

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JAMY OLIVEIRA COSTA

**VIABILIDADE TÉCNICA DE ÁGUA DE CHUVA COLETADA DE
TELHADOS PARA USO NOS PROCESSOS DE PREPARO DO
CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2017

JAMY OLIVEIRA COSTA

**VIABILIDADE TÉCNICA DE ÁGUA DE CHUVA COLETADA DE
TELHADOS PARA USO NOS PROCESSOS DE PREPARO DO
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil - DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Paula Cristina de Souza

CAMPO MOURÃO

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

VIABILIDADE TÉCNICA DE ÁGUA DE CHUVA COLETADA DE TELHADOS PARA USO NOS PROCESSOS DE PREPARO DO CONCRETO

por

Jamy Oliveira Costa

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15h do dia 28 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Osvaldo Valarini Junior
(UTFPR)

Prof. Sergio R. O. Quintanilha Braga
(UTFPR)

Prof.^a Dr.^a Paula Cristina de Souza
(UTFPR)
Orientadora

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia
Civil: **Prof. Dr. Ronaldo Rigobello**

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

*Em memória do meu pai Joel.
A minha mãe por todo apoio e dedicação.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha irmã e em especial a minha mãe Zildete por tudo que fez para que eu pudesse chegar até o fim desta caminhada, por vezes fazendo o papel de mãe e pai para ver seus filhos realizarem grandes conquistas como esta.

Ao Marcos, pessoa que amo compartilhar os melhores momentos da vida. Esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e nunca me deixou desistir. Sem seu apoio não teria as forças necessária para chegar até o fim. Obrigado pelo carinho, paciência e dedicação.

Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, os estudos aos fins de semana, até altas horas, ficaram mais fáceis.

A minha orientadora Professora Dr.^a Paula Cristiana de Souza, por todo o seu suporte para realizar esta tarefa.

Agradeço a todos os professores por me proporcionarem os valiosos conhecimentos, não somente por terem me ensinado, mas por terem feito eu aprender. Terão sempre os meus eternos agradecimentos.

RESUMO

COSTA, Jamy O. **Viabilidade técnica de água de chuva coletada de telhados para uso nos processos de preparo do concreto.** 2017. 33 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

A água é um recurso natural cada vez mais escasso, devido ao seu uso irrestrito e à poluição dos mananciais. Desta forma, deve-se pensar em alternativas de uso mais racionais visando à sustentabilidade, para garantir água de qualidades às próximas gerações. Pesquisas de uso sustentável da água investigam o aproveitamento da água da chuva, principalmente para usos não potáveis, pois é uma forma barata de se obter água. Nesse contexto existe uma demanda por água na construção civil para diversos usos, como produção de argamassas e concreto. Para a água ser usada na produção de argamassas e concreto ela deve atender a requisitos exigidos na norma NBR 15900:2009. Neste trabalho comparou-se águas coletadas de telhados metálicos e cerâmicos, com água de poço artesiano tratada e água destilada, para avaliar a viabilidade técnica do uso dessas águas na construção civil. Feitas as análises, percebe-se que as águas de chuva coletadas de telhados atenderam às exigências da norma, em que as resistências devem alcançar no mínimo 90 % da resistência de corpos de provas feitos com água destilada. Os corpos de prova feitos com água de telhado cerâmico se mostraram com uma resistência em 28 dias, de 112,7 % em relação aos feitos com água destilada, devido provavelmente à maior presença de compostos alcalinos, que aceleram o processo de hidratação do cimento conferindo uma resistência inicial maior, porém não garantido essa resistência ao longo dos anos. Já a água de telhado metálico se aproximou mais aos resultados da água destilada, com uma relação de 95,7 % de resistência. Todas as águas analisadas atenderam os requisitos da norma e podem ser aplicadas nos processos de preparo de argamassa e concreto, realizando periodicamente as análises de resistências para garantir a confiabilidade do uso da água.

Palavras-chaves: Água de chuva, resistência à compressão, água para amassamento, tempo de pega.

ABSTRACT

COSTA, Jamy O. **Technical feasibility of rainwater collected from roofs for use in concrete preparation processes.** 2017. 33 pages. Dissertation (Bachelor's Degree) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

Water is an increasingly scarce natural resource because of its unrestricted use and the pollution of water sources. In this way, one must think of more rational alternatives of use aiming at sustainability, to guarantee this resource to the next generations. Research on sustainable use of water investigates the use of rainwater, mainly for non-drinkable uses, as it is an inexpensive way to obtain water. In this context there is a demand for water in building construction for many uses, such as mortars and concrete. For water to be used in the production of mortars and concrete it must meet the requirements of NBR 15900: 2009. In this work, water collected from metallic and ceramic roofs, treated underground water and distilled water were compared to evaluate the technical viability of the use of these waters in civil construction. After the analysis, all the rainwater collected from roofs met the requirements of the standard, reaching at least 90% of the resistance of mortars made with distilled water. The specimens made with water obtained from ceramic roof showed resistance in 28 days curing, of 112.7% in relation to those made with distilled water, probably due to the higher presence of alkaline compounds, which accelerate the cement hydration process, ensuring initial resistance, but not sustaining this resistance over the years. However, metallic roof water was closer to the results of distilled water, with a 95.7% resistance. All analyzed waters met the requirements of the standard and can be applied in the mortar and concrete preparation processes, periodically resistance analyzes to guarantee the reliability of the water.

