



# Diagnose e Desenvolvimento de Solução Técnica para recuperação dos pavimentos do Aeroporto de Porto Alegre após a enchente de 2024

Cassio Dias Gonçalves

Diretor de Infraestrutura e Manutenção, Fraport Brasil, Porto Alegre/RS, Brasil, c.goncalves@fraport-brasil.com

Diógenes Luciano Sartor

Gerente de Infraestrutura, Fraport Brasil, Porto Alegre/RS, Brasil, d.sartor@fraport-brasil.com

Douglas Portugal Mendonça

Coordenador de Projetos de Infraestrutura, Fraport Brasil, Porto Alegre/RS, Brasil, d.portugal@fraport-brasil.com

Gesley Henrique Pereira Freitas

Coordenador de Manutenção Civil, Fraport Brasil, Porto Alegre/RS, Brasil, g.henrique@fraport-brasil.com

Marcela Dias Tavares Alves

Analista de Projetos de Infraestrutura, Fraport Brasil, Porto Alegre/RS, Brasil, m.alves@fraport-brasil.com

**RESUMO:** Este artigo apresenta o programa de investigação técnica adotado no diagnóstico dos pavimentos, o processo de conciliação entre a necessidade de soluções técnicas robustas e a agilidade nas tomadas de decisão. O artigo detalha os parâmetros técnicos, ambientais e operacionais considerados nas decisões adotadas durante a escolha da solução para a reconstrução do sistema de pavimentos do Aeroporto Internacional de Porto Alegre, o qual foi seriamente comprometido após mais de 28 dias submerso em decorrência das enchentes de maio de 2024. A metodologia de investigação combinou inspeções visuais detalhadas com ensaios não destrutivos e destrutivos de alta precisão. Foram utilizados equipamentos como FWD (*Falling Weight Deflectometer*), HWD (*Heavy Weight Deflectometer*), Falkorr® - TSDd (*Traffic Speed Deflectometer Device*) e PavScan® para análise estrutural e funcional *in situ*. Complementarmente, ensaios destrutivos em laboratório incluíram *Hamburg Wheel Tracking* (ensaio de Roda de Hamburgo), módulo de resiliência, módulo dinâmico e resistência à tração direta, permitindo uma caracterização aprofundada das camadas existentes. Os dados obtidos fundamentaram a definição da solução de engenharia adotada, conciliando segurança operacional e viabilidade técnica com a necessidade de uma rápida reconstrução... O estudo aborda os desafios enfrentados e a necessidade de garantir durabilidade com alta performance em um contexto de obra emergencial no pós-enchente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aeroporto, Pavimentos Submersos, Investigação Técnica, Enchente e Controle Tecnológico

**ABSTRACT:** This article presents the technical investigation program adopted for pavement assessment, as well as the conciliation process between the need for robust technical solutions and agility in decision-making. It details the technical, environmental, and operational parameters considered in the decisions made during the selection of the solution for the reconstruction of the pavement system at Porto Alegre International Airport, which was severely compromised after more than 28 days of submersion following the May 2024 floods. The investigation methodology combined detailed visual inspections with high-precision non-destructive and destructive testing. Equipment such as the FWD (*Falling Weight Deflectometer*), HWD (*Heavy Weight Deflectometer*), Falkorr® - TSDd (*Traffic Speed Deflectometer Device*), and PavScan® were used for *in situ* structural and functional analysis. Additionally, laboratory destructive tests included *Hamburg Wheel Tracking*, resilient modulus, dynamic modulus, and direct tensile strength, enabling an in-depth characterization of the existing layers. The data obtained supported the definition of the adopted engineering



solution, balancing operational safety and technical feasibility with the need for rapid reconstruction. The study addresses the challenges faced and the need to ensure durability with high performance in a post flood emergency construction context.

