



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA - UNIPAMPA
CADASTRO DE PROJETO INSTITUCIONAL



Dados do Projeto

Número de Registro:	2025.PE.AL.4036	Código:	4036
Coordenador:	Fernanda Bianchi Pereira da Costa	Controle:	75612
Área:	Pesquisa	Unidade Origem:	CAMPUS ALEGRETE
Modalidade:	Projeto de Pesquisa	Telefone:	Não consta
Título:	Rumo à Era dos Concretos Inteligentes		
Execução:	De 10/02/2025 a 31/12/2028	Nº de Registro no SIPPEE:	Não consta
Autoriza Publicação Resumo:	Sim	Área de Conhecimento:	Engenharias
Formação Continuada:	Não informado		
Grupo de Pesquisa:	Grupo de Pesquisa em Tecnologia da Construção - GPTEC	Possui interação com o setor produtivo:	Não
Cooperação interinstitucional dentro do país:	Sim	Cooperação interinstitucional fora do país:	Sim
Palavras-chave:	Concreto / Sensores / Monitoramento de edificações		

Resumo do Projeto

O desempenho estrutural do concreto e as técnicas de monitoramento estão sendo ativamente exploradas pela comunidade de pesquisa para avançar o atual estado da prática no gerenciamento estrutural. A Internet das Coisas (IoT - Internet of Things) é uma tecnologia que permite que dispositivos com baixo consumo energético possam estabelecer intercomunicações para a troca constante de dados obtidos através de sensores. A partir da coleta distribuída e em tempo real de informações de monitoramento, é possível obter maior visibilidade do estado da infraestrutura e identificar um conjunto maior de problemas - especialmente aqueles com curta duração como, por exemplo, o atingimento da resistência de concretos em idades iniciais e a verificação do entupimento de pavimentos permeáveis após enxurradas. Estudos recentes trouxeram a primeira tentativa no campo da automação para a previsão da resistência à compressão do concreto em idade precoce usando sensores IoT. Entretanto, pouco ainda foi feito para coordenar o processo de coleta de informações usando essa tecnologia na indústria da construção civil. Isto é particularmente desafiador considerando a necessidade de adaptação de modelos existentes para obter as informações necessárias. Por exemplo, os sensores de temperatura, através dos modelos de maturidade existentes, devem prever a resistência à compressão de concretos em diferentes situações (materiais e condições de cura). Por outro lado, sensores de umidade e vazão, devem reportar as condições de um pavimento permeável (cuja distribuição de porosidade e permeabilidade podem ser extremamente variável) quanto a sua funcionalidade em diferentes locais. Neste projeto, pretende-se investigar, projetar estruturas para monitoramento (de concreto convencional e permeável), modelar analiticamente o comportamento dos materiais e desenvolver software capaz de coletar e agregar os dados transmitidos pelos sensores em tempo real. Dessa forma, o objetivo principal consiste em fornecer informações de monitoramento em qualquer lugar e dispositivo móvel, usando sensores IoT, para prever manifestações patológicas em elementos de concreto. Esperamos que resultados obtidos possam contribuir com esforços de pesquisa relacionados nos próximos anos.

