a superfície da pasta.



Figura 4 Aparelho de Vicat com sonda de Tetmajer

Fonte: Acervo pessoal.

A pasta é considerada de consistência normal quando a sonda se situa a uma distância de (6 ± 1) mm da placa-base após 30 segundos do momento em que foi solta.

3.3.2 Determinação dos tempos de pega

Conforme o item 7 da NBR 16607 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018d), a aferição do tempo de início de pega começou após repouso de 30 minutos do molde com a pasta de cimento e a colocação dele no aparelho de Vicat com agulha de início de pega, devidamente ajustado na placa-base. A haste da agulha foi solta

suavemente até que houvesse contato com a pasta. Depois de 30 segundos após o instante da liberação, mediu-se o deslocamento da agulha.

O tempo de início de pega é considerado com o distanciamento entre agulha e placa-base igual a (6 ± 2) mm. Para isso, sucedeu a repetição do processo a cada 30 minutos nas primeiras duas horas e com intervalo de 10 minutos após esse período até a obtenção da leitura desejada. O resultado obtido precisa ser superior a 90 minutos, haja vista a exigência do tempo de deslocamento máximo da NBR 7212 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021) em relação ao percurso do caminhão betoneira ao local da obra. O registro do tempo de fim de pega ocorreu da mesma forma, sendo utilizada a agulha de fim de pega e com a repetição de medições em intervalos de 15 minutos até que a agulha penetrasse a pasta em apenas 0,5 mm.

3.3.3 Resistência à compressão dos corpos de prova

A definição da resistência à compressão do concreto se dá pelos procedimentos de moldagem e cura da NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015) e ensaio de rompimento da NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018a). A fim de obter resultados fidedignos, foi realizada a moldagem de dois corpos de prova por água e por idade, na totalização de 18 unidades. Os moldes cilíndricos utilizados possuíam diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm.

O traço adotado para fabricação do concreto (Tabela 1) foi disponibilizado pela construtora e incorporadora Plano&Plano, sendo de uso comum nas obras. A resistência à compressão esperada aos 28 dias era de 25 MPa.

TABELA 1

Composição do traço para fabricação do concreto¹

Material	Massa específica (g/cm ³)	Quantidade	Unidade
Cimento CP II-E 40	3,00	3,50	kg
Areia de brita - tipo II	2,78	6,20	kg
Areia fina	2,64	3,92	kg
Brita 0	2,80	2,63	kg
Brita 1	2,80	10,53	kg
Água	1,00	2,10	l
Aditivo (polifuncional)	1,18	0,03	kg

1 ENGEMIX S/A Carta traço desenvolvida pela área de Tecnologia do Concreto para a empresa Plano & Plano Construções e Participações Ltda. Emitida em: 16 dez. 2021.

A execução dos três concretos necessitava atender ao abatimento da carta traço igual a (10 ± 2) mm. Em uma betoneira industrial, os materiais foram misturados, e sem demora realizou-se o ensaio de abatimento do tronco cone, conforme NBR 16889 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020). A moldagem ocorreu após o adensamento do concreto por vibrador mecânico. Durante as primeiras 24 horas, os corpos de prova foram armazenados em local protegido de intempéries e logo após desmoldados, conforme indicação da NBR 12655 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022). Em seguida, foram mantidos numa câmara úmida em temperatura de (23 ± 2) °C.

Depois da retificação das bases dos corpos de prova, o rompimento se deu nas idades de 7, 14 e 28 dias, por meio de máquina de ensaio universal e registro da força máxima alcançada, para determinação da resistência à compressão (Equação 2).

$$f_c = \frac{4F}{\pi * D^2} \quad (2)$$

em que:

f_c = resistência à compressão (MPa);

F = força máxima alcançada (N);

D = diâmetro do corpo de prova (mm).