Key words: Rainwater, compressive strength, water for concrete, setting time.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aparelho Vicat	17
Figura 2 – Misturador mecânico de argamassa	18
Figura 3 – Ensaio de início do tempo de pega	19
Figura 4 – Ensaio de fim do tempo de pega.....	19
Figura 5 – Frações areia normalizada (IPT)	20
Figura 6 – Cimento Portland CP II – Z – 32	21
Figura 7 – Molde corpos de prova.....	22
Figura 8 – Cura dos corpos de prova em tanque d'água	23
Figura 9 – Ruptura de corpos de prova a compressão	24
Figura 10 – Gráfico das médias das resistências dos corpos de prova	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de massa das frações que compõem a argamassa	21
Tabela 2 - Tempo de início e fim de pega	27
Tabela 3 - Valores de diâmetros, força de ruptura e resistência dos corpos de provas	28
Tabela 4 - Resistência dos corpos de prova produzidos com diferentes tipos de água	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 JUSTIFICATIVA	11
4 REFERÊNCIAL TEÓRICO	12
4.1 ÁGUA E SUSTENTABILIDADE	12
4.2 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA	13
4.3 USOS DA ÁGUA EM CENTRAIS DOSADORAS DE CONCRETO	14
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
5.1 AMOSTRAGEM	16
5.2 ENSAIOS	16
5.2.1 DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE PEGA.....	16
5.2.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	20
5.3 ANÁLISE DE DADOS.....	25
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
6.1 TEMPOS DE PEGA	27
6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	28
7 CONCLUSÕES	32
8 REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Atualmente estudiosos veem a água como um recurso finito, pois a água potável como temos atualmente pode ser difícil de obter no futuro. Medidas de conservação da água devem ser tomadas para garantir a sustentabilidade deste insumo natural, sejam estas por reuso (reaproveitamento) ou por aproveitamento de água de chuva.

A captação de água de chuva é uma prática muito difundida em países como Austrália e Japão, pois é uma tecnologia simples que proporciona água com qualidade para fins não potáveis. Águas tratadas, cloradas, e fluoradas deveriam ser reservadas para fins mais nobres, como o consumo humano, direto ou indireto (cozimento de alimentos, higiene pessoal, etc.), e para outros fins que não exigem água pura como lavagem de pátios e jardins, descarga sanitária, irrigações e no setor industrial, incluindo a construção civil, usar-se de águas menos nobres (reuso e água de chuva) (REBOUÇAS, 2004).

Embora existam diversas pesquisas e programas para aproveitamento de água em edificações residenciais para fins não potáveis, ainda se tem carências de estudos na literatura técnica sobre aproveitamento na construção civil, especialmente em se tratando de centrais dosadoras de concreto que utilizam de grandes volumes de água em todo o processo de preparo do concreto (PAULA e FERNANDES, 2015).

Se usada águas de reuso, subterrânea ou aproveitamento da chuva nos processos de preparo do concreto, estas devem atender exigências máximas em parâmetros físico-químicos e/ou mínimas no tempo de pega e resistência à compressão estabelecidos pela NBR 15600:2009.

Nesse contexto, pretende-se com este trabalho viabilizar o uso de água de chuva nos processos de preparo do concreto, verificando as exigências mínimas do tempo de pega e resistência à compressão estabelecidos pela NBR 15600:2009.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar por meio de análise de tempo de pega e resistência à compressão a qualidade da água coletada em sistema de aproveitamento de água pluvial, de telhado metálico e cerâmico, para fim de uso como água de amassamento de concreto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar em período pré-estabelecido volume de água para análise.
- Avaliar o tempo de pega da pasta e a resistência à compressão de corpo de prova de argamassa exigidos na NBR 15900.
- Comparar os resultados das análises com o estabelecido pela norma.

3 JUSTIFICATIVA

A construção civil utiliza água potável para processos de preparo de argamassa e concreto. Empresas de preparo de concreto, as centrais dosadoras de concreto, usam grandes volumes de água todos os dias: 1600 litros para preparo de 8 m³ de concreto e outros 1500 litros para lavagem externa e interna do caminhão betoneira (TSIMAS e ZERVAKI, 2011).

Muitas vezes a fonte de água para preparar concreto é o sistema público de abastecimento ou ainda poços artesianos. A captação da água do sistema público gera custos fixos para a empresa ao fim do mês, e a perfuração de poços artesianos é demorada e dispendiosa, precisando ainda de liberação do órgão competente por meio de diversos laudos técnicos (SUDERHSA, 2006).

O uso de água de chuva pode ser uma forma de obter água barata e sustentável, e se seguido os parâmetros de norma, viável para uso no concreto.

Esta pesquisa visa analisar os parâmetros exigidos pela NBR 15900 para verificar a viabilidade técnica do uso de água de chuva para amassamento do concreto.

4 REFERÊNCIAL TEÓRICO

4.1 ÁGUA E SUSTENTABILIDADE

Á água é parte importante da estrutura de todas as matérias do ambiente natural e antrópico. Sendo um recurso natural renovável e imprescindível para o desenvolvimento dos ecossistemas, e por tanto para a manutenção de toda a vida na terra, incluindo o ser humano. Tendo um poder econômico que influencia diretamente as condições socioeconômicas das populações na terra, por ser empregado em diversas atividades industriais e agropecuárias (COSTA, 2010).