Introdução e Justificativa

No início da década de 80, o conceito de durabilidade tomou ênfase a partir das questões de desempenho, como constituinte das necessidades do usuário, formuladas pela ASTM E 632:1982 (Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials), pela ISO 6241:1984 (Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered) e, mais tarde, no Brasil, pela NBR 6118 em 2003 (Projeto de estruturas de concreto - Procedimento) e NBR 15575 em 2010 (Edificações habitacionais - Desempenho), atualizadas em 2014 e 2013, respectivamente. O crescimento da preocupação com a durabilidade e vida útil das estruturas avançou-se nas últimas duas décadas em função dos crescentes problemas de degradação precoce, das novas necessidades competitivas e das exigências de sustentabilidade. Esta nova visão está, gradativamente, sendo incorporada às técnicas de projeto e dimensionamento, visando garantir a integridade das estruturas por mais tempo. Adicionalmente, fatores relacionados ao clima, como temperatura e umidade, há muito tempo são considerados fatores-chave no procedimento, projeto e construção de novas infraestruturas de concreto, bem como na gestão de estruturas existentes em diferentes regiões. As intensidades de temperatura e umidade variam com o tempo e têm impacto em vários parâmetros estruturais, incluindo a carga de projeto, o tempo de cura do concreto, vida útil e desempenho da estrutura (STEENBERGEN; GEURTS; VAN BENTUM, 2009; STEWART; WANG; NGUYEN, 2011). As decisões sobre reparo, reabilitação, atualização, demolição ou reconstrução de estruturas de concreto são baseadas em várias avaliações estruturais e mecânicas. Para isso, é necessário a consideração cuidadosa dos critérios de desempenho estrutural, além de determinar a causa, o tipo de dano e o impacto dos danos na estrutura em geral. O desempenho estrutural do concreto e as técnicas de monitoramento estão sendo ativamente exploradas pela comunidade de pesquisa para avançar o atual estado da prática no gerenciamento estrutural (TAHERI, 2019). O Monitoramento da Saúde da Edificação, conhecido como Structural Health Monitoring (SHM), visa fornecer, durante a vida útil das estruturas de engenharia civil, informações sobre a qualidade das matérias-primas e o funcionamento de uma única peça ou de toda a estrutura (LAMONACA et al., 2018). A verificação da degradação de estruturas de concreto é realizada, comumente, através de inspeções técnicas visuais e através do uso de ensaios não destrutivos (pacomometria, esclerometria, ultrassom, etc.). Em alguns casos, ensaios destrutivos fazem-se necessários para coleta de informações mais específicas a serem analisadas em laboratório. Estes procedimentos consomem tempo, uma vez que os resultados são fornecidos somente após as investigações laboratoriais. No entanto, a maioria das técnicas destrutivas e não destrutivas não fornecem dados contínuos e em tempo real do monitoramento. Assim, faz-se necessário o uso de sensores inteligentes para ajudar a resolver esse problema. O uso de sensores para monitoramento de concretos (por exemplo: temperatura, umidade, taxa de corrosão, pH, tensão/deformação/fissuração) vem sendo estudado por diversos autores, conforme reportado por (TAHERI, 2019). Estes sensores podem ser colocados no concreto durante sua produção ou ligados à superfície de um elemento para monitoramento, podendo ser