**KEYWORDS:** Airports, Submerged Pavements, Technical Investigation, Flood, Quality Control

## 1 INTRODUÇÃO

As enchentes que atingiram o estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024 resultaram na submersão por mais de 28 dias de mais de 90% do sítio aeroportuário do Aeroporto Internacional de Porto Alegre (SBPA). Diante da urgência para a retomada das operações com segurança operacional e eficiência, estabeleceu-se um programa de investigação técnica detalhado para o diagnóstico das condições dos pavimentos, etapa fundamental para a definição das soluções de engenharia subsequentes. Após a análise dos resultados dos ensaios, verificou-se que o período de submersão comprometeu a integridade estrutural dos pavimentos. Considerando a importância estratégica do aeroporto para a logística nacional e internacional, foi necessário desenvolver uma resposta técnica rápida, segura e eficaz.

Este trabalho apresenta a metodologia empregada para o diagnóstico das condições dos pavimentos submersos, as análises técnicas realizadas, a definição da solução executiva e os principais desafios enfrentados na reconstrução emergencial das áreas afetadas. A abordagem adotada priorizou a segurança operacional, a compatibilidade com o ambiente regulatório e a viabilidade técnica dentro das restrições logísticas impostas pelo cenário pós-enchente.

## 2 OBJETIVO DO PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO

O objetivo do programa foi caracterizar estrutural e funcionalmente os pavimentos afetados pela submersão prolongada, utilizando métodos não destrutivos de campo e ensaios destrutivos de laboratório, os quais foram realizados a partir de corpos de prova extraídos do pavimento. O foco do programa de investigação foi obter dados técnicos confiáveis para orientar as decisões de recuperação do sistema de pavimentos, conciliando segurança operacional, agilidade e viabilidade técnica.

## 3 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

### 3.1 Áreas Avaliadas

As atividades de investigação técnica abrangeram integralmente as áreas do sítio aeroportuário que permaneceram submersas durante as enchentes. Para fins de organização e priorização das ações, a pista de pouso e decolagem (PPD) foi segmentada em seis zonas distintas, considerando variáveis como tempo de submersão, histórico de intervenções e intensidade de tráfego.

As investigações abrangeram as seguintes regiões conforme Figura 1 a seguir:

- Pista de Pouso e Decolagem (PPD);
- Pistas de taxiamento (A, B, C, D, E, F, G, J, L, M3, M4, P e Taxilane do Pátio 1);
- Pátios de Aeronaves (Pátios 1, 2 e 3);
- Faixas de Segurança (Faixa Preparada e RESA 11).



Figura 1. Vista geral do Aeroporto com a divisão da PPD por zonas e os locais de realização dos ensaios destrutivos.

### 3.2 Ensaios Não Destrutivos *In Situ*

Visando a determinação da condição estrutural do pavimento, foram definidos ensaios de carga. Tais ensaios compreenderam o uso dos seguintes equipamentos de alta precisão para análise da integridade funcional e capacidade estrutural:

- FWD (*Falling Weight Deflectometer*);
  - HWD (*Heavy Weight Deflectometer*);
  - Falkorr®- TSDd (*Traffic Speed Deflectometer Device*).

Buscando a determinação e análise de danos superficiais presentes nos pavimentos, foram utilizados equipamentos de alta precisão para mapeamento de patologias, sendo eles:

- PavScan® utilizando Sistema LCMS (*Laser Crack Measurement System*);
  - Levantamento de *IRI* (*International Roughness Index*);
  - *Medição do Coeficiente de Atrito (Grip Tester)*.

Nas regiões da Faixa Preparada da PPD e na RESA 11, cuja estrutura é predominantemente composta por materiais granulares, foram realizados ensaios geotécnicos in situ para avaliar a capacidade de suporte do subleito. Os principais ensaios aplicados foram:

- Ensaio de Placa (conforme DIN 18134), com três ciclos de carga, para determinação do módulo de reação da camada de base e sub-base;
  - Ensaio de Piezocene (CPTu), que permitiu a caracterização estratigráfica dos solos, a estimativa de parâmetros de resistência e a identificação de possíveis zonas saturadas ou com alteração de compacidade devido à submersão prolongada.