O planeta Terra, que por muitas vezes é referido como o planeta água, possui três quartos da sua superfície recoberto por água (BRANCO, 1993). Deste total 97,5% compõe os oceanos e mares, somente 2,5% constituem água doce, porém 68,9% da água doce está em estado sólido em calotas polares e geleiras, e outros 29,9% são águas subterrâneas, e apenas 0,3% da água disponível no planeta compõem os rios e lagos, que são mananciais mais acessíveis para o homem (REBOUÇAS, 2004).

O Brasil é considera um país privilegiado por possuir grandes reservas de água, 12% das reservas mundiais. Distribuído de forma desigual pelas regiões, sendo que a região Norte possui 68,5% do total, embora a população compõem apenas 7,40% do Brasil. As regiões Centro-Oeste, Sul, Sudeste e Nordeste possuem respectivamente 15,7%, 6,5%, 6,0% e 3,3% das reservas totais do país e 6,85%, 14,91%, 42,61% e 28,23% da população brasileira estão nessas regiões (TOMAZ, 2005).

Por anos a água foi considera um recurso infinito, com fontes abundantes para uso do homem. Entretanto muitos especialistas estão preocupados com o mau uso, a poluição de rios e lagos e a crescente demanda por água, fazendo com que as reservas de água limpas tenham tido um evidente decréscimo em todo o planeta (COSTA, 2010). Pensando nisso diversos países industrializados, como o Japão, Austrália, Estados Unidos, Singapura e a Alemanha, estão investindo seriamente em tecnologias de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis (REBOUÇAS, 2004).

4.2 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

O aproveitamento de água de chuva se faz pela coleta, por meio dos telhados das edificações, da precipitação da água sobre a superfície terrestre. “Precipitação é a liberação de água proveniente do vapor d’água da atmosfera sobre a superfície da Terra, sob a forma de orvalho, chuvisco, chuva, granizo, saraiva ou neve” (VILLIERS, 2002).

Para um bom aproveitamento da água de chuva, deve-se fazer um dimensionamento do sistema de coleta e armazenagem com base na precipitação média da região e área do telhado, para atender a demanda prevista para o uso da água. A água coletada pode ser usada para diversos fins não potáveis como descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins, lavagem de calçadas e carros, sendo estes os principais usos residenciais, e também pode atender demanda de água não-potável no setor industrial, como na construção civil que demanda grandes volumes de água.

Estudos apontam para a necessidade de descartar a água de lavagem do telhado, ou seja, a água proveniente dos primeiros minutos de precipitação. Estas águas podem conter restos orgânicos e poeira depositados sobre o telhado, que podem contaminar a água por compostos químicos e agentes patogênicos (MAY, 2004). Existem dispositivos que fazem esse processo de descarte, por meio manual ou automático, são chamados de dispositivos para autolimpeza. Os automáticos são baseados no peso da água, em boias e no volume (TOMAZ, 2005).

Outro fator importante que deve ser observado é a interligação do sistema de água de chuva com o sistema de água potável municipal, que em hipótese alguma deve ocorrer devido a possibilidade de contaminação da rede pública, esse fenômeno é chamado de conexão cruzada (TOMAZ, 2005).

Por água não potável entende-se que é aquela que não atende a Portaria nº518 do Ministério da Saúde, e uso não potável são aqueles que não envolvam o consumo direto ou indireto da água.

O decreto 24.643/1934 dispõe sobre o uso de águas pluviais no Brasil, o texto diz:

Artigo 102- consideram-se águas pluviais as que procedem imediatamente das chuvas.

Artigo 103- As águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas à vontade, salvo existindo direito em contrário.

Parágrafo único: ao dono do prédio, porém não é permitido:

- I. desperdiçar essas águas em prejuízo dos outros prédios que delas se possam aproveitar, sob pena de indenização aos proprietários dos mesmo;
- II. desviar essas águas do seu curso natural para lhes dar outro, sem consentimento expresso dos donos dos prédios que irão recebe-las.

Parágrafo único: não se poderão, porém, construir nestes lugares ou terrenos, reservatórios para o aproveitamento das mesma águas sem licença da administração.

Há municípios que dispõem de leis municipais para incentivar o uso dessa tecnologia, como é o caso de Curitiba, no Estado do Paraná, onde é obrigatória a coleta de água de chuvas para fins não potáveis. A lei municipal 10785/2003 criou o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (CURITIBA, 2003), este por sua vez regulamenta o uso de água de chuvas em edificações.

A NBR 15527:2007 trata do projeto de dimensionamento do sistema de aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para coleta de água de chuva para fins não potáveis em residências ou usos industriais.

4.3 USOS DA ÁGUA EM CENTRAIS DOSADORAS DE CONCRETO

A NRB 7212:1984 define concreto dosado em central como:

Concreto dosado, misturado em equipamento estacionário ou em caminhão betoneira, transportado por caminhão betoneira ou outro tipo de equipamento, dotado ou não de agitação, para entrega antes do início de pega do concreto, em local e tempo determinados, para que se processem as operações subseqüentes à entrega, necessárias à obtenção de um concreto endurecido com as propriedades pretendidas.

A central de concreto é um conjunto de instalações e equipamentos necessários para o armazenamento, manuseio, homogeneização da mistura, transporte e lançamento do concreto, que assegurem a qualidade exigida (TARTUCE e GIOVANNETTI, 1990). Atendendo os requisitos da NBR 7212:1984.

