

 **ROYAL Eijkelkamp**  
Meet the difference

 **CRUX**

 **cohere**  
CONSULTANTS

 **H-M**  
**HORIZONTE MINEIRO**  
DRILLING NEW HORIZONS

# 14-SEGURANÇA DE BARRAGENS

Integrated &  
Intelligent  
Integrity  
Instrumentation

for dam safety

Uma abordagem integrada para  
análise de estabilidade  
geotécnica e monitoramento de  
barragens

# I4-DAM SAFETY



## Consórcio Brasileiro- Holandês



- Combinação única de competências:
  - Investigação geotécnica (amostragem e in-situ)
  - Modelamento e análise geológicas
  - Análise de risco geotécnico
  - Instrumentação e monitoramento para solo e geohidrologia
  - Análise de dados e gerenciamento dos riscos
- Experiência:
  - Indústria mineral brasileira
  - Práticas de Engenharia Civil
  - Práticas de geotecnia e geohidrologia holandesa
    - Engenharia de solos
    - Engenharia de diques e aterros

# I4-DAM SAFETY



## Prevenção de rompimento de barragens

- Uma abordagem integrada, inteligente e transparente para:
  - Monitoramento da integridade e estabilidade geotécnica
  - Gerenciamento da água das barragens



# I4-DAM SAFETY



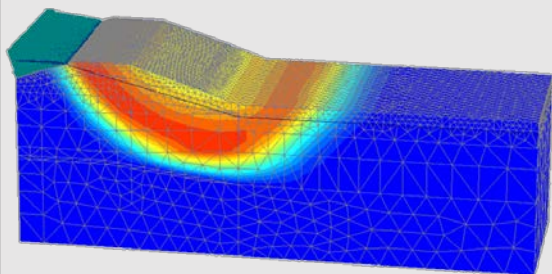
## O problema das barragens

- As barragens são o resultado de atividade mineral de décadas
- Muitas vezes, o legado de proprietários / operações anteriores
- Barragens frequentemente construídas sem um projeto
- Estrutura e comportamento das barragens e materiais, não conhecidos
- Fator de segurança e integridade não conhecidos
- RISCO NÃO CONHECIDO!

# I4-DAM SAFETY



## Estratégia de Gerenciamento dos Riscos



1. Iniciar conhecendo o sistema inteiro:
  - Barragens (estrutura, água subterrânea, materiais)
  - Geologia (áreas de fragilidade , permeabilidade)
  - Hidrologia da área de captação
  - Topografia, movimentos passados (via satélite)
2. Modelamento
  - Sistema geotécnico (determinístico/probabilístico)
  - Sistema geohidrológico (água subterrânea)
  - Sistema hidrológico (água de superfície)
3. Calcular estabilidade geotécnica
  - Geometria atual
  - Geometria futura
  - Eventos extremos (chuvas, terremotos)

# I4-DAM SAFETY



## Estratégia de Gerenciamento dos Riscos

4. Preparar o Plano de Monitoramento
  - Parâmetros sensíveis e críticos -> sensores
  - Onde colocar os sensores
  - Frequência/acuracidade/precisão
  - Valores de intervenção (Sistema semáforo)
  - Especificar medidas de mitigação
5. Instrumentação
  - Níveis das águas subterrâneas
  - Pressão dos Poros
  - Deformação
6. Monitoramento em tempo real
  - Transferência de dados imediatamente para armazenamento na Nuvem
  - Acesso, visualização via Painel de Controle
  - Protocolo de Intervenção
  - Atualização dos Modelos com dados medidos

# I4-DAM SAFETY



## Sistema de Monitoramento

- Customizado – não tem uma solução única para cada barragem
- Diferentes níveis de detalhes, adaptável
- Dados monitorados providenciam importantes informações sobre o comportamento e maiores detalhes sobre o problema
- Otimização dos sistemas
- Aberto e transparente



# I4-DAM SAFETY



Assuntos  
geotécnicos  
específicos com  
barragens  
minerárias

- Alto conteúdo em água/saturação de material fino da barragem
  - Água capilar
  - Influxo -> rápido aumento da hidrostática da água subterrânea
  - Rebaixamento muito lento da água subterrânea
  - Gerenciamento da água na área acima é muito importante



# I4-DAM SAFETY



## Assuntos geotécnicos específicos com barragens minerárias

- Liquefação estática -> Deslizamento
  - O mais comum em barragens
  - O menos compreendido
  - Precisa de um evento gatilho (rebaixar o nível de água subterrânea pode causar deslizamento)
  - Densidade relativa in-situ : **CPT/Sondagem e Amostragem Sônica**
  - Conteúdo de água In-situ/saturação

