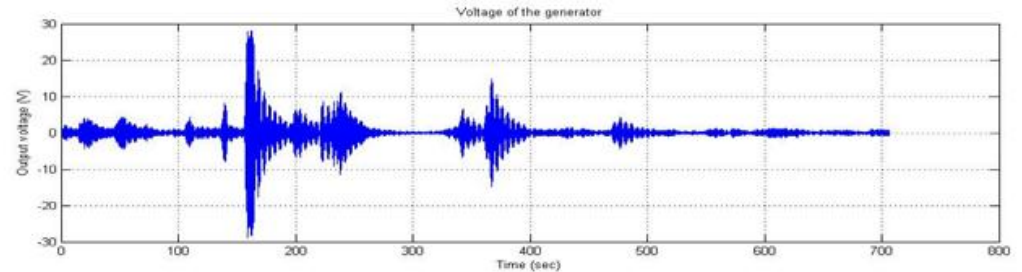




Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia de Transportes

Monitoramento de Grandes Estruturas

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Camargo Larocca



Introdução

A capacidade da Engenharia contemporânea de construir 'mega' estruturas:



- ✓ Necessidade de melhor utilização do solo;
- ✓ Obras que causem pouco impacto ambiental;
- ✓ Estruturas que permitam usufruir de locais acidentados;
- ✓ Dimensões grandiosas – atrações turísticas;
- ✓ Pedágio para travessia – verba para sua manutenção.

INTRODUÇÃO

A capacidade da Engenharia contemporânea de construir 'mega' estruturas, como por exemplo:

Ponte sobre o rio Guamá, Pará

- ✓ Comprimento total: 1976 m
- ✓ Vão central estaiado: 582 m
- ✓ Vãos laterais: 30 e 45 m
- ✓ Valor: R\$ 246 milhões



Ponte Octávio Frias de Oliveira, SP, Capital

- ✓ Valor: R\$ 233 milhões



Monitoramento de obras

Obras



✓ **Ponte Estada Marginal Tietê**



- ✓ **Torre de Dubai**
- ✓ **Altura: 680 m**
- ✓ **Valor: US\$ 4,1 bilhoes**



Monitoramento de obras

Obras



✓ Itaipú



Monitoramento de obras

Necessidade de monitorar

- Ponte dos Remédios, SP
- A recuperação teve custo de R\$ 7,2 milhões de reais - mais de um terço do valor estimado para a construção de uma nova ponte (estimado na época em R\$ 24 milhões de reais)



Monitoramento de oscilações

Necessidade de monitorar:

- Barragens;
- Segurança - Controle da Construção
- Acompanhar tendências de movimentação;
- Deslocamento lento ~ anos para verificar tendência;
- referência fora da estrutura;
- Lei 12.334/09/2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens.

Monitoramento de oscilações

Estruturas - ações atuantes

A resposta da estrutura de uma ponte a um carregamento dinâmico não é a mesma que a de um carregamento estático.

✓ Estáticas:

- Peso próprio da estrutura

✓ Dinâmicas:

- Carregamento produzido pelo tráfego
- Carregamento devido ao vento
- Abalos sísmicos

Monitoramento de oscilações

Estruturas - ações atuantes

A resposta da estrutura de uma ponte a um carregamento dinâmico não é a mesma que a de um carregamento estático.

✓ Estáticas:

- Peso próprio da estrutura

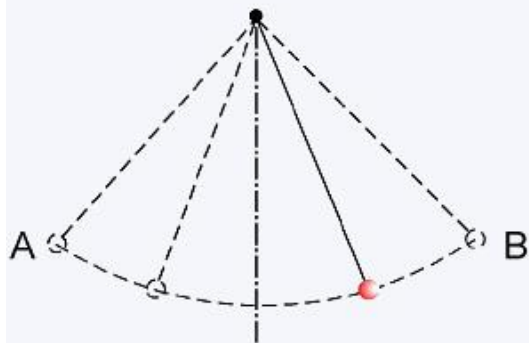
✓ Dinâmicas:

