ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
Programa de Pós-Graduação
ENGENHARIA CIVIL

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC

A PIEZOELETRICIDADE E SEU USO EM MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS

Souza, D. A.; Espinosa, L. e Giusti, W.

Alunos: Daniel Souza, Leidy Espinosa e Wandressa Giusti
Professores: Antonio Figueiredo e Renata Monte

São Paulo
2019

SUMÁRIO

- Introdução
- Piezoeletricidade – Materiais Piezoelétricos
- Nanotubos de Carbono
- Aplicação: Nanotubos de Carbono usados para monitoramento de estruturas
- Conclusão
- Referências

INTRODUÇÃO

Nanomateriais

Propriedades diferenciadas:

- Mecânicas;
- Térmicas;
- Elétricas.

Nanocompósitos

- Enchimento da matriz;
- Polímeros com 0.1% - 1% de nanotubos (massa), atuam como estruturas auto-sensitivas;
- Aumentam o travamento das moléculas, evitando sua movimentação (força de Van der Waals);
- Propriedade depende da homogeneidade e Dispersão na matriz.

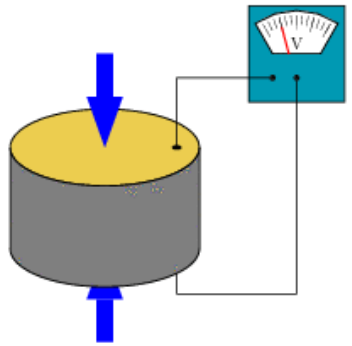
Nanotubos

No concreto:

- Melhora das propriedades mecânicas nos ensaios de compressão e tração;
- Reduz o tamanho dos poros;
- Monitoramento de estruturas por PIEZOELETRICIDADE.

PIEZOELETRICIDADE – Materiais Piezoelétricos

Ao ser aplicada uma força externa que provoca uma deformação no material, é criado um campo elétrico, o qual é chamado de polarização elétrica. Essa deformação produz um rearranjo das cargas elétricas do material.



A sensibilidade do sensor é medida através do ***gauge factor*** (Sg), que relaciona a variação na Resistencia elétrica do material com sua deformação axial.

$$S_g = \frac{\Delta Rn}{\Delta \varepsilon}$$

Quais materiais?

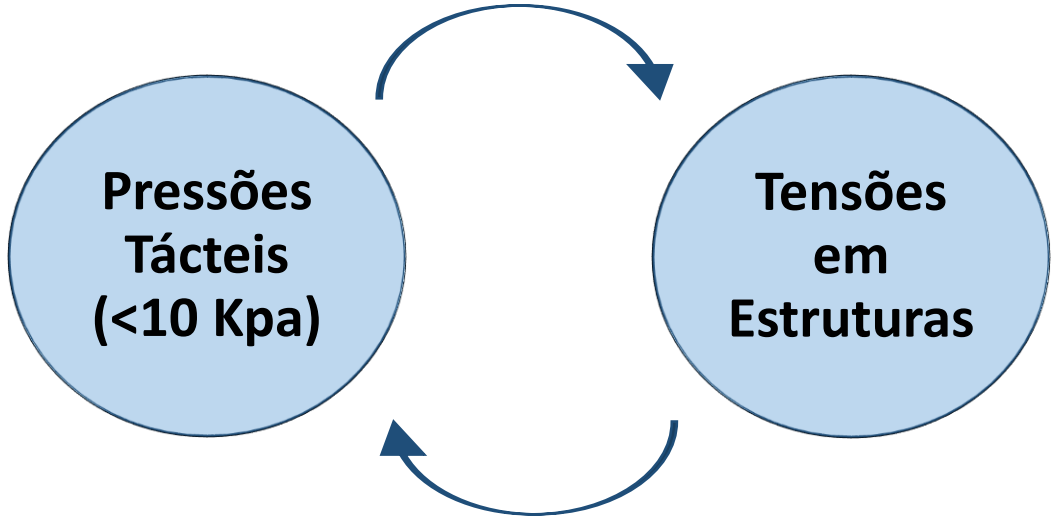
- Materiais cerâmicos
- Alguns poliméricos

PIEZOELETRICIDADE – Materiais Piezoelétricos

O alto valor do ***gauge factor*** dos nanotubos, cerca de 20 vezes superior aos strain gages convencionais garante a alta sensibilidade e gama de aplicações dos nanotubos.

Aplicações

- Biológica
- Estruturas de Concreto
- Estruturas de Aço
- Aviação Comercial/Militar



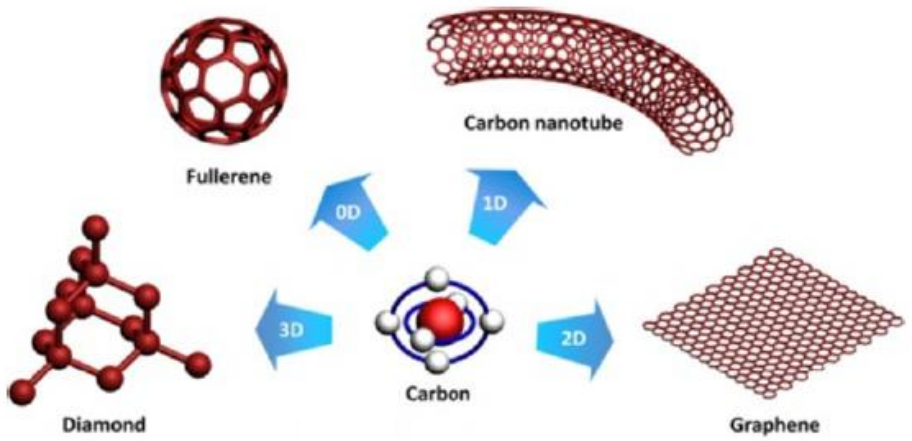
Nanotubos

Estrutura

Nanotubos de carbono (CNTs) são formas alótropas do carbono ligadas, entre si, por ligações covalentes. Sua estrutura consiste em uma única lâmina de grafita, enrolada na forma de tubo e com ambas extremidades fechadas com hemisférios de fulerenos.