3.3.4 Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica

De acordo com a NBR 8802 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019), os corpos de prova e os transdutores foram posicionados em faces opostas para utilização da metodologia de transmissão direta. O equipamento de pulso elétrico ultrassônico efetuou a medição e exibiu resultados no leitor, com precisão igual a 0,1 μ s.

O concreto será considerado de ótima qualidade se estiver no intervalo de velocidade de onda ultrassônica entre 3.500 m/s e 4.500 m/s. Esse procedimento ocorreu nas três idades de rompimento, em razão da necessidade de verificar a evolução da onda em concordância com a norma.

3.4 Ensaio químicos

A água de amassamento do concreto deve passar por avaliações com o objetivo de analisar seus componentes para posterior utilização. As análises químicas são distribuídas da parte 4 à parte 11 da NBR 15900 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009), referentes aos diagnósticos de concentração de compostos como

cloretos, sulfatos, álcalis, açúcares, fosfatos, nitratos, chumbo e zinco. Da supracitada lista, os três primeiros ensaios realizados referem-se à escolha de etapas do Fluxograma 1 e à concordância com a NBR 15577 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018b).

3.4.1 Determinação do teor de cloretos

A NBR 15900-6 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009d) apresenta os aparelhos e reagentes necessários para a realização do ensaio, além de exibir dois métodos de efetivação, e o escolhido foi a titulação potenciométrica com eletrodo de Ag/AgCl, haja vista a disponibilidade do Laboratório de Química do curso de graduação em Química da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie (EEUPM).

Conforme a Tabela 2, a NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a) indica os limites de teor de cloretos em que se depende do uso final do concreto.

TABELA 2

Teor máximo de cloreto em água de amassamento

Uso final	Teor máximo (mg/l)
Concreto protendido ou graute	500
Concreto armado	1.000
Concreto simples (sem armadura)	4.500

Fonte: Adaptada da NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a).

A caracterização começou quando se pipetaram 100 ml da amostra de água pluvial previamente filtrada em um béquer de 250 ml e quando se adicionaram 2 ml de solução de cloreto de sódio 0,05 mol/l e cinco gotas de ácido nítrico. Em seguida, colocou-se o béquer sobre um agitador magnético com um bastão de agitação recoberto de Teflon, e imergiu-se um eletrodo de prata na solução.

Introduziu-se a ponta de uma bureta de 10 ml preenchida com solução de nitrato de prata 0,05 mol/l no conjunto, e fizeram-se a conexão do eletrodo ao potenciômetro e a ligação do agitador para titular lentamente com adições iniciais de 0,50 ml de nitrato de prata, a fim de realizar medições a cada titulação. À medida que o ponto de equivalência se aproximou, o potencial cresceu rapidamente, e fez-se a titulação a cada 0,10 ml, segundo indicação normativa. Anotaram-se o potencial e o volume de cada titulação nas duas primeiras colunas de uma tabela auxiliar.

Após isso, calculou-se a diferença de potencial dos volumes sucessivos da solução utilizada, e os valores foram anotados na coluna 3. Calculou-se a diferença entre os valores consecutivos da coluna 3, o que foi anotado na coluna 4. Finalizada a tabela, foi feita a aferição do teor de cloretos por meio da Equação 3.

$$Cl^- = 0,035453 * (V1 - V) * C * 1000 \quad (3)$$

em que:

Cl^- = teor de cloretos (mg/l);

V1 = volume de nitrato de prata gasto (ml);

C = concentração da solução de nitrato de prata (mol/l);

V = volume de solução de cloreto de sódio adicionado (ml);

0,035453 = miliequivalente de cloreto (g/ml).

3.4.2 Determinação do teor de sulfatos

O limite de SO_4^{2-} na NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a) não deve exceder 2.000 mg/l. Segundo a NBR 15900-7 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009e), o ensaio iniciou-se com a filtração de uma amostra de 200 ml de cada água através de sistema a vácuo com funil de Büchner (Figura 5) e transferência para um béquer de 400 ml. Foram adicionadas três gotas de solução de vermelho de metila (1 g/l) e cinco gotas de ácido clorídrico 1:1 (HCl) com o intuito de alterar a coloração do indicador.