Há vários tipos de centrais de concreto, classificadas de acordo de como são dispostas (vertical, horizontal ou mista), pelo tipo de controle do proporcionamento dos materiais (manual ou automática), pelo equipamento de mistura (dosadora ou dosadora e misturadora) (MARTINS, 2005). Uma central de concreto abrange serviços de administração, vendas, faturamento, cobrança, programação, controle de qualidade, assessoria técnica, treinamento e aperfeiçoamento profissional.

As principais etapas que consomem água nas centrais dosadoras são: lavagem do caminhão betoneira (dividido em pulverização e lavagem externa, ambas durante a produção do concreto; e a lavagem do caminhão após a entrega); umectação dos agregados; enchimento do reservatório acoplado ao caminhão betoneira e a produção do concreto (PAULA e FERNANDES, 2015).

As atividades que mais consomem água em CDCs são a lavagem de caminhão betoneira aproximadamente 1500 L, e a produção de concreto com cerca de 1600 L para fabricação de 8 m³ de concreto (TSIMAS e ZERVAKI, 2011).

A qualidade da água usada nos processos que envolvem o preparo de concreto é estabelecida pela NBR 15900:2009.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 AMOSTRAGEM

O local de amostragem foi na Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Campo Mourão – Paraná. O câmpus está situado na via Rosalina Maria dos Santos, 1233, saída para Cascavel.

A coleta da água de chuva foi feita considerando dois tipos diferentes de telhados: metálico e cerâmico. O material foi coletado a partir dos telhados dos blocos da universidade e armazenado em recipientes de plástico sem uso prévio, perfeitamente limpos e enxaguados com a água a ser armazenada, além serem hermeticamente fechados.

Comparativamente, foram feitos ensaios com água de torneira coletada da UTFPR, sendo uma água de origem subterrânea e tratada com cloro para uso potável. Ainda foi utilizada água destilada, no qual é considerado como padrão de referência para análise dos resultados, conforme a NBR 15900 (ABNT, 2009)

5.2 ENSAIOS

O controle de qualidade da água para fim de amassamento do concreto foi realizado segundo a NBR 15900, publicada em 19 de novembro de 2009, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A norma estabelece dois tipos de ensaios que podem ser feitos, os químicos e os físicos, de forma independentes uns dos outros, para aceitação da água. Neste trabalho, os ensaios são do tipo físico, sendo eles o tempo de início e fim de pega e resistência à compressão de copos de prova de argamassa.

Os parâmetros determinados e seus respectivos métodos de análises são descritos nos itens abaixo.

5.2.1 Determinação dos tempos de pega

Os ensaios de tempo de pega foram realizados segundo a norma NBR 11581/91 - Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega (ABNT, 1991),

com padronização da água da pasta pela norma NBR 11580/91 – Determinação da água da pasta normal (ABNT, 1991).

Para a realização deste ensaio, primeiramente foi feita a determinação da quantidade de água para fazer a pasta de consistência normal, usando a NBR 11580/91. Para tal, foi utilizado um aparelho Vicat (Figura 1), calibrado e zerado. Então, foi preparada uma pasta de argamassa com um volume de água, podendo variar entre 120 a 150 mL, por meio de tentativa e erro. Depois foi adicionado o cimento, com massa de 500 g, e misturado em misturador mecânico (Figura 2). Depois de pronta a pasta foi colocada na forma cônica e colocada no aparelho Vicat, sobre uma placa de vidro. Então desceu-se a haste até ficar rente à superfície da pasta e sendo ela fixada. Depois, soltou-se a haste para penetrar na pasta e aferiu-se a leitura da penetração em milímetros.



Figura 1 – Aparelho Vicat

A consistência da pasta foi considerada normal quando a penetração da sonda na pasta, após 30 segundos, parou a uma distância de 5 a 7 mm da base do aparelho.



Figura 2 – Misturador mecânico de argamassa

Após a padronização do volume de água, foram feitos os ensaios de início e fim do tempo de pega propriamente ditos. Utilizando do aparelho Vicat, zerou-se o mesmo. Então, foi preparada a pasta padrão com o volume de água previamente normalizado e com a mesma quantidade de cimento (500 g) para todos os tipos de águas analisadas. Para o preparo da pasta foi adicionado o cimento a água e anotado o horário que se deu o contato entre eles, misturando-os no misturador mecânico por 30 segundos em velocidade baixa, aguardou-se 120 segundos com o misturador desligado e posteriormente mesmo foi religado por mais 60 segundos em velocidade alta.

Depois da pasta preparada, ela foi colocada na forma cônica do aparelho Vicat, calibrado e zerado, que recebeu a forma em sua base. Então fez-se aferições regulares para encontrar o tempo de início e fim de pega a cada 20 minutos nas primeiras 2 horas, e a cada 10 minutos nas horas posteriores usando um cronometro digital para marcar o tempo.

Para a averiguar o início da pega (Figura 3), desceu-se a agulha do aparelho Vicat na pasta com a agulha estacionada na superfície da mesma, e observou-se a penetração da agulha na pasta. Quando a agulha penetrou na pasta ficando até um milímetro para se chegar à base do aparelho durante o tempo de 30 segundos, considerou-se o início da pega.