- Carregamento produzido pelo tráfego
- Carregamento devido ao vento

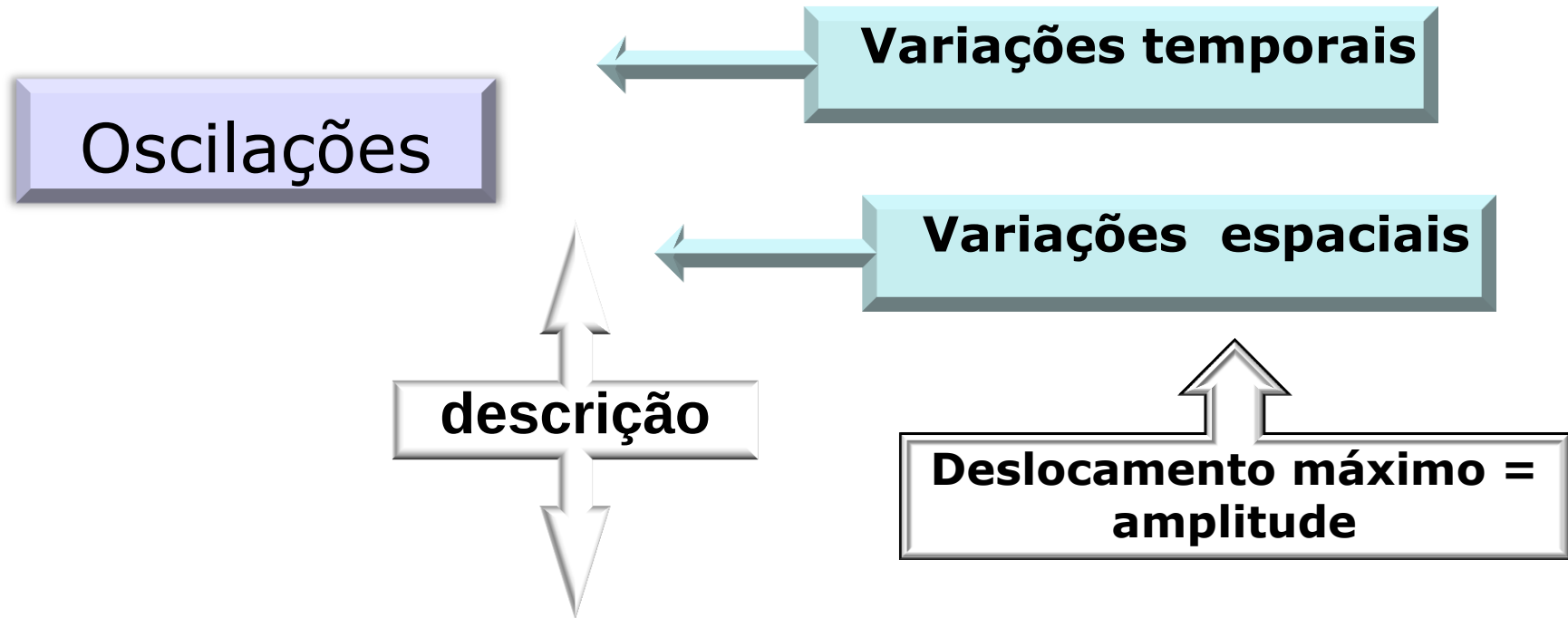
Monitoramento de oscilações

Oscilações ou Vibrações ou
Deslocamentos dinâmicos

Um objeto está oscilando quando se move periodicamente em torno de uma posição de equilíbrio:

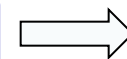


Monitoramento de oscilações



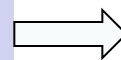
Freqüência é o número de ciclos por unidade de tempo – unidade s - Hertz

O período é o tempo para completar um ciclo



$$T = \frac{1}{f}$$

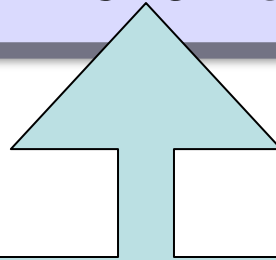
A freqüência é o número de ciclos por s



$$f = \frac{1}{T}$$

Monitoramento de oscilações

Problemática do sistema
vibrante



Freqüência Natural de Oscilação

X

Forças externas

X

Freqüência de ressonância

Monitoramento de oscilações

Oscilação

Numa situação de ressonância, frequência da excitação coincide com uma das frequências próprias da estrutura, a amplitude de oscilação é, por vezes, tão grande que pode levar ao colapso.