Figura 5 Sistema de filtração a vácuo com funil de Büchner

Fonte: Acervo pessoal.

Durante 50 minutos, aqueceu-se a mistura, e lentamente se adicionaram 10 ml de solução quente de cloreto de bário (BaCl_2) (100 g/l) visando à aglomeração do precipitado, que foi decantado em banho-maria. Executaram-se a filtração e a lavagem do precipitado com água deionizada até a ausência de cloretos, o que foi verificado quando se recolheram 2 ml do filtrado em um tubo de ensaio, quando se fez a adição de duas gotas de ácido nítrico (HNO_3) concentrado e três gotas da solução de nitrato de prata (8,5 g/l), e quando se constatou a obtenção de soluções ligeiramente turvas, em ambas as águas pluviais.

Fez-se a transferência do papel de filtro com o precipitado para um cadinho previamente tarado, que foi seco e calcinado em forno mufla a 800 °C durante uma hora. Após esse período, foi seco em dessecador e pesado para registro do cálculo da Equação 4.

$$SO_4^{2-} = \frac{(m_2 - m_1) * 0,4116 * 10^6}{V} \quad (4)$$

em que:

SO_4^{2-} = teor de sulfatos (mg/l);

m_1 = tara do cadinho (g);

m_2 = massa do cadinho e resíduo (g);

0,4116 = fator de conversão de sulfato de bário em íon sulfato;

V = volume da amostra (ml);

10^6 = fator de conversão de g/l em mg/l.

3.4.3 Determinação do teor de álcalis

O valor máximo aceitável do equivalente alcalino em óxido de sódio pela NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a) é 1.500 mg/l. Em caso de exceder esse valor, a água só poderá ser utilizada se for comprovada a relação álcali-agregado de acordo com a NBR 15577 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018b).

De acordo com a NBR 15900-9 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009f), o teor foi definido por meio de um béquer de 250 ml, com adição de 5 ml da amostra de água, 50 ml de água destilada e 2,5 ml de ácido clorídrico 1:1 (HCl).

A mistura foi aquecida em ebulição, adicionando-se três gotas de solução de vermelho de metila (0,2%) e gotas de hidróxido de amônio (NH_4OH) até neutralizar e inserção de gota complementar. Em seguida, 20 ml de solução saturada e quente de oxalato de amônio ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{O}_4$) foram acrescentados, e o conjunto ficou em re-

pouso por 30 minutos, com agitações pontuais nos primeiros 15 minutos. Conforme a Figura 6, a solução foi filtrada lentamente para um balão volumétrico de 250 ml e teve o volume completado a fim de se utilizar no fotômetro de chama dotado de filtro para sódio e potássio.



Figura 6 Fotômetro de chama

Fonte: Acervo pessoal.

Utilizou-se a concentração-padrão de 100 mg/l para ambos os elementos químicos, e fez-se a leitura das amostras das águas por meio do leitor do fotômetro. Essa leitura foi registrada para cálculo posterior na Equação 5. A leitura do ensaio em branco veio zerada após a atomização de água.

$$C_a = \frac{(l_a - l_b) * C_p * E}{l_p * D} \quad (5)$$

em que:

C_a = concentração de álcalis (mg/l);

C_p = concentração-padrão (mg/l);

l_a = leitura da amostra;

l_b = leitura do ensaio em branco;

l_p = leitura do padrão;

E = volume do balão com o filtrado (ml);

D = volume da amostra (ml).

Com o valor da concentração de álcalis, calculou-se o teor do equivalente alcalino em óxido de sódio mediante a Equação 6.

$$E\text{-Na}_2\text{O} = (0,658 * K_2\text{O}) + \text{Na}_2\text{O} \quad (6)$$

em que:

$E\text{-Na}_2\text{O}$ = teor do equivalente alcalino em óxido de sódio (mg/l);

$K_2\text{O}$ = concentração de óxido de potássio (mg/l);

Na_2O = concentração de óxido de sódio (mg/l).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas discussões apresentadas anteriormente em conjunto com os ensaios determinados pelas normas, obtiveram-se os resultados que foram analisados em comparação com os parâmetros normativos e outros artigos.