Diâmetro: 3 nanômetros

Comprimento: 1000 nanômetros

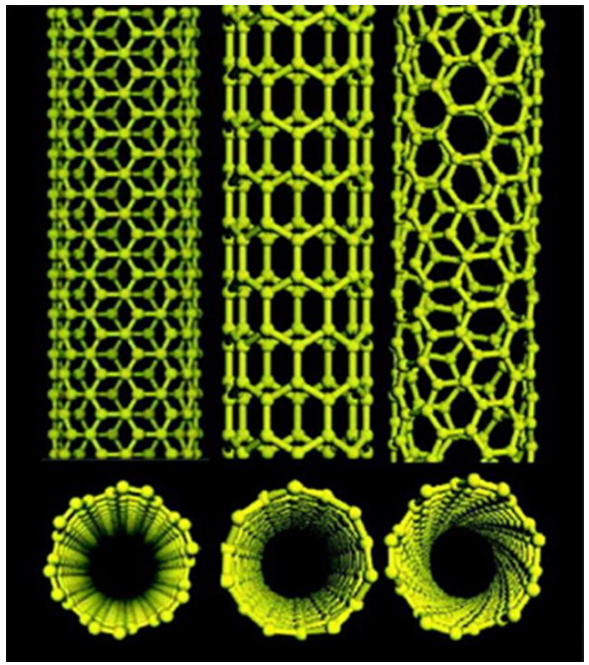


Fonte: Chae e Lee (2014)

Nanotubos

Comportamento

Ligação dos átomos de carbono e orientação e diâmetro dos hexágonos em relação ao eixo do tubo → determinam o comportamento do material.

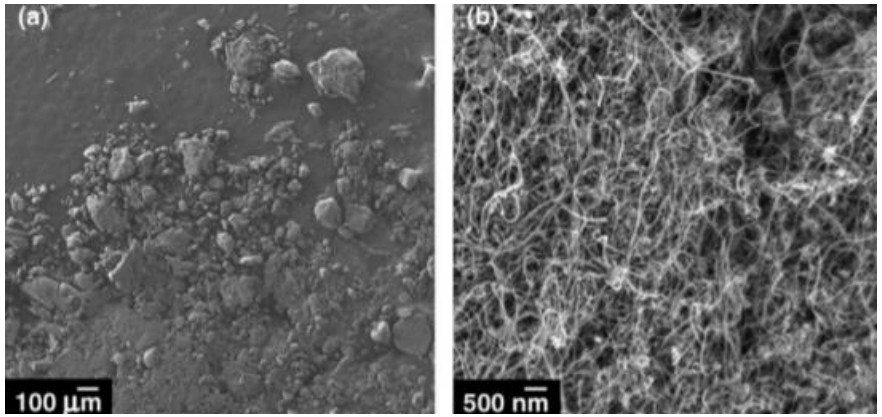


https://www.researchgate.net/profile/Hussen_Mohammed/publication/329529317_Carbon_Nanotube/links/5c0e44a1299bf139c74dd563/Carbon-Nanotube?origin=publication_detail

Nanotubos

Propriedades

Mecânicas: resistem a tensões elevadas, sustentam altos níveis de deformação elástica e possuem elevada rigidez elástica (1Tpa).



https://www.researchgate.net/publication/283176519_Self-sensing_carbon_nanotube_composites

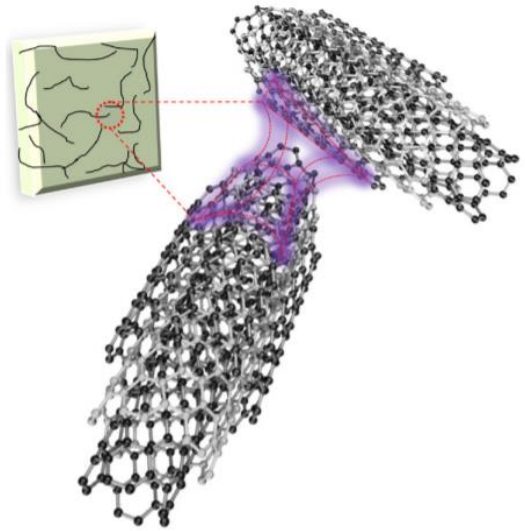
Micrografias eletrônicas de varredura de nanotubos de carbono que mostram:
(a) aglomeração.
(b) entrelaçamento em nanoescala e intertravamento dos nanotubos de carbono.

Nanotubos

Propriedades

Térmicas: estáveis termicamente a 750ºC.

Elétricas: condutividade elétrica 1000 vezes superior ao cobre e Piezoeletricidade.



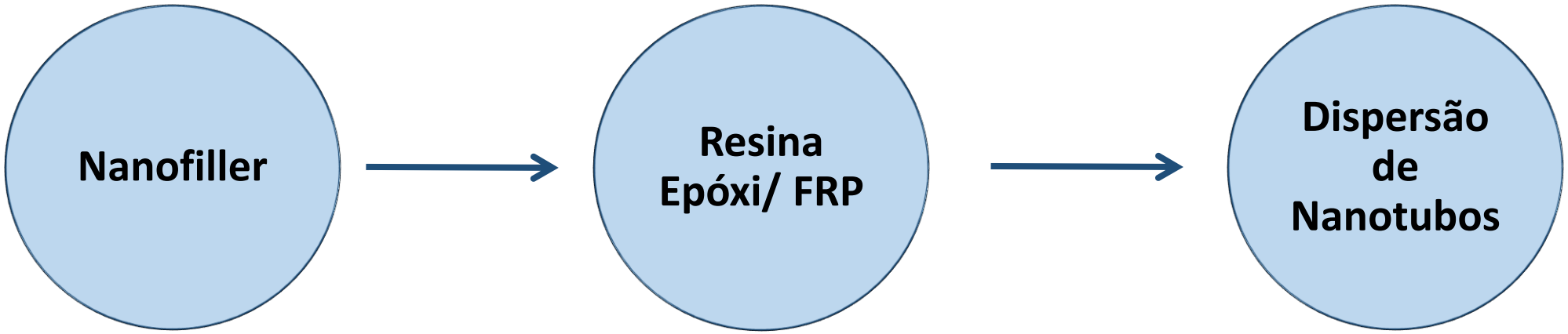
https://www.researchgate.net/publication/283176519_Self-sensing_carbon_nanotube_composites

Diagrama esquemático mostrando tunelamento elétrico CNT – em um condutor elétrico nanocompósito.