Esses ensaios forneceram subsídios para avaliação da estabilidade e da integridade das regiões não pavimentadas, cuja manutenção é essencial para a operação segura de aeronaves em situações de contingência, conforme apresentado na Figura 2 abaixo:



Figura 2. Equipamentos de Avaliação e Realização de Ensaios não destrutivos

### 3.3 Ensaios Destrutivos de Campo e Laboratório

Para cada local foi definido um número de extrações, distribuídos espacialmente ao longo da área que esteve submersa, a partir da divisão em zonas. Foram extraídos corpos de prova para os seguintes ensaios:

- Módulo de Resiliência (MR);
- Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT);
- Roda de Hamburgo (HAM);
- Ensaios de Extração de Ligante – Soxhlet (SOX);

As extrações eram definidas como aceitáveis quando o corpo de prova extraído saía íntegro do pavimento e o testemunho apresentava toda a estratigrafia da camada asfáltica intacta, permitindo, assim, a realização dos ensaios.

Somente para a PPD foram extraídas 234 amostras, das quais aproximadamente 35% não apresentaram integridade suficiente para os ensaios laboratoriais. Abaixo, na Figura 3, exemplos das extrações de testemunhos realizadas:



Figura 3. Equipes realizando a extração de Amostras no pavimento

Por conta da grande quantidade de ensaios a serem realizados, optou-se pela distribuição entre laboratórios especializados. Sendo assim, as amostras foram distribuídas entre laboratórios com reconhecimento técnico e institucional, como o LAPAV/UFRGS, LMCC/UFSM e E-vias Engenharia.

Este planejamento, garantiu controle tecnológico independente e multicritério, além do atendimento ao prazo estabelecido para a análise e tomada de decisão. A Tabela 1, apresenta as quantidades de ensaios realizados por área:



Tabela 1. Quantidade de Ensaios por Área

Ensaios	Área	Quantidade
HWD	PPD / TWYs / Pátios	17
FWD	PPD / TWYs / Pátios	17
PavScan®	PPD / TWYs / Pátios	17
Falkorr®	PPD / TWYs / Pátios	17
Extração de CPs (MR, RT, HAM, SOX)	PPD	234
Extração de CPs (MR, RT, HAM, SOX)	TWYs / Pátios	97
Piezocone	Faixa Preparada e RESA 11	20
Ensaios de Placa	Faixa Preparada e RESA 11	20

#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES

O comportamento dos pavimentos frente às solicitações de tráfego, especialmente em ambientes aeroportuários, é complexo e multifatorial. A simulação de carga por impacto, como realizada em ensaios com FWD e HWD, representa uma simplificação da realidade. Nos aeroportos, além das cargas verticais, os pavimentos são submetidos a elevados esforços de torção, cisalhamento e tração, exacerbados pelas manobras de aeronaves pesadas, elevadas pressões de pneus e condições operacionais severas.

Dessa forma, tornou-se imprescindível a avaliação do comportamento constitutivo das camadas asfálticas por meio de ensaios laboratoriais que permitissem a identificação de alterações físicas e químicas nos materiais após a submersão. Os resultados demonstraram perdas expressivas de desempenho. Em alguns casos, foi constatada perda de até 86% da resistência à tração nos corpos de prova extraídos. Os ensaios de Roda de Hamburgo confirmaram a degradação do ligante, indicando colapso prematuro das amostras sob carregamentos cíclicos.

Em função de trabalhos de recuperação pontual, realizados em 2022 e 2023, testes de Resistência à Tração (RT) foram feitos nas misturas aplicadas em diferentes zonas da pista. Ao se comparar valores de RT dos trabalhos anteriores à enchente, verificou-se que esses resultados estavam em conformidade com valores de referência encontrados na literatura, ou seja, atendiam aos requisitos estruturais para aeroportos. Após a realização de ensaios de RT nos mesmos locais, depois do período de submersão, constatou-se que os valores medidos de RT estavam baixos para misturas asfálticas saudáveis.

Mesmo os segmentos recentemente restaurados, antes da enchente, apresentaram deteriorações significativas, observando-se perdas de resistência à tração entre 50% e 86%.

Tais achados corroboram evidências da literatura técnica sobre os efeitos da submersão prolongada na integridade de misturas asfálticas. Alterações nas propriedades reológicas e adesivas do ligante comprometem diretamente a durabilidade e a segurança estrutural. Os impactos projetados incluem redução da vida útil, aumento da suscetibilidade ao trincamento, deformação plástica e possibilidade de rupturas abruptas.