Monitoramento de oscilações

Estruturas - ações atuantes

A resposta da estrutura de uma ponte a um carregamento dinâmico não é a mesma que a de um carregamento estático.

Tacoma Narrows



Monitoramento de obras

Definição

- Monitoramento é a observação e o registro regular das atividades de um fenômeno.
- É um processo rotineiro de acúmulo de informações do projeto em todos os seus aspectos.
- O objetivo do monitoramento geodésico é a determinação confiável de alterações da geometria, posição e orientação das estruturas feitas pelo homem ou ocorrência natural.

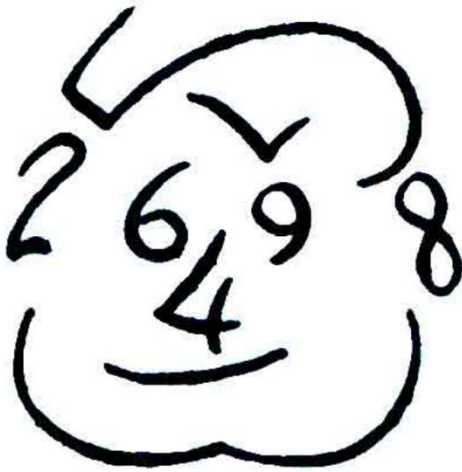
Monitoramento de obras

Definição

- Monitoramento é a observação e o registro regular das atividades de um fenômeno.
- É um processo rotineiro de acúmulo de informações do projeto em todos os seus aspectos.
- O objetivo do monitoramento geodésico é a determinação confiável de alterações da geometria, posição e orientação das estruturas feitas pelo homem ou ocorrência natural.