APLICAÇÃO

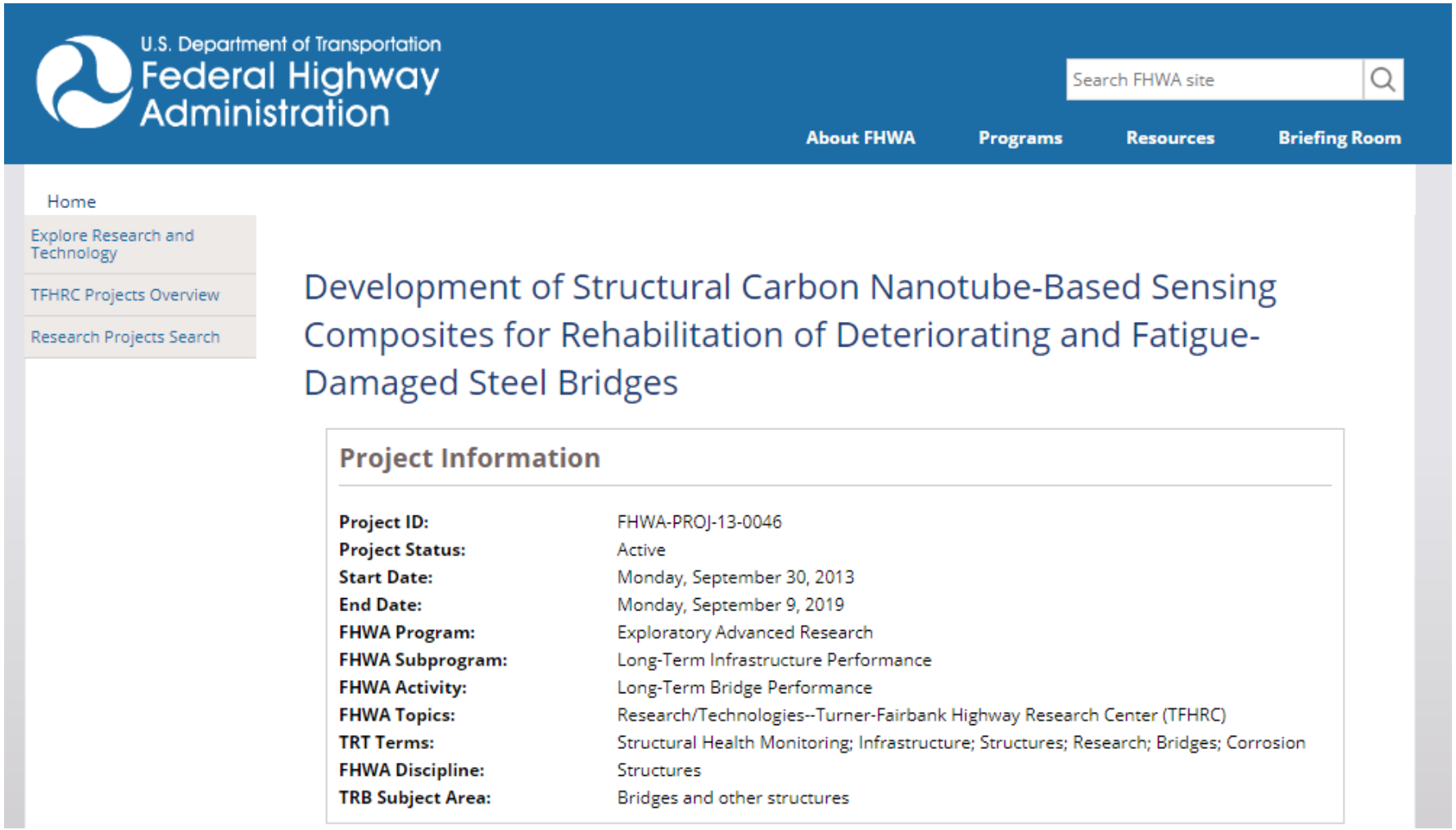
Monitoramento de Estruturas

Existem diversas técnicas para a incorporação dos nanotubos no monitoramento de estruturas:



