

CONTROLE E MONITORAMENTO DE CÂMARA ÚMIDA

Laércio Gouvêa Gomes¹, George Achilles Acácio Robert²

¹Instituto Federal do Pará, Belém, Brasil (laercio.gomes@ifpa.edu.br)

²Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil

Resumo: O objetivo deste trabalho é automatizar uma câmara úmida para cura de corpos de prova de concreto e argamassas, segundo as exigências da ABNT NBR 9479:2006. O desenvolvimento consta de um sistema de controle das grandezas físicas de temperatura e umidade durante o processo de cura do concreto. A finalidade é que seja controlada a temperatura de forma automática usando um sistema não convencional de refrigeração, mantendo assim a umidade sem que ela seja afetada pelo controle de temperatura e instalação de sistemas de distribuição (via aspersão). Durante os testes foram demonstrados que o protótipo apresentou resultados satisfatórios com variações de temperatura em torno de 25°C e umidade relativa em torno de 95%, tendo em vista, que o formato de climatização aplicado, não irá retirar umidade em excesso do ambiente e sim manejar a umidade por meio da fases de condensação e evaporação, a temperatura do fluido foi controlada em torno de -4°C, com um $\Delta T = 4^\circ\text{C}$, que proporcionará uma umidade relativa de 93 - 95%. Consta, ainda, construção de protótipo para câmara úmida para concreto e argamassas com prateleiras para acomodação dos corpos de prova e instalação de drenagem de água. A implementação da câmara úmida compacta busca viabilizar e aprimorar o desenvolvimento de pesquisas científicas e aulas práticas realizadas nas instituições de ciência e tecnologia, garantindo, por meio do adequado procedimento de cura, que as misturas de concreto e argamassas apresentem, em obra, características mais próximas possíveis das especificadas em projeto.

Palavras-chave: câmara úmida; concreto; argamassas; controladores.

INTRODUÇÃO

O uso do concreto e argamassas como materiais de construção e elementos construtivos tem sido cada vez mais comum nas obras atuais devido a capacidade que o material tem de se moldar às invenções do homem (GOMES, 2018; SILVA et al., 2019; GORAYEB JR. et al., 2023). Entretanto, estes materiais podem apresentar comportamento temperamental, e é por isso que técnicas adequadas para utilização devem ser cautelosamente estudadas (RECENA, 2014).

Antes da construção civil, é necessário fazer testes nos materiais que serão utilizados. No caso da argamassa ou do concreto, é feito um corpo de prova através das especificações passadas pela construtora, para futuros testes e para manufatura deste corpo, um dos processos é o de cura em uma câmara úmida (GERROLA, 2011).

O processo de cura necessita ser controlado precisamente atendendo as especificações da ABNT NBR 9479:2006, que estabelece temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade maior ou igual a 95%. A negligência da cura pode causar aumento da fragilidade das construções em concreto, impedindo que atinja seu

máximo potencial de resistência (RECENA, 2014; DINIZ et al., 2015).

A câmara úmida é o local destinado aplicar a técnica de cura simulando os efeitos esperados do meio ambiente natural, sendo necessário o desenvolvimento do protótipo em escala reduzida de forma a reproduzir esses efeitos naturais e otimizar o processo com controle das variáveis, sendo as maiores dificuldades do processo atual, a molhagem manual, refrigeração com diminuição de umidade e sazonalidade operacional, nos compósitos cimentícios, que são materiais de grande resistência mecânica que tem em sua composição materiais cimentícios suplementares, com a finalidade de diminuir o impacto ambiental.

Dessa forma, buscou-se desenvolver um protótipo de câmara úmida, seguindo as exigências da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 9479:2006, a qual estabelece os requisitos exigíveis para câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova utilizados nos ensaios de argamassa e concreto, diminuindo e até eliminando tais dificuldades.

Com o avanço das tecnologias, cada vez mais ouve-se falar em eletrônica embarcada, processos de automação industrial e não poderia ser diferente em

sistemas de climatização (CASTRUCCI; MORAES, 2007). Estas evoluções tecnológicas proporcionaram um maior controle e confiabilidade na qualidade da cura de compósitos em câmaras úmidas.