Monitoramento

- Interpretação de números/observação

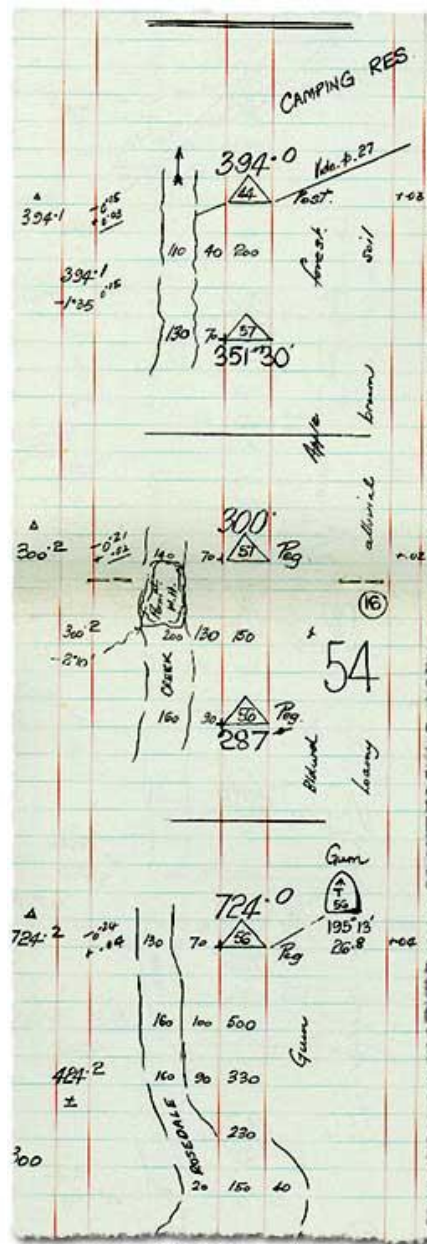


- Como interpretar x ferramentas

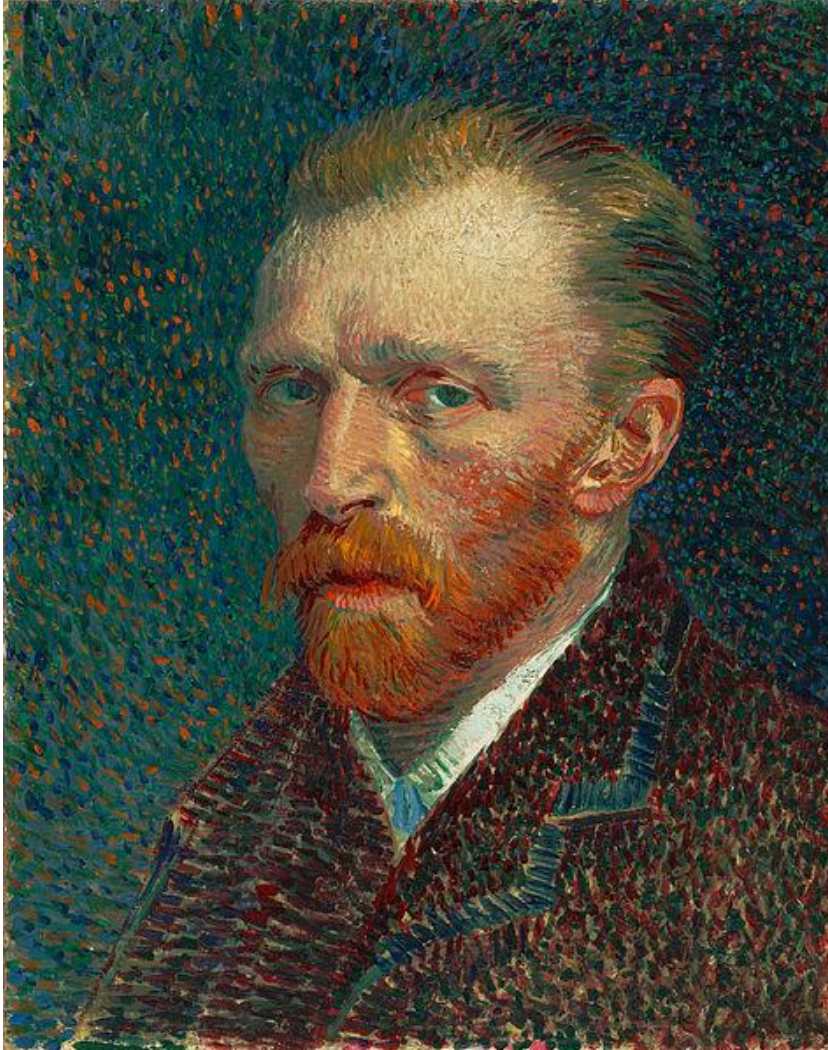
Monitoramento x Geodésia

- de ***pontos*** para ***imagens***...
- de ***imagens*** para ***pontos***...
- de ***imagens*** para ***demonstrações***...
- de ***validação*** para ***integração***