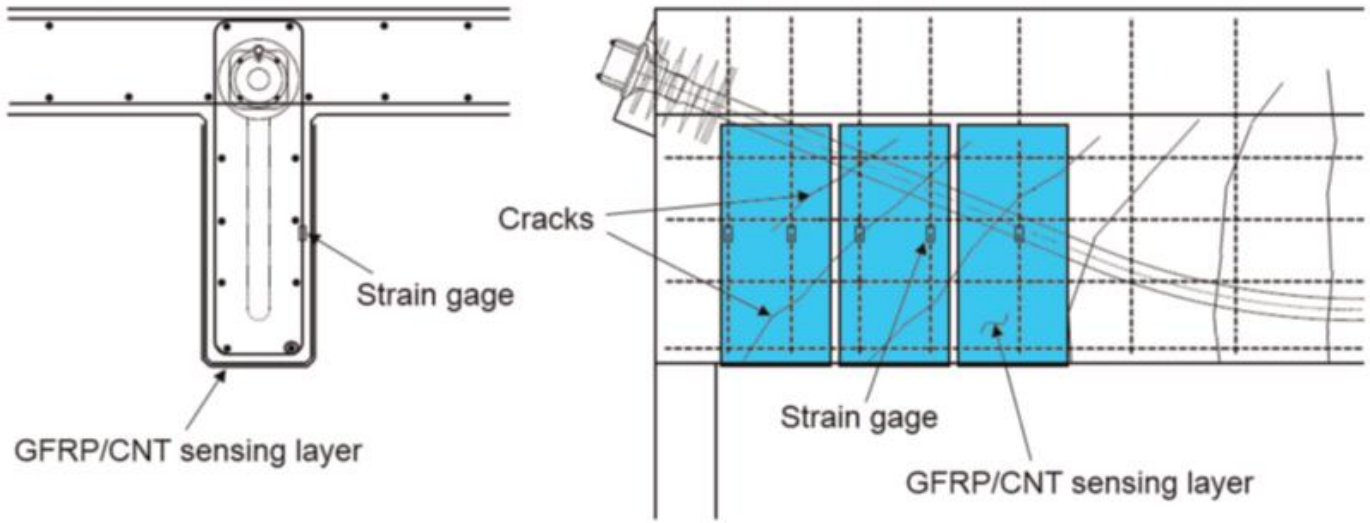
APLICAÇÃO

Monitoramento de Estruturas



APLICAÇÃO

Monitoramento de Estruturas de Concreto



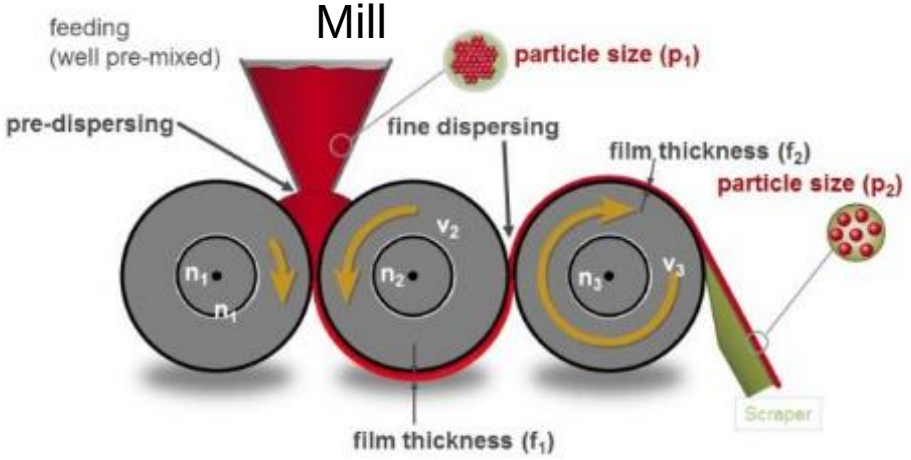
Distribuição dos sensores em uma viga protendida (a) seção transversal (b) face
GFRP: glass fiber–reinforced polymers; CNT: Nanotubo de Carbono.

- Uma camada de CNT foi aplicada na face inferior da viga, que se deforma e permite a localização e predição das zonas mais suscetíveis à fissuração.
- Uma das vantagens dessa técnica é a possibilidade de ser utilizada no retrofit de estruturas já existentes.