acoplados em estruturas novas ou existentes. Considerando que a obtenção da resistência mecânica de projeto é essencial para a durabilidade das estruturas de concreto, o uso dessa tecnologia possibilita a prevenção de manifestações patológicas, problemas estruturais, além de fornecer mais segurança aos engenheiros, uma vez que o uso de sensores pode indicar o não atingimento dessa propriedade. Dessa forma, a necessidade de moldagem de amostras no canteiro de obras feita, muitas vezes, de maneira inadequada, pode ser substituída por uma técnica mais precisa e com custos substancialmente menor. A previsão da resistência à compressão do concreto através de sensores de temperatura pode ser obtida através do Método de Maturidade (Maturity Method). O método consiste no uso do histórico de temperatura do concreto durante o processo de cura e é adotado por alguns Building Codes, como: CSA A23.1, A23.2; ACI 228.1R, 318, 306R; DOT Specifications e NEN 5970. Assim, os engenheiros são capazes de usar o método ao invés da quebra/extração de amostras em campo. O Índice de maturidade (Maturity index) é correlacionado com a resistência do concreto e sua relação é única para cada tipo de mistura. Para o cálculo do índice de maturidade, três métodos podem ser utilizados: Nurse-Saul (pela temperatura e fator de tempo) e Arrhenius (pela idade equivalente), ambos considerados na ASTM C1074 (ASTM, 2019); e o terceiro método Weighted maturity (baseado em uma norma holandesa adaptado em alguns países da Europa). Todos os métodos usam a temperatura do concreto como o principal parâmetro. O conceito de maturidade vem sendo estudado e aplicado por diversos pesquisadores ao longo dos anos, no intuito de estimar o desenvolvimento das propriedades mecânicas do concreto, relacionando-as com o histórico de temperatura ao longo do processo de cura em ensaios laboratoriais (TOPÇU; TOPRAK, 2005; YIKICI; CHEN, 2015; BEUNAICHA; BURTSCHHELL; ALAOUI, 2016; VOLLPRACHT; SOUTSOS; KANAVARIS, 2018; FERNÁNDEZ et al., 2018; SOUTSOS; KANAVARIS; HATZITHEODOROU, 2018; SOUTSOS; KANAVARIS, 2020). Atualmente, produtos comercializados como o SmartRock1, TEMPCON 2e Concrete Sensors3 estão disponíveis no mercado internacional para monitorar a temperatura e umidade do concreto durante o processo de cura, usando tecnologia de transmissão wireless. Recentemente, houve a primeira tentativa no campo de automação para a previsão da resistência à compressão do concreto em idade precoce usando sensores IoT (IoT - Internet of Things) (JOHN et al., 2020). A Internet das Coisas é a tecnologia que permite que dispositivos com baixo consumo energético (por exemplo, dispositivos que monitoram a temperatura) possam estabelecer intercomunicações para a troca constante de dados obtidos através de sensores (RAY, 2016). A comunicação entre os dispositivos IoT se dá por meio de uma rede de sensores sem fio (WSN - wireless sensor network). O conceito vem sendo amplamente utilizado no contexto de automação industrial e agrícola (de Souza et al., 2020), residencial (Yamauchiet al., 2020), e médica (Pathak; Mukherjee; Misra, 2020) - apenas para citar alguns exemplos. Similarmente à aplicação de IoT em outras áreas do conhecimento, a aplicação de IoT na indústria da construção tem impacto direto na consolidação e geração de novas tecnologias. De acordo com Sun, Staszewski e Swamy (2010) e Abdel-Jaber e Glisic (2016), o desenvolvimento de técnicas Structural Health Monitoring (SHM) mais inteligentes deve-se aos avanços na tecnologia de sensores, comunicações wireless, técnicas de processamento de dados e inteligência artificial, em conjunto com o crescente número de estruturas obsoletas e a pressão para minimizar os custos de manutenção, reduzindo falhas em serviços paradas imprevistas (SUN; STASZEWSKI; SWAMY, 2010; ABDEL-JABER; GLISIC, 2016). Além da previsão da resistência mecânica em concretos convencionais no intuito de evitar manifestações patológicas em estruturas, outro ramo recente que ressalta a necessidade de monitoramento é em pavimentos de concretos permeáveis, material que tem se tornado popular devido a seus grandes benefícios ambientais na gestão de águas pluviais e do desenvolvimento sustentável. Mais do que apenas a drenagem de escoamento das águas de superfície, as suas vantagens incluem o tratamento da poluição da água de escoamento, carregando uma parcela significativa dos poluentes na calçada, além de contar com um tratamento natural de escoamento superficial que mantém grande parte da água até que a mesma possa infiltrar-se no solo ou subleito subjacente, contribuindo na recarga de aquíferos (TENNIS; LEMING; AKERS, 2004). Outros benefícios do concreto permeável incluem a redução do ruído rodoviário, melhorando a resistência à derrapagem, também, minimizando o efeito de ilha de calor em grandes cidades (YANG; JIANG, 2003; TENNIS; LEMING; AKERS, 2004; FERGUSON, 2005), uma vez que captura e precipitação aquecida por pavimentos convencionais, de modo que o escoamento quente não seja descarregado em águas receptoras. Dentro das questões mencionadas, o concreto permeável pode ser considerado como um material novo em aplicações de pavimentação em comparação a pavimentos de concreto convencional. Atualmente, ainda existem uma série de desafios acerca da sua aplicabilidade que precisam ser solucionados. Dentre os principais problemas destacam-se: (i) Manutenção e desempenho a longo prazo - a manutenção periódica do concreto permeável é absolutamente essencial devido à sua estrutura porosa, que está sujeita a colmatção; (ii) Mitigação no efeito de ilhas de calor urbano - embora se saiba que o concreto pode aliviar este efeito, é necessário um extenso estudo para entender as propriedades termofísicas de pavimentos de concreto permeável (CHANDRAPPA; BILIGIRI, 2016). Considerando que não há limites de tempo definidos para realização da manutenção de pavimentos de concreto permeável, o uso de sensores de temperatura, umidade e vazão, através de comunicações wireless, podem auxiliar no monitoramento desses pavimentos. Mais especificamente, o uso de sensores de umidade e vazão podem apontar locais onde houve o entupimento dos poros para manutenção adequada (i.e. através de aspersão, ou de jato de água ou ar). Sabe-se que os pavimentos permeáveis podem apresentar diferentes locais de entupimento ao longo de sua extensão, uma vez que tal fato está relacionado a vegetação, deposição de resíduos, densidade urbana e zona na qual cada trecho está situado. Neste sentido, o monitoramento através dos sensores, implica na possibilidade de manutenção periódica, sem que haja comprometimento da funcionalidade hidráulica do pavimento, principalmente em dias de enxurradas. Os sensores de temperatura, por sua vez, podem apontar e contribuir com o monitoramento da mitigação do efeito de ilha de calor urbano. Conforme mencionado, o concreto permeável possui uma característica diferente que pode auxiliar na mitigação da ilha de calor. Sua estrutura porosa pode servir para isolar parcialmente o sistema do pavimento e o solo, do aumento da transferência de calor. Além disso, os poros do concreto permeável podem transferir e reter as águas pluviais, o que também pode afetar as temperaturas do sistema (LORENZI; HASELBACH; SILVA FILHO, 2015). Alguns estudos realizados por Haselbach et al. (2011) e Kevern et al. (2012) indicam que, embora o concreto tradicional tenha uma refletividade solar muito maior do que uma seção de concreto permeável, os sistemas possuem desempenho semelhante no armazenamento de calor durante o verão, indicando que o concreto permeável pode de fato auxiliar na mitigação do efeito de ilha de calor. Assim, verifica-se que o monitoramento do pavimento através de sensores de temperatura pode contribuir continuamente na avaliação deste efeito para as diferentes estações do ano, e como a condição de colmatção do pavimento pode afetar o seu desempenho na transferência de calor. Com isso, vislumbra-se também a comparação de dados em tempo real, da eficiência de diferentes tipos de pavimentos (convencionais e permeáveis), no intuito de contribuir com o desenvolvimento urbano sustentável.