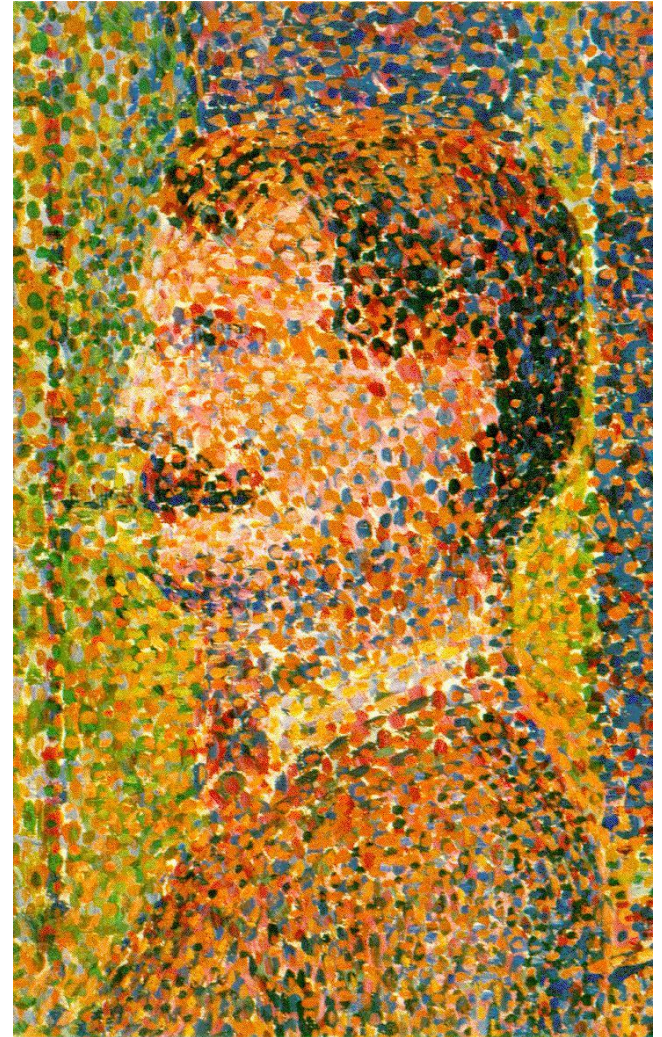
Pontos – Posicionamento



A new style: Pointilism