4.1 Ensaios de avaliação preliminar

De acordo com a NBR 15900-3 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009c), os resultados da avaliação preliminar devem estar de acordo com o Quadro 1. O Quadro 2 demonstra os resultados obtidos com os ensaios realizados de acordo com as prescrições da norma.

QUADRO 2

Parâmetros e resultados obtidos na avaliação preliminar

Parâmetro	Vila Penteadó	Campos Eliseos
Óleos e gorduras	Sem traços visíveis	Sem traços visíveis
Detergentes	Sem presença	Sem presença
Cor	Amarelo-claro	Incolor
Material sólido	80 mg/l	40 mg/l
Odor	Inodora	Inodora
Ácidos	pH = 6	pH = 6
Matéria orgânica	Água mais clara que a solução-padrão	Água mais clara que a solução-padrão

Fonte: Elaborado pelos autores.

No caso do teste referente ao odor da amostra, não se identificou nenhum odor diferente do esperado. Por isso, não foi necessário realizar o teste de odor em relação à regulamentação nacional de água potável. Em relação a detergentes, óleos e gorduras, não se identificou, visualmente, uma quantidade significativa a ponto de alterar a composição da amostra. Quando se mediu o potencial hidrogeniônico (pH) da água, obteve-se um resultado dentro dos limites toleráveis pela norma.

A matéria orgânica na amostra, determinada pela sua tonalidade e comparado com uma solução-padrão, demonstrou-se dentro da normalidade, levando em consideração que a amostra não é uma água ideal para consumo humano. A quantidade de material sólido é estipulada de acordo com a Equação 1. Em ambas as amostras, não se encontrou uma quantidade considerável que impossibilitasse o prosseguimento dos ensaios. No caso dessa determinação, o limite máximo de teor de material sólido na amostra seria de 50.000 mg/l, como determinado pela norma.

4.2 Ensaio de pasta de consistência normal

Segundo a NBR 16606 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018c), a sonda de Tetmajer deve penetrar a pasta de consistência normal entre 5 e 7 mm de distância da placa-base do molde tronco cônico. Conforme Tabela 3, após algumas tentativas e adições de água, o intervalo foi respeitado assim como pedido em norma.

TABELA 3

Ensaio de consistência normal da pasta

Amostras	Quantidade de cimento (g)	Água de consistência (%)	Penetração (mm)
Vila Penteado	500	34,6	5
Campos Elíseos	500	34,2	6
Sabesp	500	35,6	5

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3 Ensaio de determinação da consistência normal e tempo de pega

De acordo com a NBR 16697 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018e), o tempo de início de pega para a classe do cimento utilizado é superior a 60 minutos,

enquanto o tempo de final de pega é inferior a 600 minutos (dez horas). Como mostra a Tabela 4, os tempos de pega seguiram o mesmo padrão daquele que normalmente é obtido com amostras de água potável.

TABELA 4

Ensaio de tempo de pega da pasta de cimento

Amostra	Quantidade de cimento (g)	Quantidade de água (ml)	Relação água/cimento (a/c)	Início de pega	Fim de pega
Vila Penteadado	500	173	0,35	4h40min	6h11min
Campos Elíseos	500	171	0,34	4h15min	5h6min
Sabesp	500	178	0,36	4h20min	6h20min

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.4 Ensaio de abatimento do concreto (*slump test*)

A Tabela 5 exibe os resultados referentes ao abatimento do concreto pelo tronco de cone. De acordo com o traço previsto, o valor esperado deveria ser (100 ± 20) mm. Sendo assim, a consistência encontra-se em condições condizentes para prosseguimento da moldagem e cura do concreto.