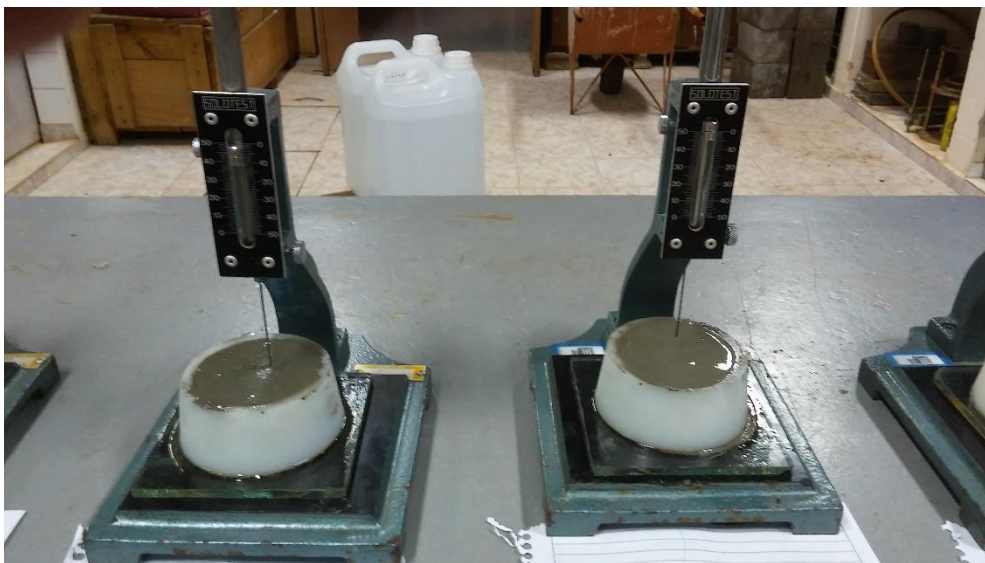


Figura 3 – Ensaio de início do tempo de pega

O fim da pega se deu quando a agulha do aparelho Vicat ficou a até 38 milímetros da base, em três leituras sucessivas no aparelho (Figura 4).

Os resultados do ensaio de tempo de início e fim de pega foram expressos em horas e minutos, sendo esses valores obtidos do tempo transcorrido do momento em que a água e o cimento entraram em contato até o momento de constatação do início da pega e o fim da pega no aparelho Vicat.



Figura 4 – Ensaio de fim do tempo de pega

5.2.2 Determinação da resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão seguiu o modelo proposto pela norma NBR 7215/96 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão (ABNT, 1996).



Figura 5 – Frações areia normalizada (IPT)

Neste ensaio fez-se os corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, compostos por três partes de areia normalizada para ensaio de cimento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), conforme a NBR 7214/82 – Areia normal para ensaio de cimento (ABNT, 1982) (Figura 5), e uma parte de cimento Portland – tipo CP II-Z 32 da marca Votaran (Figura 6), com traço de 1:3 e relação a/c (água/cimento) de 0,48 para todos os tipos de águas analisadas. Suas respectivas massas são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de massa das frações que compõem a argamassa

Material	Massa g
Cimento Portland	624 ± 0,4
Água	300 ± 0,2
Areia normal	
• fração grossa	468 ± 0,3
• fração média grossa	468 ± 0,3
• fração média fina	468 ± 0,3
• fração fina	468 ± 0,3

Fonte: autoria própria, 2017.



Figura 6 – Cimento Portland CP II – Z – 32

Os moldes dos corpos de provas foram de forma cilíndrica com base redonda roscável, ambos de metal, conforme a Figura 7. A superfície interna da forma é totalmente lisa, e passou-se óleo mineral de baixa viscosidade como desmoldante.



Figura 7 – Molde corpos de prova

No preparo dos corpos de provas, primeiramente pesou-se as massas de todos os componentes conforme Tabela 1. Na cuba do misturador mecânico colocou-se toda a água e adicionou-se o cimento aos poucos, batendo a mistura em velocidade baixa por 30 segundos. Após este tempo, e sem paralisar a operação, colocou-se todo o volume de areia em suas quatro frações pesadas anteriormente, e previamente misturadas, misturando por mais 30 segundos. Depois de adicionadas as areias mudou-se a velocidade do aparelho para alta e misturou-se os componentes por 30 segundos. Passado esse tempo, desligou-se o aparelho por 1 minuto e 30 segundos, sendo que nos primeiros 15 segundos, retirou-se com o auxílio de espátula, a argamassa que ficou aderida às paredes da cuba e da pá, juntando com a massa no fundo da cuba. Durante o restante do tempo (1 min e 15 s), a argamassa ficou em repouso dentro da cuba, coberta com pano limpo e úmido. Imediatamente após esse período ligou-se o misturador novamente em velocidade alta por mais 1 minuto.



Figura 8 – Cura dos corpos de prova em tanque d'água

Logo após o preparo da argamassa fez-se a moldagem dos corpos de prova. Com auxílio de espátula, colocou-se a argamassa dentro dos moldes em quatro camada de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com soquete metálico próprio para o ensaio. Ao final do preenchimento do molde fez-se a rasadura do topo dos corpos de prova, por meio de régua, deslizando sobre as bordas e dando um ligeiro movimento de vaivém até a superfície ficar uniforme a borda do molde.