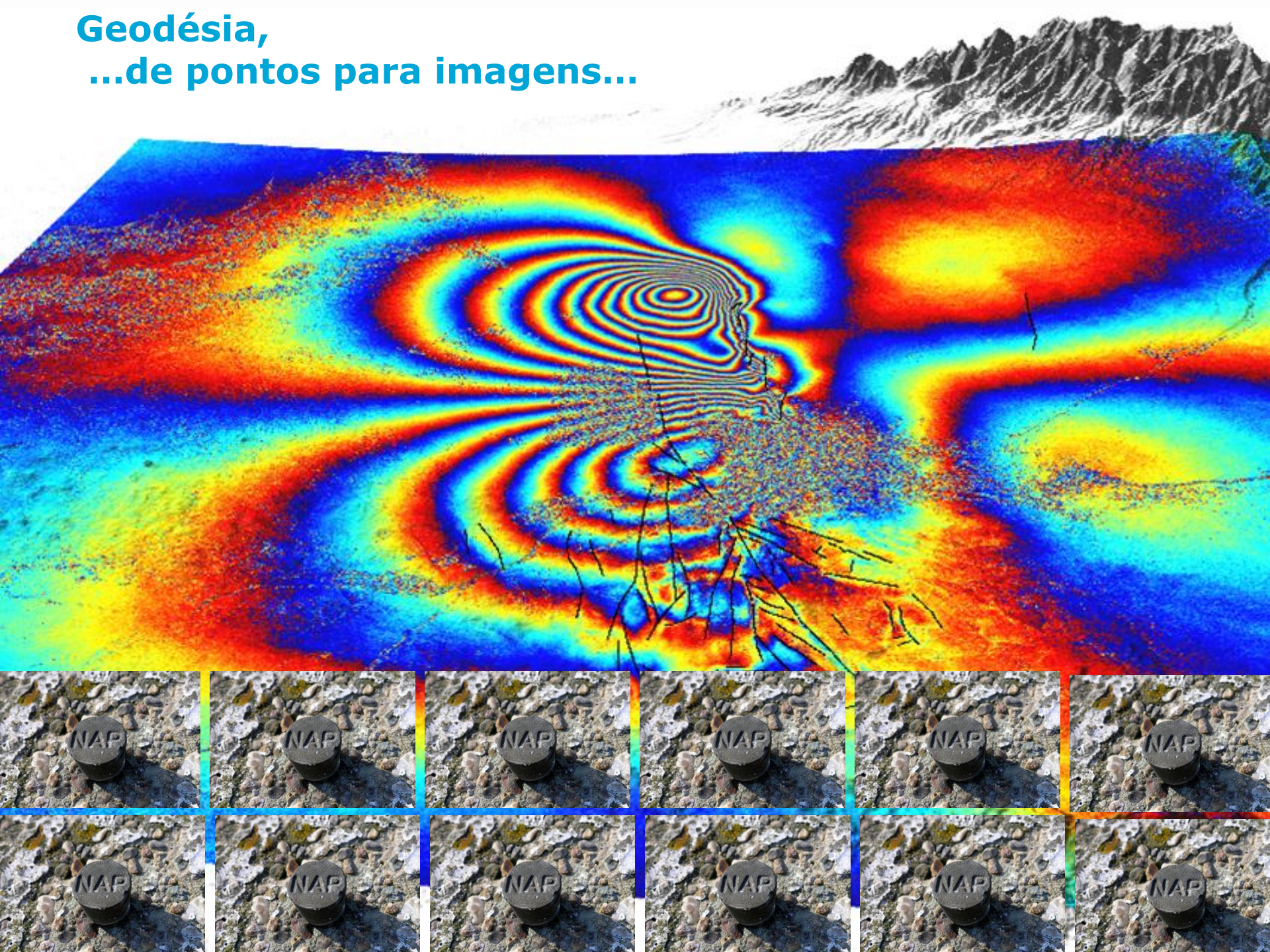


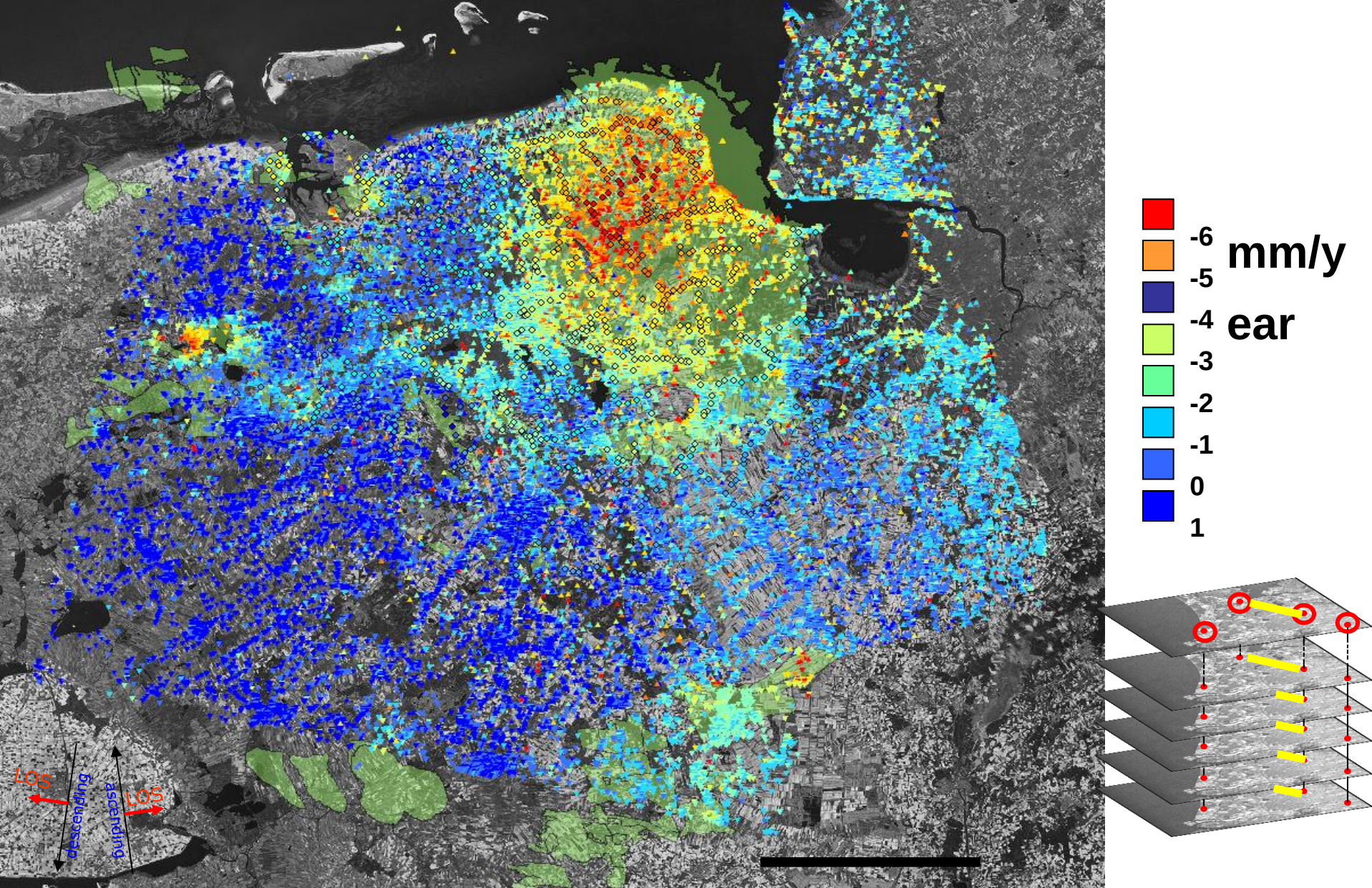
Vincent Van Gogh: *Self Portrait*
(1887)