Objetivos

O objetivo deste projeto consiste em confeccionar e instrumentar elementos de concreto convencional e permeável com sensores IoT no intuito de prever incidências patológicas e possibilitar o monitoramento contínuo dos materiais. Para isso, este projeto se desdobra nos seguintes objetivos: - Projetar dispositivos IoT capazes de transmitir em tempo real e a partir de qualquer lugar (através da Internet) os dados coletados pelos sensores (por exemplo: vazão de água, umidade, temperatura, etc). - Monitorar elementos de concreto convencional através de sensores de temperatura e prever a resistência à compressão para diferentes tipos de cura usando métodos de maturidade; - Projetar uma estrutura composta de uma placa de concreto permeável seguida de um reservatório de água, que possibilite o monitoramento da vazão de água através de sensores. A elaboração do protótipo também visa auxiliar na obtenção de uma metodologia técnica de ensaio laboratorial para avaliação do entupimento dos poros em pavimentos de concreto permeável; - Modelar analiticamente o comportamento dos dados obtidos com relação a vazão do dispositivo de ensaio em placas de concreto permeável com sensores de umidade, e assim possibilitar o uso desses sensores como monitoramento contínuo; - Monitorar a temperatura da base e do topo de placas de concreto permeável no intuito de contribuir com o estudo do efeito de ilhas de calor urbano em grandes centros; - Projetar e Desenvolver um protótipo de software capaz de coletar e agregar os dados transmitidos pelos sensores. Através deste protótipo, vislumbra-se a geração de gráficos em tempo real para a visualização dos dados dos sensores. - Testar com empresas parceiras ou em escala maior em ambientes externos dentro da Universidade (construção de mini pistas), a funcionalidade dos dispositivos desenvolvidos.

Materiais e Métodos

Para atingir os objetivos estabelecidos, será empregada a seguinte metodologia. -- Investigação do estado da arte: A primeira fase do trabalho compreende um estudo acerca dos recentes avanços científicos na área. O processo consiste na identificação e leitura regular e sistemática de artigos apresentados em conferências e publicados em periódicos renomados nas áreas de sensores para concretos, métodos de