TABELA 5

Ensaio de abatimento do concreto

Amostra	Abatimento (mm)
Vila Penteadado	100
Campos Elíseos	110
Sabesp	115

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.5 Ensaio da determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica

Conforme a Tabela 6, os corpos de prova apresentaram resultados coerentes em relação ao predeterminado por norma, e os valores de todas as unidades nas idades de 7 e 14 dias ficaram na faixa de qualidade ótima, e, na idade de 28 dias, na classificação de concreto excelente.

TABELA 6

Relação da velocidade da onda ultrassônica por idade do concreto

Amostra	Corpo de prova (CP)	7 dias (m/s)			14 dias (m/s)			28 dias (m/s)		
		Unitário	Média	Desvio padrão	Unitário	Média	Desvio padrão	Unitário	Média	Desvio padrão
Vila Penteadado	CP 1	4237,0			4352,0			5064,0		
	CP 2	4104,0	4170,5	94,0	4213,0	4282,5	98,3	5104,0	5084,0	28,3
Campos Elíseos	CP 1	4330,0			4352,0			5130,0		
	CP 2	4125,0	4227,5	145,0	4261,0	4306,5	64,3	5064,0	5097,0	46,7
Sabesp	CP 1	4191,0			4239,0			5064,0		
	CP 2	4213,0	4202,0	15,6	4237,0	4238,0	1,4	5172,0	5118,0	76,4

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.6 Ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova

Esse ensaio contemplou o rompimento de dois corpos de prova em cada uma das três idades estipuladas para cada amostra. Como mostra a Tabela 7, os resultados estão de acordo com o comportamento comum do concreto, com exceção de um dos corpos de prova referente à idade de 28 dias, que teve de ser descartado por causa de uma avaria que ocorreu depois de seu rompimento.

TABELA 7

Resistência à compressão do concreto (FCK)

Amostra	Corpo de prova (CP)	7 dias (MPa)			14 dias (MPa)			28 dias (MPa)		
		Unitário	Média	Desvio padrão	Unitário	Média	Desvio padrão	Unitário	Média	Desvio padrão
Vila Penteados	CP 1	36,0	36,0	0,1	38,2	38,4	0,2	39,1	41,8	3,8
	CP 2	36,1			38,5			44,5		
Campos Elíseos	CP 1	43,8	42,8	1,4	46,8	47,5	0,9	43,0	45,7	3,9
	CP 2	41,8			48,1			48,5		
Sabesp	CP 1	34,0	37,0	4,2	42,3	43,3	1,3	51,8	50,1	2,5
	CP 2	40,0			44,2			48,4		

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como se pode analisar, o concreto moldado com as amostras de águas pluviais apresentou, na idade de 7 dias, uma resistência superior ao concreto moldado com água de abastecimento público. Entretanto, houve a estabilização da resistência aos 14 dias, não tendo um ganho significativo de resistência aos 28 dias, enquanto o concreto com água da Sabesp exibiu crescimento expressivo nesse mesmo período. Isso posto, o concreto moldado com água das amostras apontou resistência em patamar semelhante àquela esperada inicialmente com o traço dosado.

Destaque apenas para um dos corpos de prova rompidos aos 28 dias referente à amostra de água dos Campos Elíseos, com um resultado descendente em comparação às idades de 7 e 14 dias, por causa do preparo da moldagem, visto que as reações de hidratação em sua cura podem acarretar variações de crescimento de resistência, porém isso está dentro do desvio e acima do valor exigido.

4.7 Ensaio para determinação de cloreto

Consoante à demonstração na Tabela 8, os teores encontrados nas duas amostras estão abaixo do limite ratificado na Tabela 2, sendo a água, nesse quesito, aprovada para utilização no amassamento de concreto. Nesses resultados, não se consideraram as possíveis partículas decorrentes do escoamento da água por meio da tubulação e calhas que proveram as amostras, haja vista a necessidade de ensaios mais apurados para verificação da influência na qualidade da água.