Depois de moldados os corpos de prova, ainda nos moldes, eles foram colocados em câmara úmida, onde permaneceram por 24 h, em processo de cura ao ar. Após as 24 h, os corpos de prova foram desmoldados e identificados, e deu-se início a cura em água, na qual todos foram submersos em tanque de água (não corrente) saturada com cal conforme Figura 8, onde permaneceram até o vigésimo oitavo dia após o processo de moldagem, quando se deu a ruptura dos mesmos.

Decorrido os 28 dias após a moldagem dos corpos de provas deu-se a aferição das circunferências e a ruptura destes. A ruptura foi realizada em máquina de ensaio à compressão automática do laboratório de solos na UTFPR (Figura 9). Os corpos de prova foram inseridos na máquina e ensaiados com uma velocidade de carregamento de $0,25 \pm 0,05$ Mpa/s.



Figura 9 – Ruptura de corpos de prova a compressão

Foram obtidos dois valores de circunferências para cada corpo de prova e feita uma média entre os dois, então, calculou-se a área da seção conforme Equação 1. A partir do resultado da ruptura de cada corpo de prova obteve-se um valor de força em kilonewton (kN) de ruptura. Em posse dessas duas informações, usando a Equação 2, obteve-se a resistência de cada corpo de prova em megapascal (MPa).

$$A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (1)$$

Onde:

A – Área da seção transversal do corpo de prova, em mm²;

D – Diâmetro do corpo de prova, em mm.

$$R = \frac{1000 \cdot P}{A} \quad (2)$$

Onde:

R – Resistência à compressão, em Mpa;

P – Carga de ruptura, em kN;

A – Área da seção do corpo de prova, em mm².

5.3 ANÁLISE DE DADOS

Os valores das replicatas das medidas de resistência à compressão foram avaliados conforme a norma NBR 7215 – Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão (ABNT, 1996), usando a Equação 3, para excluir aqueles que mais se afastaram da média, cujo desvio relativo máximo ultrapassa 6 %.

$$DR = \frac{|R_m - R_i|}{R_m} * 100 \quad (3)$$

Onde:

DR – Desvio relativo máximo, em %;

R_m – Resistência média dos corpos de prova, em MPa;

R_i – Resistência individual do corpo de prova, em MPa

Os resultados foram apresentados pela média das replicatas, com número de repetições válidas variando conforme o experimento, seguida pelo respectivo desvio padrão.

Para analisar os valores médios de resistência foi utilizado o parâmetro da norma NBR 15900 – Água para amassamento do concreto (ABNT, 2009), que estabelece como aceitável os resultados que correspondam a 90 %, no mínimo, da resistência constatada no corpo de prova de referência, produzido com água destilada.

As médias de resistência de todos os experimentos foram submetidas à análise de variância e ao teste de comparação múltipla de Tukey, a 5 % de significância, para verificar se elas eram diferentes entre si. As análises

estatísticas foram executadas pelo software Statistica® 8.0 (StatSoft
Incorporation, Tulsa, OK, USA, 2007).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 TEMPOS DE PEGA

O tempo de pega foi obtido conforme os procedimentos da NBR 11581:1991 e da NBR 11580:1991, cujos dados constam na Tabela 2. Os resultados são expressos em horas e minutos com aproximação de cinco minutos.

O tempo de início de pega é o intervalo decorrido entre o instante em que se deu o contato do cimento com a água e o instante em que se constatou o início da pega no ensaio. E o tempo de fim de pega é o intervalo decorrido entre o instante em que se deu o contato do cimento com a água e o instante em que se constatou o fim de pega no ensaio.

Tabela 2 - Tempo de início e fim de pega

	Tipo de água			
	Telhado Metálico	Telhado Cerâmico	Torneira	Destilada
Início da pega (h:min)	4:10	4:40	4:20	3:50
Fim da pega (h:min)	6:30	6:25	6:05	6:00

Fonte: autoria própria, 2017.

Todos os resultados atenderam a NBR 11581:1991, para os tempos de início e fim de pega. Pois o tempo de início de pega deve ser maior que uma hora e o tempo de fim de pega menor que dez horas para o tipo de cimento CP II – Z. E ainda a diferença entre o tempo de início de pega de todas as águas comparadas a água destilada, tendo aqui como água de controle, foram de até 50 min e o de fim de pega de até 30 min, atendendo a norma ASTM C94 que prevê uma diferença de no máximo 60 min e 90 min para início de pega e fim de pega, respectivamente.

Analisando a Tabela 2, podemos observar que a pasta preparada com água de telhado cerâmico teve o maior tempo de início de pega comparada a água destilada que teve o menor tempo de início de pega, devido provavelmente

às impurezas e presença de íons (KUCCHE et al, 2015), pois telhados cerâmicos acumulam mais partículas suspensas no ar.

6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores dos diâmetros dos copos de prova em duas posições de altura, a médias desses valores, as forças de ruptura obtidas no ensaio dos corpos de prova e as resistências conforme a Equação 2.