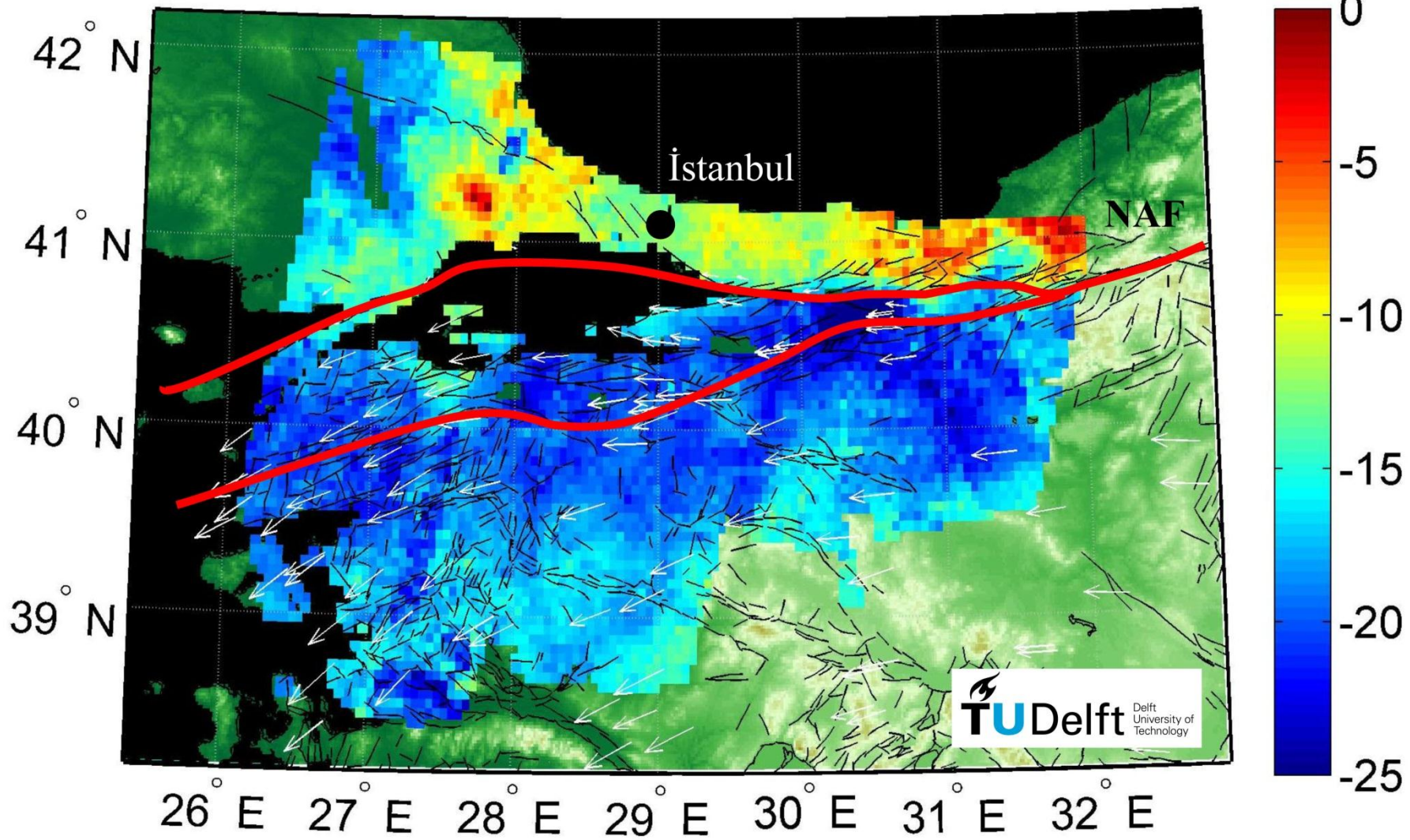
Georges Seurat: *La Parade*
(1889)

Geodésia, ...de pontos para imagens...