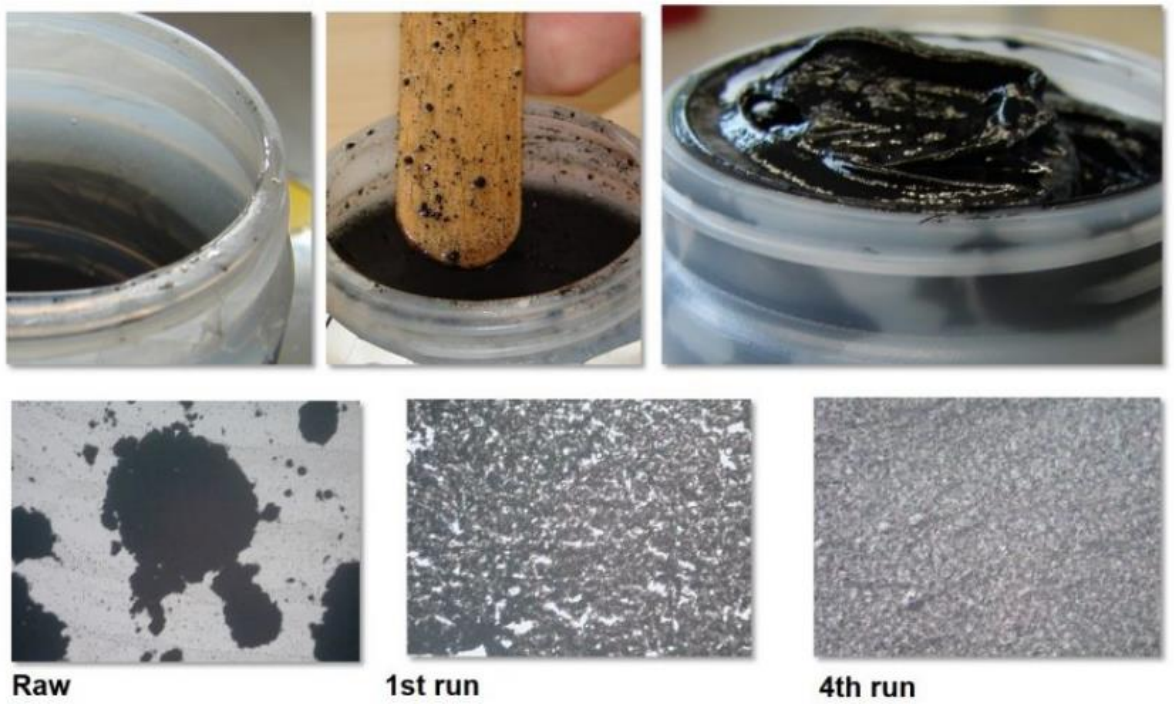
APLICAÇÃO

Monitoramento de Estruturas de Concreto

Three Roll Mill

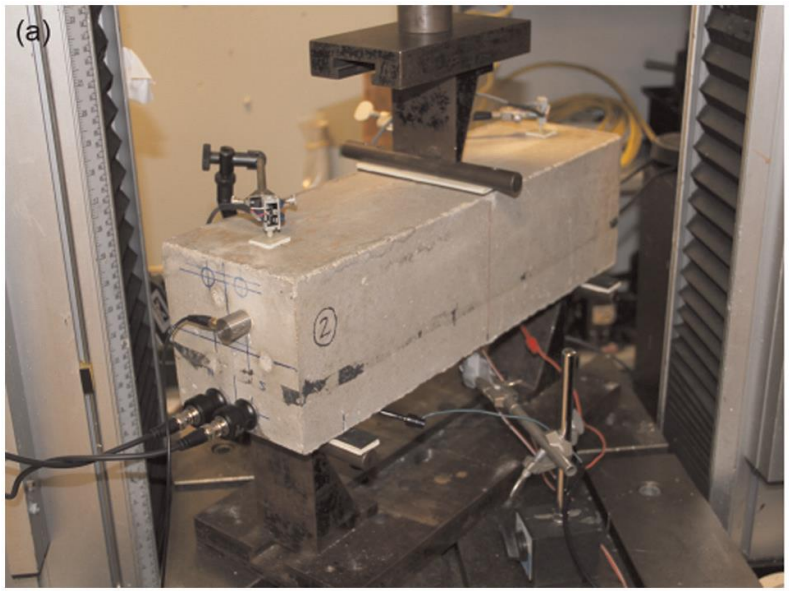


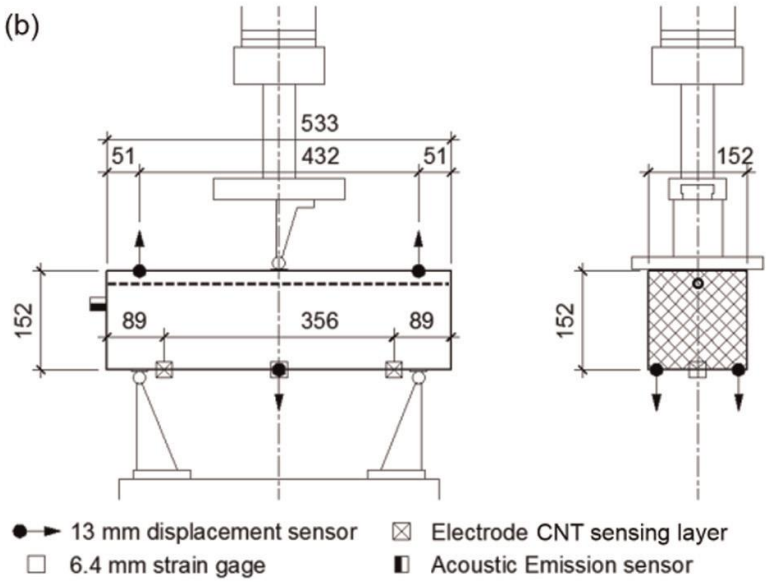
Dispersão dos Nanotubos em Resina Epóxi.