Tabela 3 – Valores de diâmetros, força de ruptura e resistência dos corpos de provas

Origem da água	Corpo de Prova	Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Média Diâmetros (mm)	Força (KN)	Resistencia (MPa)
Telhado Metálico	1	50,30	50,50	50,40	37,40	18,7*
	2	50,00	50,10	50,05	46,80	23,8
	3	50,00	50,10	50,05	42,70	21,7
	4	50,10	50,10	50,10	51,30	26,0*
	5	50,20	50,20	50,20	43,70	22,1
	6	50,00	50,00	50,00	48,80	24,9*
Telhado Cerâmico	7	50,20	50,20	50,20	51,20	25,9
	8	50,10	50,20	50,15	57,10	28,9*
	9	50,10	50,10	50,10	51,70	26,2
	10	50,80	50,70	50,75	46,00	22,7*
	11	50,10	50,10	50,10	34,00	17,2*
	12	50,20	50,30	50,25	54,00	27,2
Água de Torneira	13	50,30	50,30	50,30	44,90	22,6
	14	50,20	50,00	50,10	45,40	23,0
	15	50,30	50,40	50,35	46,10	23,2
	16	50,20	50,20	50,20	44,60	22,5
	17	50,30	50,10	50,20	46,10	23,3
	18	50,20	50,00	50,10	42,60	21,6
Água Destilada	19	50,20	50,10	50,15	33,8	17,1*
	20	50,00	50,00	50,00	47,5	24,2
	21	50,20	50,20	50,20	54,2	27,4*
	22	50,10	50,20	50,15	44,6	22,6
	23	50,10	50,30	50,20	49,4	25,0
	24	50,00	50,00	50,00	43,9	22,4

* valores de resistências rejeitados conforme equação 3.

Fonte: autoria própria, 2017.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de resistência dos corpos de prova produzidos com os diferentes tipos de água.

Tabela 4 – Resistência dos corpos de prova produzidos com diferentes tipos de água

Experimento	n*	Resistência (MPa)**
Água destilada	4	23,52 ^a ± 1,26
Água de torneira	6	22,70 ^a ± 0,62
Telhado metálico	3	22,52 ^a ± 1,11
Telhado cerâmico	3	26,44 ^b ± 0,71

* n: número de repetição por experimento. **Letras diferentes na mesma coluna indicam médias significativamente diferentes entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: autoria própria, 2017.

A ANOVA revelou que houve diferença significativa entre os resultados ($p = 0,000465$). As médias das resistências dos corpos de prova elaborados com água destilada, água de torneira e água coletada em telhado metálico foram semelhantes entre si ($p > 0,05$).

A resistência média obtida usando água de telhado cerâmico foi significativamente maior que as demais ($p < 0,05$). Su et al (2001) observou que águas com alta alcalinidade, que contêm cálcio e hidróxido de sódio dissolvidos incorrem em uma alta resistência inicial devido a aceleração de hidratação do cimento e ativação de reação das pozolanas porém não há garantia de resistência a longo prazo.

A NBR 15900:2009 estabelece que para aceitação de águas de origem diferentes do sistema público de abastecimento devem apresentar resistência à compressão igual ou maior que 90 % da resistência de corpo de prova preparado com água destilada.

A Figura 10 mostra o gráfico de barras das médias das resistências dos corpos de prova analisados e o valor correspondente à 90 % da resistência à compressão dos corpos de provas feitos com água destilada, representado pela linha pontilhada no eixo x com valor de 21,17 MPa.