Falhas estruturais localizadas, como deslocamentos, abertura de cavidades e geração de FODs (*Foreign Object Debris*), representam riscos severos à segurança operacional. As amostras colapsadas durante os ensaios são indicativas do potencial de falha súbita em operação real e frequente. Com base nesses dados, recomendou-se a substituição integral das camadas asfálticas da PPD 11-29 que permaneceram submersas, com ênfase na camada de revestimento e nas regiões compostas por PMQ, onde a degradação foi mais severa.

Adicionalmente, destaca-se a importância da análise detalhada das camadas e estruturas do pavimento, uma vez que o sistema foi originalmente projetado para suportar um mix diversificado de aeronaves, conforme apresentado na Tabela 2. Esse mix inclui desde aeronaves leves, como o F-28 e o C208, até modelos de grande porte, como o B747-400 e o A330-200, com elevados pesos brutos e distintos perfis de carga (Tabela 2).

A complexidade dessa frota exige que as estruturas do pavimento sejam altamente resistentes não apenas às cargas verticais cíclicas, mas também aos esforços compostos gerados por diferentes configurações de trem de pouso, frenagens, acelerações e desacelerações, pressões de pneus e frequências de operação. O comportamento mecânico das camadas, especialmente em relação à deformação permanente e à fadiga, está diretamente vinculado à capacidade de resposta do pavimento a estes requisitos operacionais.



Portanto, a compatibilidade entre o projeto estrutural do pavimento e o tráfego real previsto ao longo dos anos é fundamental para garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho da infraestrutura aeroportuária.

O cenário avaliado reforçou a necessidade de adoção de soluções robustas e tecnicamente embasadas para reabilitação das áreas afetadas, considerando os danos provocados pela submersão.

Tabela 2. Mix de Aeronaves

Aeronave	Peso bruto (ton)	Saídas Totais (20 anos)
A319	75,5	149.340
A320	77,0	504.820
A321	93,5	35.240
A330-200	230,0	5.000
ATR72	22,8	100.460
B727-200	78,1	5.980
B737-300	68,0	2.100
B737-700	60,6	124.480
B737-800	78,0	479.880
B737-900	85,3	75.780
B767-300	158,7	160
B747-400	397,8	60
B777-300 ER	334,0	60
B787-900	243,85	5.960
C208	3,8	2.040
E190	51,8	5.340
E195	52,7	30.520
E295	23,2	28.140
F-28-1000/2000	22,8	77.280

## 5 DESAFIOS E ESTRATÉGIAS ADOTADAS

Verificando-se a necessidade de recuperação das camadas asfálticas que ficaram submersas, o cenário pós-enchente impôs desafios técnicos e operacionais sem precedentes. A magnitude da crise exigiu a mobilização imediata de uma equipe multidisciplinar robusta, com integração direta entre os principais envolvidos: ANAC, Fraport Brasil, empresas contratadas, consultores técnicos, projetistas, órgãos de fiscalização e universidades. A sinergia entre esses agentes foi essencial para alinhar cronogramas, aprovações regulatórias e parâmetros técnicos de desempenho.

A tomada de decisão precisou ocorrer em tempo real, enquanto os ensaios ainda estavam sendo realizados e os projetos executivos estavam em desenvolvimento. Assim, foi adotada uma estratégia de simultaneidade entre diagnóstico, projeto e execução, permitindo ganho de tempo sem comprometer a qualidade técnica. A estratégia de priorização de ativos e a divisão dos trabalhos em etapas delineou quais ensaios seriam feitos primeiro e em quais regiões, dessa forma, recebendo os resultados dos ativos priorizados primeiro e, então, definindo-se soluções técnicas para o início dos trabalhos.