previsão de resistência em concretos convencionais, monitoramento e manutenção de pavimentos permeáveis. -- Avaliação experimental de sensores em concreto convencional: etapa de confecção de corpos de prova de concreto e monitoramento a partir dos sensores de temperatura. Para isso, as amostras serão produzidas com diferentes tipos de misturas e submetidas a diferentes processos de cura (i.e. controlado em laboratório e representativo de situações in situ). A partir da obtenção contínua dos dados de temperatura, será avaliado a possibilidade de previsão da resistência através dos métodos de maturidade. Os resultados serão comparados e validados com amostras rompidas em idades determinadas. -- Avaliação experimental de sensores em concreto permeável: etapa de confecção de placas de concreto permeável e de um dispositivo para captação de água e avaliação da capacidade de vazão do material através de sensores de vazão. Além disso, sensores de nível e umidade (na parte inferior e superior) também serão posicionados na placa para verificar a possibilidade de correlação dos dados de vazão e detecção da presença de umidade. As placas serão submetidas ao fenômeno de colmatagem dos poros e o sistema proposto visa verificar a eficácia dos sensores no monitoramento e no auxílio da manutenção do pavimento. Os dados serão também correlacionados aos obtidos tradicionalmente através do método do anel para análise de infiltração in situ da norma ASTM C1701 (ASTM, 2017). -- Projeto e Desenvolvimento de dispositivos IoT para a transmissão em tempo real: essa etapa do projeto prevê o desenvolvimento em hardware da tecnologia capaz de monitorar o ambiente através de sensores (por exemplo: vazão de água, umidade, temperatura, etc) e transmitir os dados coletados continuamente. Exemplos de plataformas possíveis de uso incluem o Arduino e o Raspberry Pi2. Ressalta-se que estudos deverão ser realizados para verificar a viabilidade de utilização dessas plataformas no ambiente da construção civil. -- Modelagem e Avaliação Analítica: esta etapa compreende, primeiramente, avaliação dos modelos existentes para a previsão do comportamento dos concretos (por exemplo: resistência por meio da temperatura). Para isso, serão utilizados os dispositivos IoT desenvolvidos para a coleta de dados e, posteriormente, avaliar-se-á a corretude, eficácia e validade dos modelos existentes, bem como identificar suas principais propriedades e limitações. Após a avaliação preliminar dos modelos existentes, propor-se-á adaptações aos modelos existentes de modo que se adequem à realidade brasileira e a outros tipos de concretos. -- Desenvolvimento de protótipo para plataforma de monitoramento: baseado nos modelos desenvolvidos e avaliados a partir da avaliação experimental e analítica conduzida, nessa fase serão integrados os modelos desenvolvidos com os dispositivos IoT e possíveis plataformas de monitoramento. Primeiramente, sensores distribuídos coletam as informações do ambiente em que se encontram (por exemplo: vazão em pavimentos de concreto permeável). Tais dispositivos deverão transmitir através de tecnologia de transmissão sem fio os dados coletados para um gateway. Gateway é um dispositivo intermediário responsável por concentrar os dados dos sensores antes de enviá-los para a aplicação final. O gateway é responsável por enviar os dados agregados dos sensores para uma aplicação que implementa os modelos analíticos previamente desenvolvidos. Vislumbra-se que a implementação dos modelos seja realizada através de uma plataforma em Nuvem como, por exemplo Amazon EC2 ou Microsoft Azure, as quais permitem acesso a partir de qualquer lugar aos dados. Por fim, uma aplicação móvel deverá implementar a plataforma de monitoramento, a qual consiste em mecanismos de visualização dos dados coletados em tempo real.