TABELA 8

Resultados obtidos na avaliação do teor de cloretos

Amostra	Teor de cloreto (mg/l)
Vila Penteado	7,09
Campos Elíseos	1,77

Fonte: Elaborada pelos autores.

A presença de cloreto no concreto é arriscada por conta das ameaças que esse elemento pode causar numa possível armadura, como uma despassivação mais acelerada do aço. Além disso, pode causar o aumento da condutividade elétrica no concreto e provocar corrosão do aço e possível deslocamento do concreto.

4.8 Ensaio para determinação de sulfatos

Como se pode analisar na Tabela 9, os resultados referentes ao teor de sulfatos estão abaixo do limite de 2.000 mg/l da NBR 15900-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a), sendo assim passível de uso, não ocorrendo danos à armação ou estrutura do concreto.

TABELA 9

Resultados obtidos na avaliação do teor de sulfatos

Amostra	Teor de sulfato (mg/l)
Vila Penteado	535,08
Campos Elíseos	102,90

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.9 Ensaio para determinação de álcalis

Os valores do teor de álcalis se tornarão muito importantes se houver agregados no amassamento do concreto que sejam potencialmente reativos com álcalis. Sendo assim, esse teor não deve exceder o valor de 1.500 mg/l.

Como se pode analisar na Tabela 10, os resultados referentes aos álcalis são satisfatórios, não necessitando de ensaios complementares para fabricação do concreto.

TABELA 10

Resultados obtidos na avaliação do teor de álcalis

Amostra	Teor de álcalis (mg/l)
Vila Penteado	12,33
Campos Elíseos	21,43

Fonte: Elaborada pelos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avalia-se que é possível a utilização de água pluvial para fabricação do concreto usinado, desde que sejam respeitados os requisitos apresentados nas distintas partes da NBR 15900 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a, 2009b, 2009c, 2009d, 2009e, 2009f), assim como os limites estabelecidos para as características físicas. Apesar da falta de base de dados experimentais mais concisos em torno do tema, estima-se que os resultados atingidos nos ensaios normativos prescritos venham corroborar as pesquisas futuras e em andamento.

As águas analisadas demonstraram sua aplicabilidade por meio de resultados coerentes e aceitáveis nos ensaios preliminares, físicos e químicos, incluídos os agentes mais prejudiciais ao composto do concreto, como o sulfato e os álcalis. Quanto à resistência à compressão dos corpos de prova, os elementos produzidos com água pluvial atingiram o valor de referência aos 28 dias, mas exibiram menor variação de crescimento conforme o avanço da idade em comparação com a água de abastecimento público. Apesar da observação, é notável e recomendada a utilização de águas pluviais destinadas à produção de concretos dosados em central.

Além de todos os ensaios realizados e demonstrados, as questões financeira e sustentável influenciam e confirmam a necessidade do emprego dessa fonte para amassamento, haja vista a pouca exploração e pesquisa, podendo assim fomentar novas alternativas e economia para o ramo da construção civil, além de reaproveitar águas que seriam descartadas e diminuir o desperdício e a ineficiente utilização de recursos naturais.

Para trabalhos futuros, sugere-se verificar um maior número de amostras em cada idade para avaliação mais apurada dos resultados. Por razões operacionais, optou-se por moldar cada dosagem em uma única betonada sequencial, assim como foi preciso limitar a quantidade de amostras, observada a disponibilidade de equipamentos e tempo hábil. Constata-se também a necessidade de ampla análise sobre o tópico, haja vista o progresso da construção civil e o aumento exponencial no consumo de água no setor, a fim de expandir as pesquisas de investigação dos componentes do insumo e a gama de opções de fontes na produção do concreto.