Para uma abertura parcial do aeródromo em outubro de 2024 concentrando-se, inicialmente, no atendimento de voos domésticos, com limitação de horários de operação entre 08h00 e 22h00, eram necessários no mínimo 1.800 metros de pista de pouso e decolagens, a liberação de 6 posições de contato no Pátio 1, TWYs M4, F, E e parte da TWY D operacionais. Foram utilizadas três equipes de extração de corpos de prova. Duas dedicadas às três zonas da PPD que compreendiam a abertura parcial e a outra nas TWYs e Pátio. Nos três laboratórios contratados, os ensaios foram conduzidos de maneira que cada ativo tivesse pelo menos um resultado disponível de cada ensaio antes de se fazerem novos ensaios da mesma região. Essa abordagem trouxe um panorama geral dos ativos priorizados antes das confirmações estatísticas dos demais corpos de prova por ativo ou zona da PPD. Já de posse dos resultados iniciais, consultores e projetistas foram informados e começaram a trabalhar em projetos. Esses projetos foram sendo refinados conforme o andamento das investigações. A tomada de decisão da solução técnica de reconstrução foi pautada no conjunto de informações fornecido tanto pelos ensaios destrutivos quanto pelos ensaios não destrutivos, bem como por análises



funcionais e inspeções técnicas. Uma abordagem que se mostrou acertada, pois houve uma convergência nos resultados encontrados.

Posteriormente, para a abertura total em dezembro de 2024 já prevendo o atendimento de voos internacionais e sem restrição de horário para operações, os trabalhos de investigação e diagnóstico foram conduzidos concomitantemente com os trabalhos de desenvolvimento de projetos e os trabalhos de reconstrução que já haviam sido iniciados para a abertura parcial. A metodologia de priorização e divisão por etapas indicada para a abertura parcial foi mantida.

Ressalta-se que os trabalhos foram realizados 24h por dia, 7 dias por semana, com o objetivo de atender aos prazos compactuados com todos os envolvidos no cenário de crise e com a sociedade gaúcha. Para viabilizar essa abordagem, foi imprescindível o uso de ferramentas modernas de controle tecnológico, gestão integrada de informações, gestão e controle de projetos e uma comunicação direta e transparente entre os canteiros e os centros de decisão. Com os cenários mudando de forma dinâmica durante a reconstrução, a proximidade dos profissionais envolvidos e a atualização de informações aos gestores pelo menos três vezes ao dia (manhã, tarde e noite) foi essencial para que os trabalhos acontecessem de forma simultânea e sem atrasos.

Outro desafio crítico foi a necessidade de desenvolver e aplicar materiais asfálticos de alto desempenho em curto tempo. Tais materiais já estavam sendo usados previamente a enchente por serem capazes de atender aos critérios de resistência e durabilidade exigidos pelo ambiente operacional severo. Nesse contexto, foi utilizado o mesmo ligante altamente modificado por polímero (*HiMA – Highly Modified Asphalt*). Ressalta-se que a Fraport Brasil também já tinha histórico de sucesso com o uso desse material no Aeroporto de Fortaleza em 2023.

A utilização de uma mistura balanceada com HiMA proporcionou à mistura asfáltica propriedades superiores de resistência à deformação permanente, trincamento por fadiga e durabilidade frente à ação da água e cargas concentradas. A aplicação do HiMA mostrou-se estratégica para garantir ganho de vida útil, reduzir intervenções futuras e manter elevados níveis de segurança operacional, reestabelecendo os pavimentos do aeroporto a suas condições estruturais pré-inundação, ou seja, a capacidade de suporte manteve-se idêntica.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reconstrução do sistema de pavimentos do Aeroporto Internacional de Porto Alegre, após as enchentes de maio de 2024, evidenciou a relevância de uma abordagem técnica estruturada e multidisciplinar, especialmente diante da urgência imposta por um evento extremo. O programa de investigação técnica, conduzido sob pressão temporal e com critérios rígidos de qualidade e segurança operacional, foi essencial para garantir decisões fundamentadas na engenharia.

A integração e sinergia entre inspeções visuais, ensaios não destrutivos de alta precisão e análises laboratoriais destrutivas permitiu uma avaliação abrangente da integridade dos pavimentos submersos. Os dados indicaram comprometimento crítico das camadas asfálticas, confirmando a necessidade de substituição integral de trechos e a adoção de materiais de alto desempenho, como o HiMA. Os materiais que compõem as camadas asfálticas perderam até 86% de sua resistência à tração. A deterioração do ligante asfáltico foi evidente nos ensaios de Roda de Hamburgo, revelando perda de adesividade e coesão da fração betuminosa. Como consequência, observou-se o colapso de diversas amostras, durante os ciclos de carregamento, o que evidencia falhas estruturais em potencial sob tráfego real.