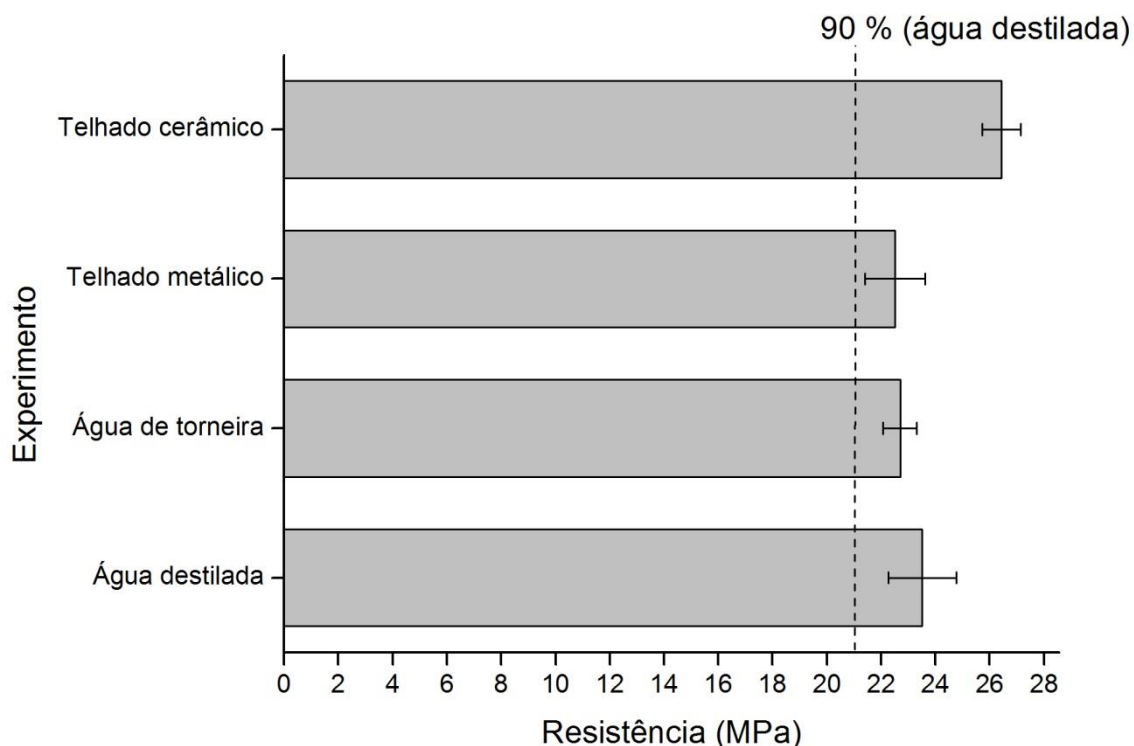


Figura 10 – Gráfico das médias das resistências dos corpos de prova

Pode-se observar que todos os corpos de provas feitos com as águas analisadas possuem resistência maior que o estabelecido pela norma, sendo assim possível seu uso no preparo de concreto e argamassa. Os corpos de prova feitos com água de telhado cerâmico apresentaram uma resistência de 112,4 % em relação a água destilada, enquanto os feitos com água de telhado metálico e de água de torneira tiveram 95,7 % e 96,5 % da resistência, respectivamente.

Neste trabalho foi constatada a viabilidade técnica do uso das águas coletadas dos telhados metálicos e cerâmicos para amassamento de concreto, com foco no atendimento da norma NBR 15900:2009. Contudo, a maior resistência atribuída ao concreto produzido com água de telhado cerâmico pode ser melhor investigada em trabalhos futuros, como a análise por imagem. Pesquisas indicam que a análise de imagens é uma ferramenta poderosa que

aplicada na análise morfológica de concretos, argamassas e pastas de cimento permite assegurar que a associação entre as propriedades e a estrutura do material seja suficientemente compreendida (CAMARINI & FERREIRA JR, 2002).

7 CONCLUSÕES

Todas as águas analisadas atenderam os requisitos exigidos pela NBR 15900 para uso como água de amassamento do concreto, ficando superior a 90 % da resistência dos copos de prova feitos com água destilada. Os valores em relação a resistência a água destilada foram, respectivamente de 112,4 %, 95,7 % e 96,5 % para água coletada de telhado cerâmico, metálico e para água de torneira.

Atenderam também a NBR 11580 quanto ao tempo de pega inicial e final ficando superior a uma hora e inferior a dez horas, e ainda atenderam norma americana ASCM C94 em relação a diferença de tempo de pega das amostras à água padrão (água destilada), requisito este não presente na norma brasileira.

A água de telhado cerâmico se mostrou significativamente diferente das demais água analisadas, isso se deve provavelmente a maior quantidade de impurezas e íons na água que interferem no tempo de pega e na resistência dos corpos de provas, pois alguns compostos agem no processo de hidratação do cimento.

8 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C94**: Standard specification for ready-mixed concrete. Philadelphia, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11580**: Determinação da água da pasta normal. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11581**: Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva – aproveitamento de coberturas de áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de Concreto Dosado em Central. Rio de Janeiro, 1984.

BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. São Paulo: Moderna, 1993. 7-17 ISBN 85-16-00900-9.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o código de águas. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 20 jul. 1934. Seção 1, p. 14738.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº. 2.914, 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 43-49, 04 de janeiro 2012, Seção 1.

CAMARINI, Gladis; FERREIRA JUNIOR, E. L.; "Análise de imagens: um avanço para a tecnologia do concreto.", 08/2002, 44o. **Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON**, Vol. 1, pp.1-1, Belo Horizonte, MG, BRASIL, 2002

COSTA, R. H. P. G. Água: matéria-prima primordial à vida. In: TELLES, D. D. A. e COSTA, R. H. P. G. (Ed.). **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Blucher, 2010. cap. 1, p.1-12. ISBN 978-85-212-0536-4.

CURITIBA. **Lei nº. 10.785, de 18 de setembro de 2003**. Cria no município de Curitiba o programa de conservação e uso racional da água nas edificações. Curitiba, 18 de setembro de 2003.

KUCCHE, K. J.; JAMKAR, S. S.; SADGIR, P. A. Quality of Water for Making Concrete: A Review of Literature. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 5, n. 1. Jan. 2015. ISSN 2250-3153.

MARTINS, V. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos: estudo de caso**. 2005. 185 p (Dissertação). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 p (Dissertação). Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PAULA, H. M. D.; FERNANDES, E. C. Gestão da água em usina de concreto: análise do risco das atividades e monitoramento da qualidade da água residual para fins de reuso. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 1, p. 14-21, jul. 2015. ISSN 2179-0612. Disponível em: <<http://revistas.ufg.br/reec/article/view/32759>>. Acesso em: 10 out. 2016.

REBOUÇAS, A. D. C. **Uso Inteligente da água**. São Paulo: Escrituras Editora, 2004. 19-30 ISBN 85-7531-123-1.

Su, N., Miao, B., and Liu F. Effect of wash water and underground water on properties of concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 32, n. 5, p 777-782. 07 dez. 2001. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00762-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00762-1)>.

TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios básicos sobre concreto de cimento portland**. São Paulo: Ebracon/Pini, 1990.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar Editora, 2005. ISBN 85-876778-23-x.

TSIMAS, S.; ZERVAKI, M. Reuse of waste water from ready-mixed concrete plants. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 22, n. 1, p. 7-17, 04 jan. 2011. ISSN 1477-7835. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/14777831111098444>>. Acesso em: 18 out. 2016.

VILLIERS, M. D. **Água - como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.