THE TECHNICAL FEASIBILITY OF USING RAINWATER FOR THE MANUFACTURE OF MACHINED CONCRETE

Abstract

The article had as main objective the validation of the use of rainwater in the production of ready-mix concrete in the city of São Paulo. In the specifics, an adequate volume of rainwater samples was collected in the neighborhoods of Campos Elíseos and Vila Penteadó in order to investigate the chemical characteristics, investigate the physical properties, and evaluate the efficiency of concrete made with rainwater compared to concrete made with water from the public supply system. The results indicated the approval of the collected water since it obeyed the strict normative parameters, such as chloride, sulfate and alkali contents and the setting time and compressive strength values of the concrete, established in relation to the reliable data obtained in the preliminary evaluation and physical and chemical tests.

Keywords: Rainwater. Analysis. Ready-mix concrete.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. M. C. *Contribuição à análise da perspectiva de vida útil de estruturas em concreto face ao teor de cloreto registrado em Maceió – AL*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

ANNECCHINI, K. P. V. *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15900-1*: água para amassamento do concreto – parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15900-2*: água para amassamento do concreto – parte 2: coleta de amostras de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15900-3*: água para amassamento do concreto – parte 3: avaliação preliminar. Rio de Janeiro: ABNT, 2009c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15900-6*: água para amassamento do concreto – parte 6: análise química – determinação de cloreto solúvel em água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15900-7*: água para amassamento do concreto – parte 7: análise química – determinação de sulfato solúvel em água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15900-9*: água para amassamento do concreto – parte 9: análise química – determinação de álcalis solúveis em água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 5738*: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 5739*: concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15577*: agregados – reatividade álcali-agregado – parte 1: guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 16606*: cimento Portland – determinação da pasta de consistência normal. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 16607*: cimento Portland – determinação dos tempos de pega. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 16697*: cimento Portland – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 8802*: concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 16889*: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 7212*: concreto dosado em central – preparo, fornecimento e controle. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 12655*: concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento. 4. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BARBOSA, M. de S. *et al.* Produção de concreto de alto desempenho (CAD) com adição de pó de pedra. *Revista InterScientia*, v. 7, n. 1, p. 200-217, jul. 2019. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/1000/622>. Acesso em: 2 abr. 2022.

BORGES, A. P. S. N.; MOTTA, L. A. de C.; PINTO, E. B. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. *Revista Matéria*, v. 24, n. 2, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/LprhPDswVZzMg6ZkydLbh7f/?format=pdf>. Acesso em: 8 maio 2022.

CAZARIN, T.; FRAPORTI, F. Dia Mundial da Água. Portal Saneamento Básico, 22 mar. 2022. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/outros/colunistas/dia-mundial-agua/>. Acesso em: 21 abr. 2022.

HELENE, P. A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto. 2004. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/185.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2022.

IWAKURA, M. Chuva ácida é estudada por quatro unidades da USP. Agência Universitária de Notícias, 2001. Disponível em: <http://www.usp.br/aun/antigo/exibir?id=100>. Acesso em: 12 mar. 2022.

LIMA, C. H. S. *Análise das condições da água de amassamento utilizada no concreto confeccionado em obras de João Pessoa – PB, de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 15900:2009*. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de João Pessoa, João Pessoa, 2018.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003.

MAY, S. *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, A. M. C. P. de. *Consumo de água na produção de concreto usinado: quantificação e principais fatores*. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2020.

PIAZZA, R. F. *Retração do concreto*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014.

SANTOS, A. Água da chuva para produzir concreto. É possível? *Massa Cinzenta*, 2015. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/agua-da-chuva-para-produzir-concreto/#:~:text=N%C3%A3o%20existe,parte%20da%20NBR%2015900>. Acesso em: 25 mar. 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao diretor da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Prof. Dr. Marcos Massi, que autorizou o uso dos Laboratórios de Química e de Materiais de Construção, cujos resultados obtidos colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos à engenheira Renata Silva o apoio e fornecimento de materiais necessários para a realização dos ensaios.

Contato

Alfonso Pappalardo Jr.
E-mail: alfonso@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em: 24/01/2023
Aprovado em: 09/03/2023