Os controles de processos de cura em concreto e argamassas podem ser caracterizados de duas formas, uma por controle sequencial, que é um processo baseado em eventos no qual se segue uma sequência até que o processo seja concluído e outro por controle contínuo, onde se tem um monitoramento e ajuste contínuo das variáveis, isso depende de toda a instrumentação, que compreende as variáveis para sua manipulação. As mensurações destas variáveis podem ser feitas de forma simultâneas ou separadas, exigindo sistemas complexos de microprocessadores para o controle eficiente (DUNN, 2013).

Neste sentido, foi desenvolvido um sistema de controle contínuo no monitoramento para câmaras úmidas na qual poderá contribuir com a melhoria no processo de cura realizado atualmente de forma manual. Compreendendo a importância da cura por meio da conservação dos compósitos cimentícios produzidos, implementando de forma direta o controle das variáveis de temperatura e umidade e diante da busca pelo conhecimento das características proporcionadas no concreto através deste processo, o presente trabalho tem como objetivo implementar sistema de controle de temperatura e umidade para uso em câmara úmida.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 mostra as etapas da pesquisa composta do estudo preliminar do tema, aquisição de equipamentos, programação/compilação das placas controladoras, construir maquete de simulação e verificar melhoria do processo.

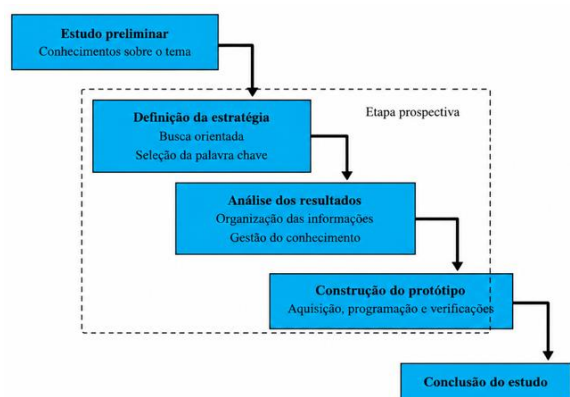


Figura 1. Metodologia de elaboração do projeto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos testes com o protótipo sob condições experimentais mostram as variáveis de temperatura e umidade relativa dentro dos padrões normativos brasileiros (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis experimentais.

Etapa	Temperatura	Umidade Relativa
Compilação	27,9 °C	95,9 %
Configuração	36,7 °C	83,6 %
Superaquecimento	26,2 °C	95,6 %
Controlador	25,9 °C	97,7 %

Após diversos teste operacionais, como controle de temperatura, fora definido que apenas um controlador programado que pode realizar o acionamento das rampas de temperatura e umidade, sendo descartada a placa de comando da condensadora split, de forma a reduzir o consumo de energia elétrica, eliminando um consumidor e diminuindo a quantidade de componentes, a Figura 2 mostra somente o controlador pré-programado realizando o controle das variáveis.



Figura 2. Controlador.

CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho foi desenvolvido um protótipo controlado automaticamente de uma câmara úmida de compósitos cimentícios no intuito de modernizar o processo que atualmente é feito de forma manual. A partir do projeto inicialmente realizado de forma reduzida com a confecção do sistema, o mesmo foi pré-programado para monitorar os estímulos externos recebidos pelos sensores, realizada uma análise criteriosa do sistema de climatização, onde foram avaliados os índices de umidade relativa e caracterizadas as condições de conservação dos compósitos dentro da câmara, foi possível então,



elaborar uma proposta de projeto de automação para a câmara úmida de compósitos cimentícios do IFPA – Instituto Federal do Pará. Reduzindo as falhas do processo de cura dos corpos de prova e a ação do operador em todo o processo, aumentando assim a confiabilidade na cura do cimento verde, com custo reduzido focado na viabilidade e qualidade total.

Com a implementação dessa ferramenta de automação no processo, toda a rotina diária da sala e de quem a utiliza será modificada, tendo em vista que basta que o sistema automático esteja ligado para que o processo aconteça como programado pelo operador.