APLICAÇÃO

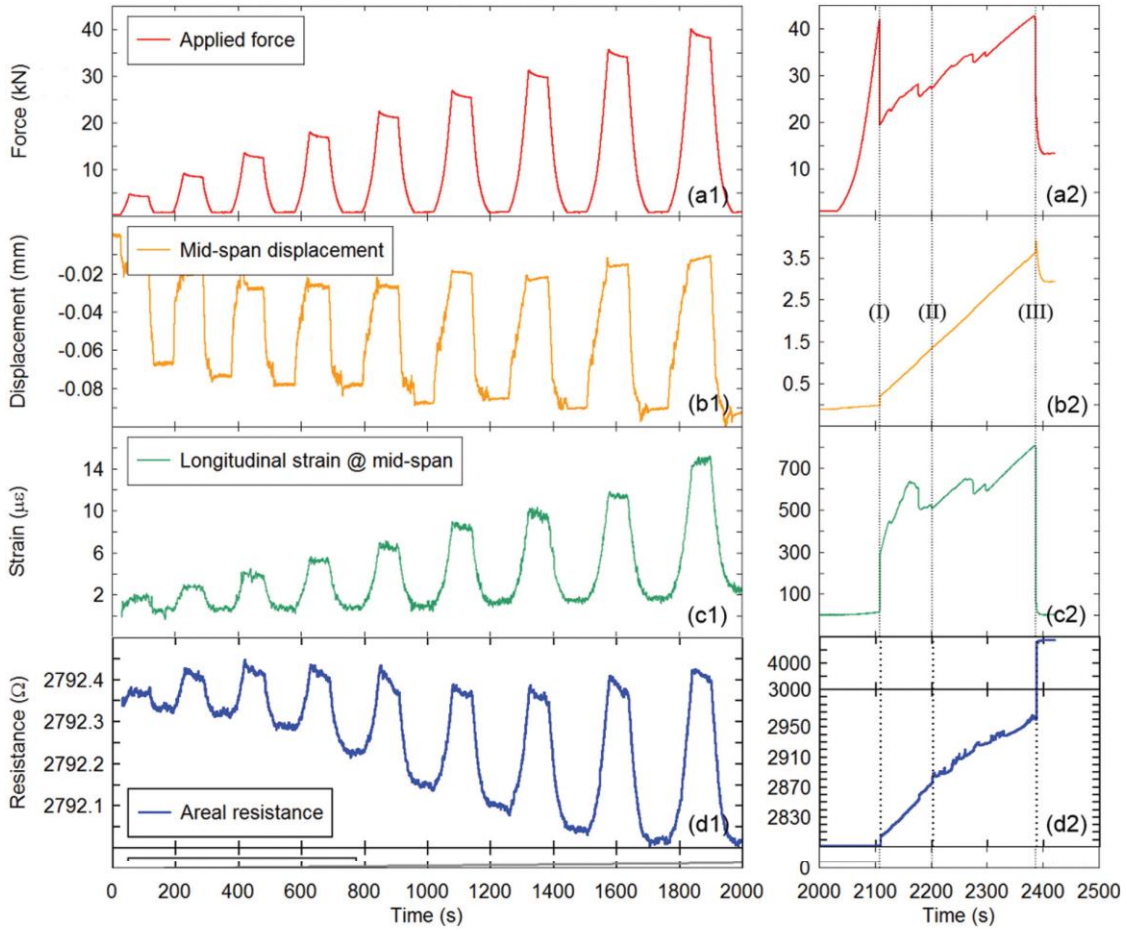
Monitoramento de Estruturas de Concreto





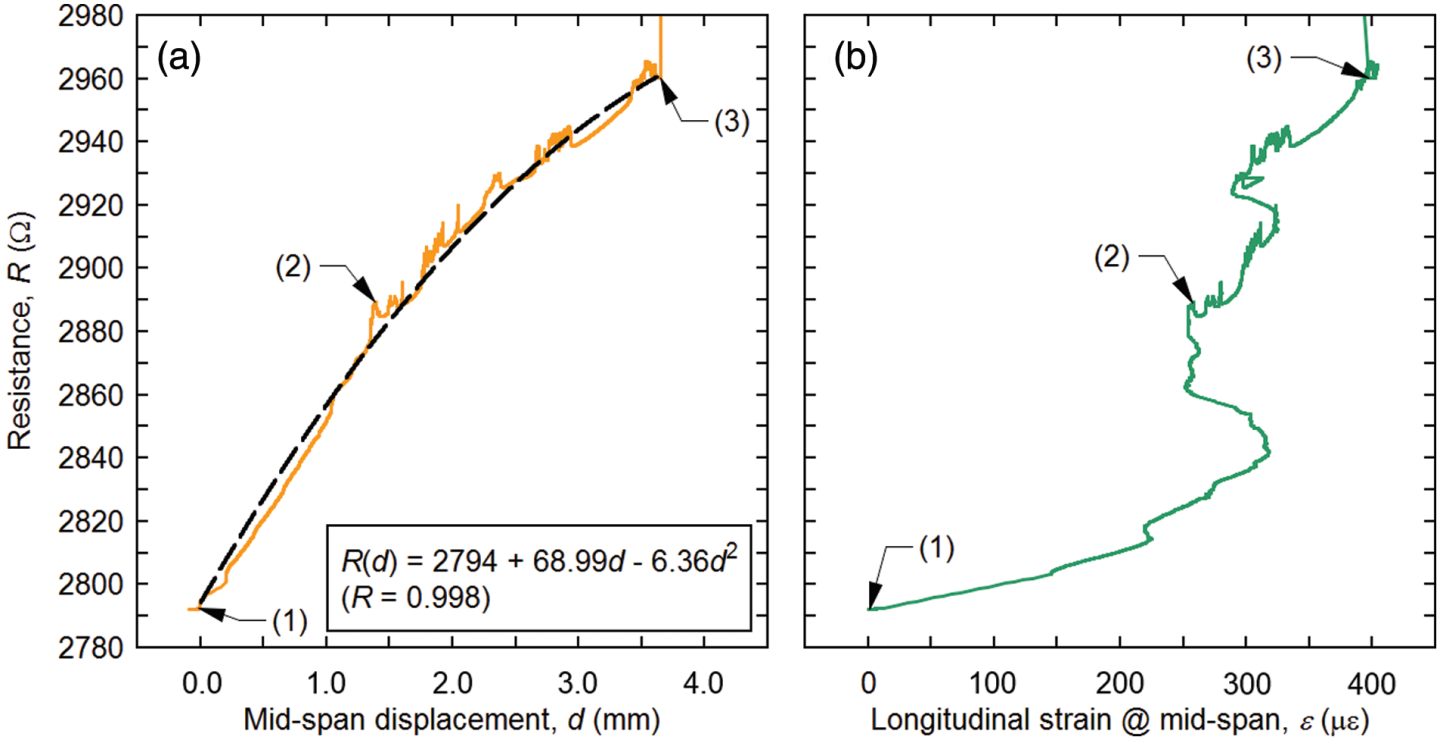
Fonte: SCHUMACHER et al. (2014)

RESULTADOS



- Apesar dos nanotubos estarem dispersos em uma área muito superior, possuem um menor nível de ruído (***signal to noise ratio***).
- A partir de 2000 s, as medições dos CNT se assemelham ao deslocamento global da estrutura, os strain gages não conseguem captar esse sinal (perda de aderência) .

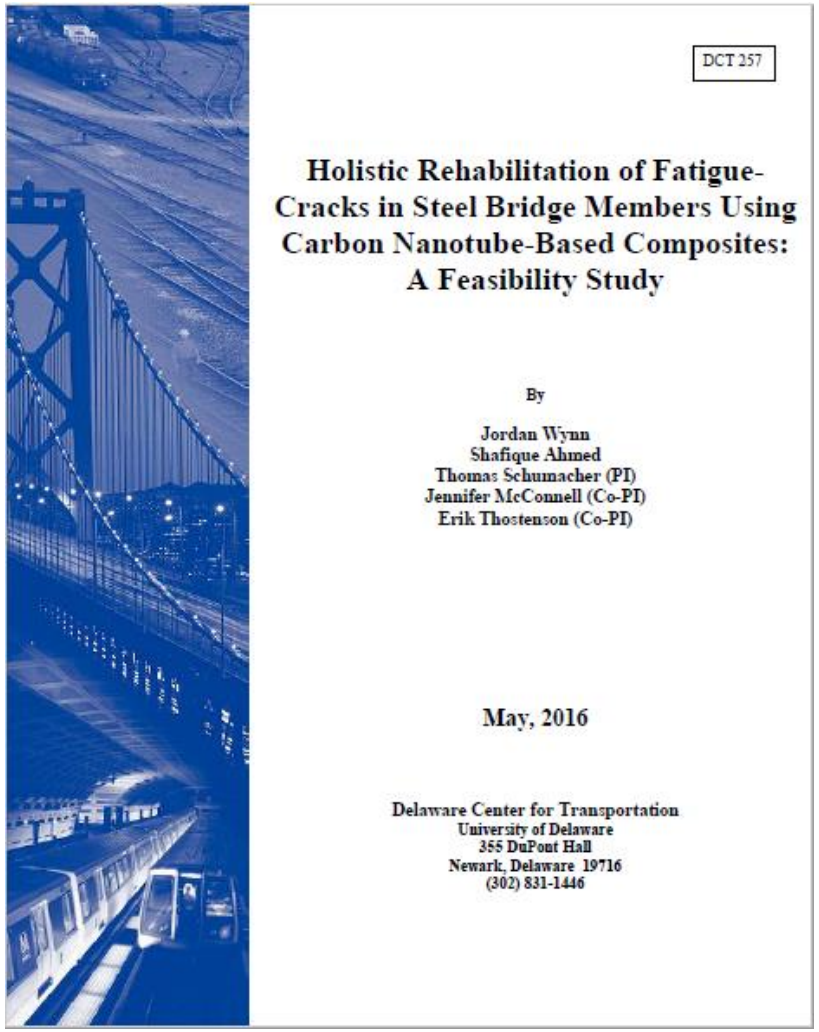
RESULTADOS



- Foi possível obter uma boa correlação entre a variação de resistência do nanotubos e a flecha da viga (strain gage).
- Os picos entre os pontos 2 e 3, indicam danos localizados na estrutura.
- Para leitura a partir de 300 με os nanotubos apresentam uma maior precisão de medidas se comparados aos strain gages (medições pontuais)

APLICAÇÕES SIMILARES

Monitoramento de Pontes



DCT 257

Holistic Rehabilitation of Fatigue-Cracks in Steel Bridge Members Using Carbon Nanotube-Based Composites: A Feasibility Study