Resultados Esperados

As seguintes contribuições são esperadas com o desenvolvimento do trabalho proposto neste plano: 1. a formalização e a avaliação analítica de modelos ótimos capazes de orquestrar a coleta de dados de monitoramento e converter em informações para o auxílio da manutenção de elementos de concreto; 2. contribuir com a elaboração de um sistema de ensaio para verificação da temperatura superficial e do entupimento dos poros de placas de concreto permeável, possibilitando a geração de uma norma técnica e/ou patente; 3. a implementação de um software (aplicativo) para dispositivos móveis que converte os dados de monitoramento obtidos pelos sensores (via internet), em gráficos para acompanhamento em tempo real, possibilitando a geração de relatórios de controle. Nesta etapa, objetiva-se a parceria com concreteiras para avaliação do mecanismo em larga escala.; 4. possibilitar o registro de software e patente. É importante ressaltar que as contribuições não estão restritas somente aos itens enumerados acima. Espera-se que no decorrer do trabalho também exista formação de recursos humanos, resultado da participação de alunos de mestrado e de iniciação científica que possam realizar trabalhos relacionados ao projeto de pesquisa. Neste cenário também se considera como contribuições deste projeto a participação na formação do conhecimento de alunos. Além disso, como contribuição para a ciência e tecnologia, espera-se produzir artigos nas principais conferências e periódicos da área, além de disponibilizar o material desenvolvido abertamente para a comunidade científica. O monitoramento de elementos de concreto através de sensores e software representa uma etapa essencial na direção do amadurecimento e implantação em larga escala de tecnologias emergentes na indústria da construção. O amadurecimento de tais tecnologias permitirá, em um futuro próximo, a implantação de serviços de monitoramento mais dinâmicos, abrangentes e com custo operacional reduzido. Universidades e empresas de tecnologias e do setor da construção poderão trabalhar em parceria no desenvolvimento de artefatos tecnológicos para monitorar elementos de concreto e mitigar o aparecimento de manifestações patológicas. Por fim, o desenvolvimento destes artefatos tecnológicos impactará diretamente na forma como os sistemas de comunicação serão utilizados pela sociedade em geral. Para além dos produtos esperados e impacto potencial, o projeto permitirá o estreitamento de parcerias pré-existentes. Pretende-se intensificar as colaborações entre os grupos de pesquisa da Universidade Federal do Pampa (Unipampa) e o grupo de pesquisa LEM da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Essa aproximação é particularmente importante para o corpo discente da Unipampa, que se encontra geograficamente distante da região metropolitana. Isto permitirá que os alunos da Unipampa possam ter acesso à recursos humanos e tecnológicos disponíveis na UFRGS. Espera-se, ainda, estreitar relações entre a Unipampa e a Lamar University, o que propiciará aos alunos, de ambas as instituições, oportunidades de interação e colaboração nos tópicos estudados. Por último, espera-se ainda fortalecer a relação existentes entre a Unipampa e o Instituto Federal Farroupilha (IFFAR).

Relação Ensino, Pesquisa, Extensão

Através do estudo sobre a tecnologia dos materiais e concretos, o aluno poderá desfrutar do conhecimento adquirido, uma vez que não há pré-requisito de semestre para inserção no projeto, para sobressair-se em disciplinas específicas do curso. Além disso, o aluno poderá atuar em atividades de monitoria em disciplinas relacionadas com o tema e auxiliar seus colegas na compressão do conteúdo através das atividades práticas exercidas. Desta forma, o aluno também poderá despertar interesse dos colegas pela atividade de pesquisa, acompanhando todos os processos de desenvolvimento de novos materiais e como isso traz repercussões positivas para a qualidade das nossas construções, para a segurança jurídica de nossas empresas (expostas aos requisitos de garantia de vida útil que demandam conhecimentos avançados de durabilidade dos materiais) e para a competitividade do estado e do país (pelo uso de materiais mais duráveis, sustentáveis e apropriados a cada ambiente e forma de utilização). A comunidade também será envolvida na conscientização da importância do desenvolvimento de novos materiais para questões de sustentabilidade, e de como isso impacta no desenvolvimento da cidade. O projeto prevê o oferecimento de forma gratuita dos protótipos de monitoramento para setores na região. Assim, o envolvimento do aluno no projeto, irá proporcionar interação com o tripé de atividades (ensino, pesquisa e extensão) que constitui o eixo fundamental da Universidade brasileira.

Referências

ABDEL-JABER, H.; GLISIC, B. Structural health monitoring methods for the evaluation of prestressing forces and pre-release cracks. *Frontiers in Built Environment*, v. 2, n. August, p. 1-9, 2016. ISSN 2297-3362. ASTM. Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. [S.l.], 2017. ASTM. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. [S.l.], 2019. BENAICHA, M.; BURTSCHELL, Y.; ALAOUI, A. H. Prediction of compressive strength at early age of concrete - Application of maturity. *Journal of Building Engineering*, v. 6, p. 119-125, 2016. ISSN 2352-7102. CHANDRAPPA, A.; BILIGIRI, K. Pervious concrete as a sustainable pavement material. *Research findings and future prospects: A state-of-the-art review*. *Construction and Building Materials*, v. 111, 2016. de Souza, P. S.; RUBIN, F. P.; HOEMBERGER, R.; FERRETO, T. C.; LORENZON, A. F.; LUIZELLI, M. C.; ROSSI, F. D. Detecting abnormal sensors via machine learning: An IoT farming wsn-based architecture case study. *Measurement*, v. 164, p. 108042, 2020. ISSN 0263-2241. Disponível em: FERGUSON, B. *Porous Pavements*. New York: Taylor and Francis Group, 2005. FERNÁNDEZ, J. V.; VÁZQUEZ-HERRERO, C.; MENDOZA, C. J.; PIRALLA, R. M.; UNTIVEROS, C. A. Statistical validation of new maturity functions for high-strength self-consolidating concrete mixes. *Construction and Building Materials*, v. 168, p. 931-945, 2018. ISSN 0950-0618. HASELBACH, L.; BOYER, M.; KEVERN, J.; SCHAEFER, V. *Cyclic Heat Island Impacts on Traditional versus Pervious Concrete Pavement Systems*. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, n. 2240, 2011. JOHN, S. T.; ROY, B. K.; SARKAR, P.; DAVIS, R. IoT Enabled Real-Time Monitoring System for Early-Age Compressive Strength of Concrete. *Journal of*