Iremos então, aumentar a produtividade e eficiência, uma vez que todos os equipamentos e acessórios serão padronizados, testados e comprovarão sua eficácia, sendo através de sensores, controle aperfeiçoado ou feedbacks da interface.

Desta forma, podemos concluir que o projeto de automação da câmara úmida do IFPA, apresentou resultados que de fato comprovaram a viabilidade e implantação do projeto, visando alcançar economia e confiabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal do Pará e a Universidade Federal do Pará por meio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial pelo apoio e a oportunidade de formação a nível de Mestrado Profissional.

REFERÊNCIAS

- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 5738: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 5739: concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATION. [Título não informado]. 1922.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9479: argamassa e concreto – câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: agregados – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11172: aglomerantes de origem mineral – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: aditivos químicos para concreto de cimento Portland – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823: concreto autoadensável. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900: água para amassamento do concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: agregado para concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ATEX. Infográfico: o uso do concreto no mundo. São Paulo: Atex, 2020.

BARBOZA, B. L. Produção de concretos autoadensáveis com baixo consumo de cimento e sua influência na aderência aço-concreto. 2018. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

BASTOS, A. P. O. Análise da influência de aditivos superplastificantes no comportamento de pastas de cimento Portland com e sem adição de fíler calcário. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.



- BAUER, L. A. Falcão. Materiais de construção civil. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995. v. 2.
- BITZER COMPRESSORES LTDA. [Título não informado]. 2021.
- BOTINE, B. B.; CAVINATTO, M.; MENEGOL, N.; OLIVEIRA, J. V. Sistemas de refrigeração. [S.l.: s.n.], 2022.
- CABRAL, S. C. et al. Comparativo do concreto convencional com o concreto autoadensável. Revista Vozes dos Vales, Jequitinhonha e Mucuri, n. 12, p. 1-38, out. 2017.
- CALADO, C. F. A. et al. Concreto autoadensável (CAA): mais do que alternativa ao concreto convencional (CC). Recife: EDUPE, 2015.
- CAMPOS, C. A. Aplicação de concreto autoadensável em lajes moldadas in loco: estudo de caso no setor de edificações. 2013. 90 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- CAVALCANTI, V. P. D.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Avaliação de desempenho energético dos sistemas de condicionamento de ar VAV e VRF. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2020, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: ENTAC, 2020.
- DUNN, William C. Fundamentos de controle industrial e controle de processos. Rio de Janeiro: Technical Books, 2013.
- GERROLA, G. Materiais e ferramentas: ensaio do concreto. Revista Técnica, São Paulo, n. 165, 2010.
- GOMES, [prenome não informado]. [Título não informado]. 2018.
- GORAYEB JR., [prenome não informado] et al. [Título não informado]. 2023.
- MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. Engenharia de automação industrial. 2. ed. São Paulo: LTC, 2007.
- RECENA, F. A. P. Retração do concreto. 1. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014.
- REZENDE, G. H.; NASCIMENTO, M. H. P.; ROSA, P. O. Controle de capacidade de compressor no sistema de refrigeração. Revista de Engenharia Térmica, v. 21, n. 1, p. 45-52, 2022.
- ROBERT, G. A. Acacio. Desenvolvimento do sistema de controle e monitoramento de câmara úmida para compósitos cimentícios. [S.l.: s.n.], [s.d.].
- SALVADOR, K. H. Análise de desempenho de um sistema de refrigeração de uma planta frigorífica industrial. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.
- SILVA, [prenome não informado] et al. [Título não informado]. 2019.
- STORINO, Y. S. C. Estudo e desenvolvimento do sistema de controle e monitoramento de câmara úmida. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.
- TORREIRA, Raul Peragallo. Refrigeração e ar-condicionado. São Paulo: Fulton Editora Técnica, 1979.
- XAVIER, L. R.; TRIGO, A. P. M. Implementação de câmara úmida para cura de corpos de prova de argamassa e concreto no IFSP campus Votuporanga. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IFSP, 2020, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: IFSP, 2020.