# I4-DAM SAFETY



## Assuntos geotécnicos específicos com barragens minerárias

- (Infiltração) Seepage -> backward erosion piping
  - Detectado na superfície (areia fervendo)
  - Seepage detectado com sensores remotos infravermelhos
  - Monitoramento In-situ
    - Sensores de Temperatura (fibra óptica)
    - Grade densa de piezômetros
  - Amostragem: Curvas granulométricas

# I4-DAM SAFETY



## Serviços

- Investigação do Solo com CPT e Sondagem Sônica:
  - Amostras Não Perturbadas de material sem coesão
  - Densidade relativa e pressão dos poros In-situ
- Especificação dos testes geotécnicos de laboratório
- Análise de estabilidade geotécnica baseada sobre barragens pre-existentes (Analítica, numérica, determinística, probabilística)
- Sugestões sobre medidas preventivas
- Projeto geotécnico de barragens
- Preparação dos planos de monitoramento
- Projeto do sistema de monitoramento
- Instalação do sistema de monitoramento
- Revisão independente

# I4-DAM SAFETY



## Sondagem e amostragem Sônica

- A qualidade dos dados sobre o solo é crucial!
- Com a **Sondagem Sônica** é possível obter:
  - Amostras sem alteração in-situ de material não consolidado
  - Recuperação de material sem coesão (>95%)
  - Não precisa utilizar fluídos de perfuração ou água durante a perfuração (exceto para refrigeração perfurando em rocha)
- Não tem risco de liquefação (devido a alta frequência)
- Furos perfeitamente retos a qualquer ângulo (inclinômetros)
- Combinação da amostragem Sônica com CPT:
  - Densidade relativa in-situ
  - Pressão dos poros in-situ
- Também útil para instalação de equipamento para monitoramento em furos:
  - Piezômetros
  - Inclinômetros







# I4-DAM SAFETY



**Primeira Sonda SONIC do Brasil, com previsão de chegada na metade de Junho 2019**

<https://www.sonicsampdrill.com/>

<https://www.sonicsampdrill.com/sonic-drilling/geotechnical-drilling.htm>

<https://www.sonicsampdrill.com/sonic-drilling/sonic-sampling-for-mining>

<http://horizontemineiro.com.br/>

# I4-DAM SAFETY



## Alguns projetos de referência

- Projeto de Monitoramento para Segurança de Barragens - Bahdra Dam (India)
- Amostragem de solo nas barragens Damwatch (New Zealand)
- Exploração para diamantes - Namdeb (Namíbia)
- Exploração para Nickel - PT Weda Bay Nickel (Indonésia)
- Exploração para Ouro - Minatura Colômbia Gold mining (Colômbia)
- Monitoramento com fibra óptica (Holanda)
- Análise de risco para barragens (Moçambique)
- Monitoramento para reabilitação do solo (Panamá)
- Análise de estabilidade para reabilitação do solo (Singapore)
- R&D: Modelo Probabilístico de estabilidade de larga escala (PMMS)

# I4-DAM SAFETY



John Dunicliff:

“Qualquer instrumentação para um projeto deveria ser selecionada e posicionada para responder a algumas perguntas específicas. Se não tem a pergunta, não deveria ter instrumentação.”

Eijkelkamp:

“Nunca confiar em um único sensor ”



# I4-DAM SAFETY



## Contact

Mr. Siefko Slob (MSc PhD CEng) – Cohere Consultants

T: +31 (0)6 86835505

E: [siefko.slob@cohereconsult.com](mailto:siefko.slob@cohereconsult.com)

<https://www.cohereconsult.com/en>

Mr. Leon van Hamersveld (MSc) – Royal Eijkelkamp

T: +31 (0)313 800 915

M: +31 (0)6 53246344

E: [academy@eijkelkamp.com](mailto:academy@eijkelkamp.com)

<https://en.eijkelkamp.com/>

Mr. Jacco Haasnoot (MSc) – CRUX Engineering

T: +31 (0)20 4943070

M: +31 (0)6 48936558

E: [info@cruxbv.nl](mailto:info@cruxbv.nl)

<https://www.cruxbv.com/home>

# I4-DAM SAFETY



## Contact

Mr. Salvatore Scervini (MSc) – Horizonte Mineiro

T: +55 (31) 97540 0054

E: [salvatore.scervini@horizontemineiro.com.br](mailto:salvatore.scervini@horizontemineiro.com.br)

<http://horizontemineiro.com.br/>