Construction Engineering and Management, v. 146, n. 2, p. 05019020, 2020. ISSN 0733-9364. KEVERN, J.; HASELBACH, L.; SCHAEFER, V. Hot Weather Comparative Heat Balances in Pervious Concrete and Impervious Concrete Pavement Systems. Journal of Heat Island Institute International, v. 7, n. 2, 2012. LAMONACA, F.; SCIAMMARELLA, P. F.; SCURO, C.; CARNI, D. L.; OLIVITO, R. S. Internet of Things for Structural Health Monitoring. 2018 Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT 2018 - Proceedings, n. April, p. 95-100, 2018. LORENZI, A.; HASELBACH, L.; SILVA FILHO, L. C. Field data for heat island mitigation by pervious concrete in porto alegre. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Best Practices for Concrete Pavements. Bonito-MS, Brazil: IBRACON, 2015. p. 1-11. ISSN 2175-8182. Pathak, N.; Mukherjee, A.; Misra, S. Reconfigure and reuse: Interoperable wearables for healthcare IoT. In: IEEE INFOCOM 2020 - IEEE Conference on Computer Communications. [S.l.: s.n.], 2020. p. 20-29. RAY, P. P. A survey of IoT cloud platforms. Future Computing and Informatics Journal, v. 1, n. 1, p. 35-46, 2016. ISSN 2314-7288. Disponível em: . SOUTSOS, M.; KANAVARIS, F. Compressive strength estimates for adiabatically cured concretes with the Modified Nurse-Saul (MNS) maturity function. Construction and Building Materials, Elsevier Ltd, v. 255, p. 119236, 2020. ISSN 09500618. Disponível em: . SOUTSOS, M.; KANAVARIS, F.; HATZITHEODOROU, A. Critical analysis of strength estimates from maturity functions. Case Studies in Construction Materials, The Authors, v. 9, p. e00183, 2018. ISSN 22145095. Disponível em: . STEENBERGEN, R. D.; GEURTS, C. P.; VAN BENTUM, C. A. Climate change and its impact on structural safety. Heron, v. 54, n. 1, p. 3-36, 2009. ISSN 00467316. STEWART, M. G.; WANG, X.; NGUYEN, M. N. Climate change impact and risks of concrete infrastructure deterioration. Engineering Structures, Elsevier Ltd, v. 33, n. 4, p. 1326-1337, 2011. ISSN 01410296. Disponível em: . SUN, M.; STASZEWSKI, W. J.; SWAMY, R. N. Smart sensing technologies for structural health monitoring of civil engineering structures. Advances in Civil Engineering, v. 2010, 2010. ISSN 16878086. TAHERI, S. A review on five key sensors for monitoring of concrete structures. Construction and Building Materials, Elsevier Ltd, v. 204, p. 492-509, 2019. ISSN 09500618. Disponível em: . TENNIS, P.; LEMING, M.; AKERS, D. Pervious concrete pavements. [S.l.], 2004. TOPÇU, I. B.; TOPRAK, M. U. Fine aggregate and curing temperature effect on concrete maturity. Cement and Concrete Research, v. 35, n. 4, p. 758-762, 2005. ISSN 00088846. VOLLPRACHT, A.; SOUTSOS, M.; KANAVARIS, F. Strength development of GGBS and fly ash concretes and applicability of fib model code's maturity function: A critical review. Construction and Building Materials, v. 162, p. 830-846, 2018. ISSN 09500618. Disponível em: . Yamauchi, M.; Ohsita, Y.; Murata, M.; Ueda, K.; Kato, Y. Anomaly detection in smart home operation from user behaviors and home conditions. IEEE Transactions on Consumer Electronics, v. 66, n. 2, p. 183-192, 2020. YANG, J.; JIANG, G. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. Cement and Concrete Research, v. 33, 2003. YIKICI, T. A.; CHEN, H. L. Use of maturity method to estimate compressive strength of mass concrete. Construction and Building Materials, Elsevier Ltd, v. 95, p. 802-812, 2015. ISSN 09500618. Disponível em: .