A metodologia de resposta adotada neste projeto demonstrou que a simultaneidade entre as fases de diagnóstico, projeto e execução é não apenas viável, mas necessária em contextos de reconstrução emergencial. Essa integração só foi possível graças à mobilização de uma equipe técnica experiente, alinhada a um plano de governança claro, capaz de sincronizar decisões entre concessionária, projetistas, construtoras, laboratórios e órgãos reguladores.

Outro ponto crítico foi o domínio tecnológico necessário para viabilizar soluções inovadoras, conciliando durabilidade com restrições logísticas severas. A gestão da informação técnica, tanto no monitoramento dos ensaios quanto na atualização constante de projetos executivos, foi central para que os resultados fossem alcançados no prazo, com elevados padrões de qualidade e segurança.

Como contribuição para a engenharia aeroportuária, este trabalho reforça a importância de manter planos de contingência técnica atualizados, equipes capacitadas e protocolos de monitoramento contínuo. A experiência adquirida pode servir como referência para resposta rápida em eventos climáticos extremos, que



tendem a se intensificar nos próximos anos. A articulação entre ciência aplicada, engenharia de campo e governança institucional foi determinante para o sucesso do projeto e pode ser replicada em outros sítios aeroportuários brasileiros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas parceiras Traçado Construções, TÜV Rheinland, Dynatest Latam (Strinso), RoadRunner Engenharia, Pavesys Engenharia, Intertechne, Telear Tecnologia em Aeroportos, Fundare e Geoforma, cujo comprometimento foi fundamental para a realização deste projeto em tempo recorde.

Agradecemos, também, aos laboratórios LMCC (Universidade Federal de Santa Maria), LAPAV (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e E-vias Engenharia, pelo suporte técnico e pela agilidade na condução dos ensaios e análises.

Reconhecemos o importante apoio das entidades governamentais, representadas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Ministério de Portos e Aeroportos, cuja atuação foi decisiva para a viabilização e celeridade dos trabalhos realizados.

Por fim, registramos nosso especial agradecimento a toda equipe da Fraport Brasil, pelo respaldo técnico, pela excelência na gestão, pelo comprometimento profissional e pelo suporte contínuo nas tomadas de decisão ao longo de todas as etapas do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asadi, M., N.M. Kottayi, C. Tirado, R.B. Mallick, A. Mirchi, and S. Nazarian. (2019). “*Framework for Rigorous Analysis of Moisture-Related Structural Damage in Flexible Pavements.*” *Transportation Research Record*, Washington, DC, EUA.
- Figueroa, A.S., R. Velasquez, R.L. Fredy, and H. Bahia. (2013). “*Effect of Water Conditioning for Extended Periods on the Properties of Asphalt Binders,*” *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2372, pp. 34-45
- Fraport Brasil. (2024). “*Plano de Sondagens Lado Ar – SBPA – PPD 11-29,*” Comunicação interna. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Gaspard, K., M. Martinez, Z. Zhang, and Z. Wu. (2007). “*Impact of Hurricane Katrina on Roadways in the New Orleans Area,*” Technical Assistance Report (No. 07-2TA). *Louisiana Transportation Research Center*, Baton Rouge, LA, EUA.
- Helali, K., M. Robson, R. Nicholson, W. Bekheet. (2008). “*Importance of a Pavement Management System in Assessing Pavement Damage from Natural Disasters: A Case Study to Assess the Damage from Hurricanes Katrina and Rita in Jefferson Parish, Louisiana,*” 7th International Conference on Managing Pavement Assets, Calgary, Alberta, Canada.
- Pires, G. M., e J. A. O. Moscoso. (2024). “*Avaliação Estrutural da PPD 11-29, Aeroporto Internacional Salgado Filho (SBPA),*” Relatório Técnico, Dynatest Latinoamérica y Caribe
- Sol-Sánchez, M., F. Moreno-Navarro, G. García-Travé, M.C. Rubio-Gámez. (2015). “*Laboratory Study of the Long-term Climatic Deterioration of Asphalt Mixtures,*” *Construction and Building Materials*, Vol 88, pp. 32-40