De figuras para demonstrações [mm/y]



Monitoramento

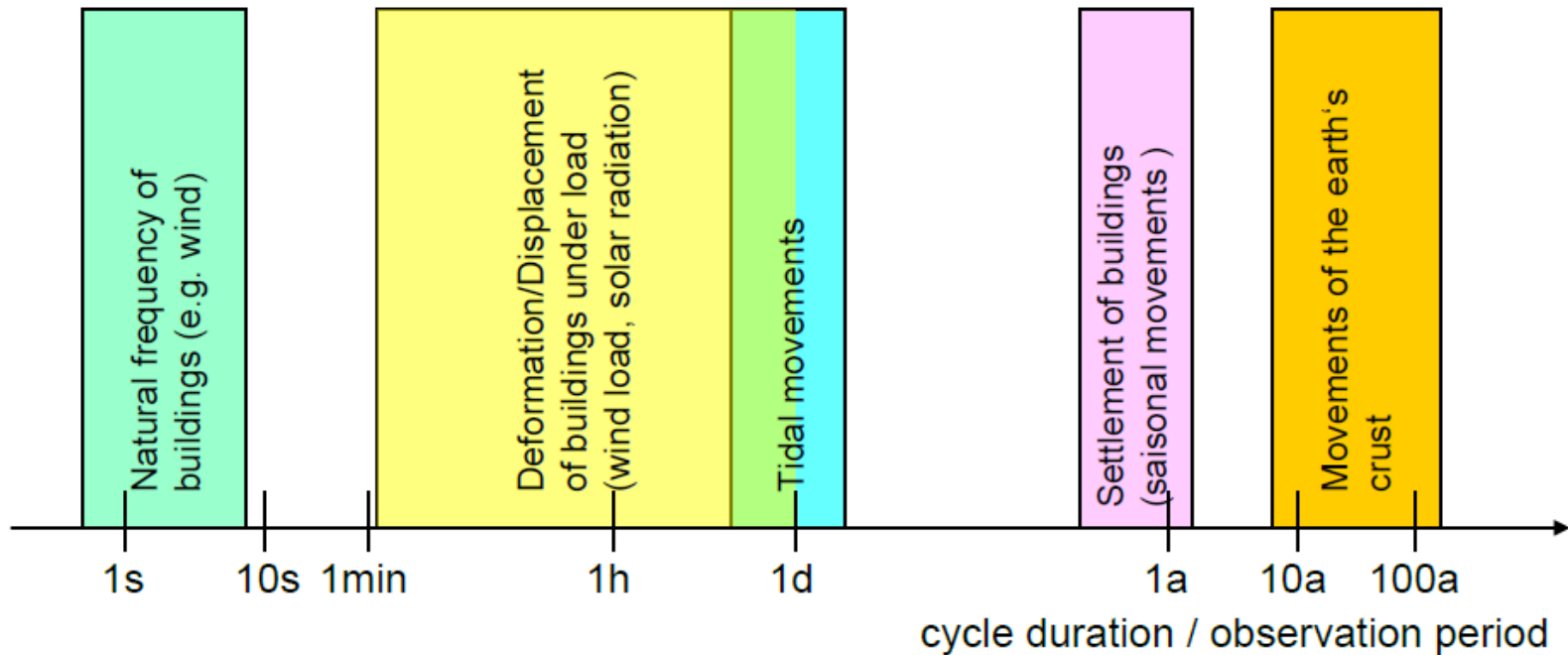
- **Saber o que é preciso medir para se obter respostas sobre o estado estrutural da obra;**
- **Análise da estabilidade é um dos componentes mais importantes dos processos de análise de dados de movimentos/deformação;**
- **Instrumentos que permitam a mínima interferência com a estrutura**
- **Instrumentos compatíveis.**



Source:stonewonder.com

Monitoramento

- O que se quer medir X diferentes períodos de observação



Aspectos importantes

- **Mudanças de temperatura;**
- **Deslocamento relativo ou absoluto;**
- **Deformações relativas;**
- **Instrumentos compatíveis;**
- **Esporádico ou Contínuo;**
- **Estático ou Dinâmico.**



Source:stonewonder.com

Monitoriamento

- **Aplicações típicas**

Deslizamentos de terra/
monitoramento de taludes

Fundação de edifícios

Controle de barragens

Investigação/monitoramento de pontes

Monitoramento de túneis

Observação de poços, minas

Monitoramento da Terra/marés terrestre

Torres de transmissão de energia/dutos

Etapas de construções pesadas



■ Burj Khalifa in Dubai (828 m)

Erros nas medidas

- **Erros (erros humanos e falhas de instrumento)**
- **Erros aleatórios (leitura e os erros experimentais)**
- **Erros sistemáticos (constante ou variável)**