By

Jordan Wynn
Shafique Ahmed
Thomas Schumacher (PI)
Jennifer McConnell (Co-PI)
Erik Thostenson (Co-PI)

May, 2016

Delaware Center for Transportation
University of Delaware
355 DuPont Hall
Newark, Delaware 19716
(302) 831-1446

Ponte DelDOT 1678-006 on I-95 Northbound (Delaware)

Fonte: WYNN et al. (2016)

APLICAÇÃO

Monitoramento de Pontes

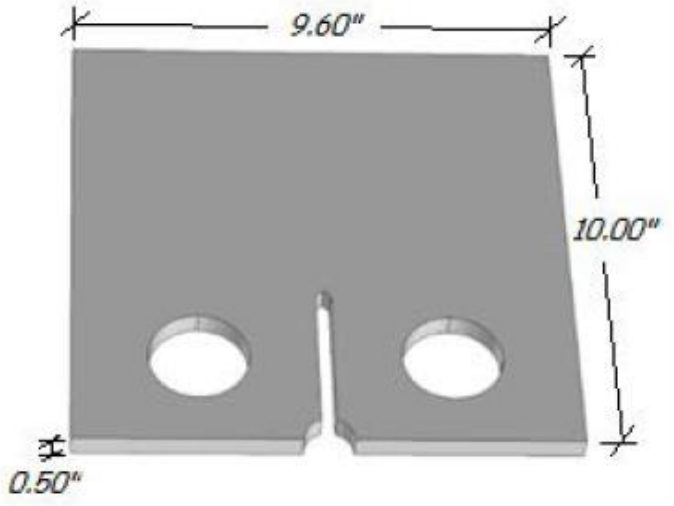
- Foi identificado nas longarinas próximas aos apoios, fissuração por fadiga, na região das soldas. A solução mais comum para esse tipo de fissura é a perfuração de furos na estrutura para impedir a propagação das fissuras.

- A estrutura foi avaliada no local com uso de strain gages e no laboratório foi utilizada uma resina de nanotubos (ISS) para simular a reabilitação da estrutura.

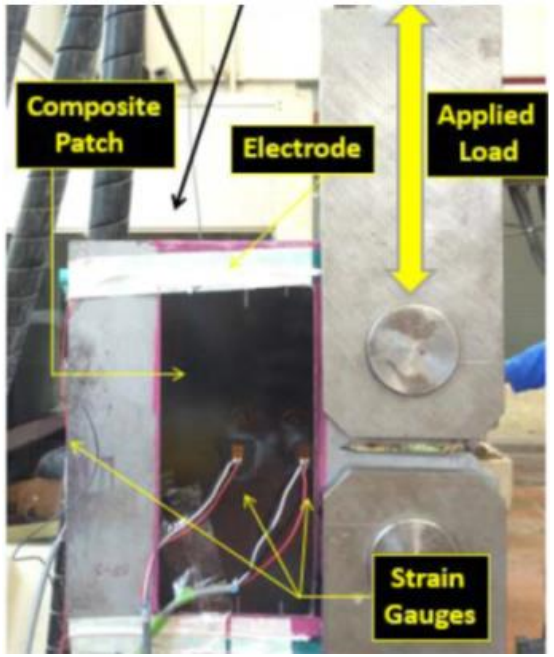
.