Unidades e Cursos

Unidade	Curso
Campus Alegrete	Engenharia Civil (ALEC)

Equipe Executora

Nome	E-mail	Tipo	Função	CH Semanal	Período Participação
Aldo Leonel Temp	aldotemp@unipampa.edu.br	Docente	Colaborador	1	De 10/02/2025 a 31/12/2028
Celso Nobre da Fonseca	celsofonseca@unipampa.edu.br	Docente	Colaborador	1	De 10/02/2025 a 31/12/2028
Fernanda Bianchi Pereira da Costa	fernandacosta@unipampa.edu.br	Docente	Coordenador	1	De 10/02/2025 a 31/12/2028
Marcelo Caggiani Luizelli	marceloluizelli@unipampa.edu.br	Docente	Colaborador	1	De 10/02/2025 a 31/12/2028
Simone Dornelles Venquiaruto	simonevenquiaruto@unipampa.edu.br	Docente	Colaborador	1	De 10/02/2025 a 31/12/2028

Parcerias

Instituição	Descrição	Acordo de Parceria?	Convênio Firmado?	Número do Convênio
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Participação do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais - LEME	Sim	Não	
Instituto Federal Farroupilha - IFFar	Colaboração do Prof. Fábio Diniz Rossi na parte do desenvolvimento tecnológico com uso de sensores e programas de monitoramento.	Sim	Não	

Cronograma

Data Início	Data Fim	Atividade	Carga Horária	Local	Membros
10/02/2025	31/12/2028	Investigação do estado da arte		GPTEC	
01/04/2025	31/08/2028	Avaliação experimental de sensores em concreto convencional		GPTEC e LEMAC	
01/04/2025	30/09/2028	Desenvolvimento de protótipos para plataforma de monitoramento (celular, tablet, computador, etc.)		GPTEC	
01/06/2025	31/08/2028	Produção de dois sistemas de ensaio e avaliação experimental dos sensores em concreto permeável		GPTEC e LEMAC	
01/06/2025	31/08/2028	Projeto e desenvolvimento de dispositivos IoT para a transmissão em tempo real		GPTEC	
01/09/2025	31/08/2028	Modelagem, avaliação analítica e adaptação dos modelos existentes para predição do comportamento dos concretos		GPTEC	
01/12/2025	31/12/2028	Redação de relatórios e artigos		GPTEC	
01/03/2026	30/09/2028	Implementar os sensores e sistemas de monitoramento em empresas de produção de concreto para validação e divulgação		Alegrete	

Dados do Fomento

Código	Agência de Fomento	Edital	Total Fomento (R\$)
4101	FAPERGS	EDITAL FAPERGS 10/2021 AUXÍLIO RECÉM-DOCTOR ou RECÉM-CONTRATADO □ ARD/ARC	R\$ 23.500,00

Planejamento de Despesas

Despesas de Custeio	Opção	Valor Estimado (R\$)	Fonte de Financiamento	Especificações
Auxílio a Estudantes (Bolsas)	Necessita	56.000,00	Edital Interno e Externo	PDA, PIBIC, PROBIC
Diárias	Não Necessita	0,00		
Passagens	Não Necessita	0,00		
Material de Consumo	Já Possui	0,00		
Serviços de Terceiros (Pessoa Física)	Não Necessita	0,00		
Serviços de Terceiros (Pessoa Jurídica)	Não Necessita	0,00		
Outros	Não Necessita	0,00		
Total		56.000,00		

Despesas de Capital	Opção	Valor Estimado (R\$)	Fonte de Financiamento	Especificações
Equipamentos e Material Permanente	Já Possui	0,00		

Total Geral de Despesas (R\$): **56.000,00**

Alternativas caso a fonte de financiamento não se confirme: Caso não haja recursos para bolsas, alunos voluntários poderão participar do projeto.

Documento gerado por: Fernanda Bianchi Pereira Da Costa **Data/Hora:** 29/09/2025 às 15:08:36