APLICAÇÃO

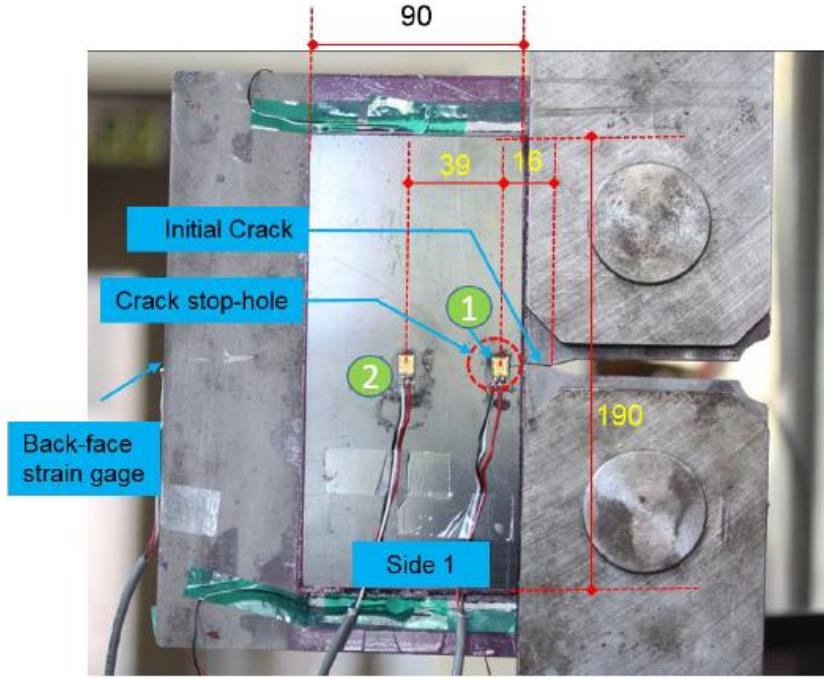
Monitoramento de Pontes



Corpo de prova 1- ASTM E647



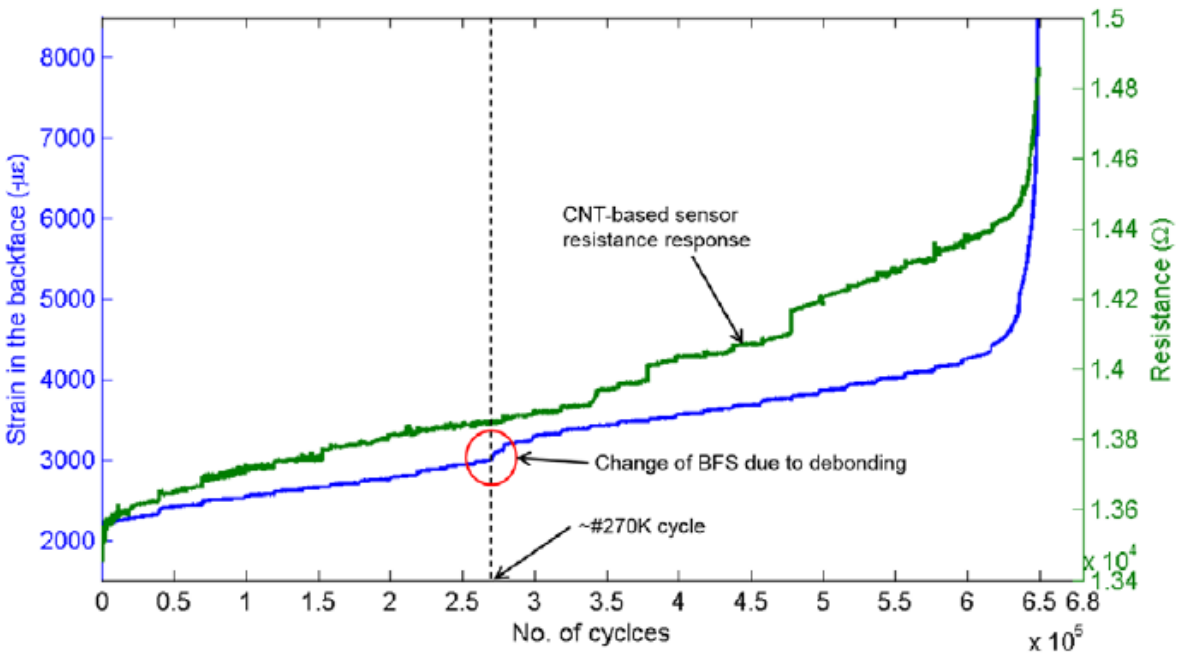
Corpo de prova 3 – Resina de Nanotubos (ISS)



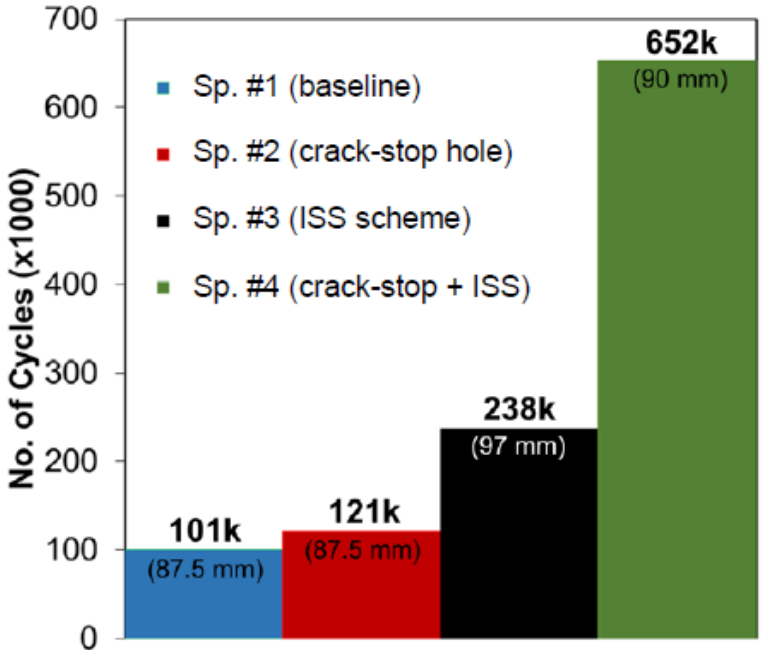
Corpo de prova 4 – Resina de Nanotubos (ISS) + Furos

APLICAÇÃO

Monitoramento de Pontes



Medição – Strain gages perdem a aderência após 270 mil ciclos



Aumento da Resistência a Fadiga de 550% com a utilização da Resina dos nanotubos

CONCLUSÕES

Os nanotubos permitem:

- Avaliação auto-sensitiva no volume da peça ou em uma grande área, contrapõe-se aos strain gages (medição pontual);
- Maior estabilidade das medições (menor nível de ruído à campos eletromagnéticos);
- Podem ser aplicados a estruturas pré-existentes, com geometria complexa, em reabilitação;
- Podem ser adicionados à matriz cimentícia, durante sua produção;
- Utilização em armaduras ou cabos de protensão – identificação de áreas de corrosão;
- Maior confiabilidade na detecção de microdanos;

REFERÊNCIAS

- CHAE, S. H.; LEE, Y. H. Carbon nanotubes and graphene towards soft electronics. **Nano Convergence**, 2014 1:15. https://doi.org/10.1186/s40580-014-0015-5
- COPPOLA, L.; BUOSO, A.; CORAZZA, F. Electrical Properties of Carbon Nanotubes Cement Composites for Monitoring Stress Conditions in Concrete Structures. **Applied Mechanics and Materials**. 2011.
- MARCONDES, C. G. N.; MEDEIROS, M. H. F.; MARQUES FILHO, J. y HELENE, P. Nanotubos de carbono em concreto de cimento portland: Influência da dispersão nas propriedades mecânicas e na absorção de água. **Revista ALCONPAT**, volume 5 n. 2, p. 97-114. 2015.
- RANA, S; SUBRAMANI, P.; FANGUEIRO, R. AND GOME, A. A review on smart self-sensing composite materials for civil engineering applications. **AIMS Materials Science**, 3(2), pp. 357-379. 2016.
- SCHUMACHER, T.; THOSTENSON, E. T. Development of structural carbon nanotube–based sensing composites for concrete structures. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**. Vol 25, Issue 11, 2014. https://doi.org/10.1177/1045389X13505252
- SIMON SANCHEZ, P. **Self-sensing features of fiber reinforced composites - Analysis by means of carbon nanotubes**. Master Thesis – Politecnico di Milano, Lecco, 2018
- VIDIVELLI, B. ASHWINI, B. A study on carbon nanotube (cnt) in concrete**. International Research Journal of Engineering and Technology** (IRJET), Volume: 05, 2018.
- WYNN, J.; AHMED, S.; SCHUMACHER, T.; MCCONNELL, J.; THOSTENSON, E. **Holistic Rehabilitation of Fatigue-Cracks in Steel Bridge Members Using Carbon Nanotube-Based Composites: A Feasibility Study.** Delaware Center for Transportation. University of Delaware, 2016.

Obrigado!

Perguntas?

d.souza@usp.br

leidyespinosa@usp.br

wandressagiusti@hotmail.com