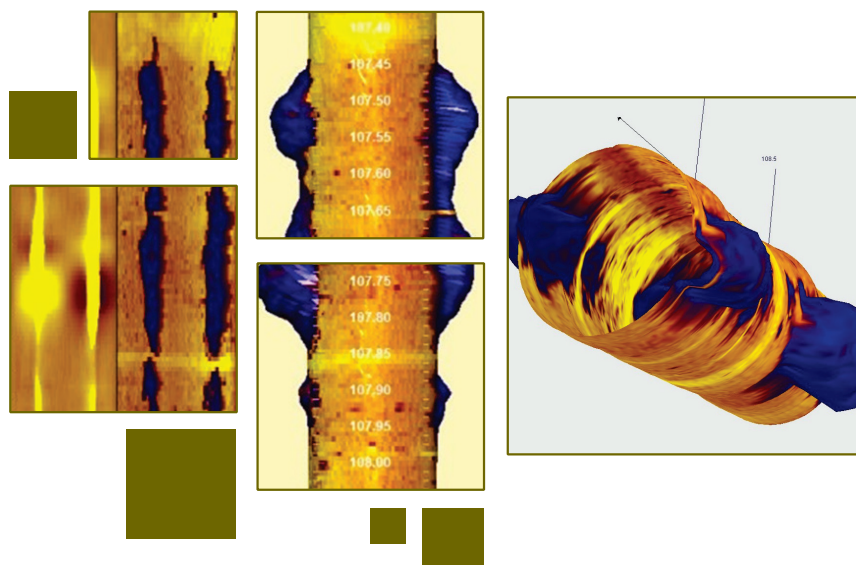


JOÃO LUIZ ARMELIN
ALESSANDRO JÉSUS GUIMARÃES

CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE **TENSÕES *IN SITU*** E A **APLICAÇÃO DE *BREAKOUTS*** EM SUA DETERMINAÇÃO



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

São Paulo, 2022



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	13
PREFÁCIO DA ABGE	15
PREFÁCIO	17
Ensaio de Fraturamento Hidráulico em grandes profundidades no Brasil	17
1. ORIGEM DAS TENSÕES NA CROSTA TERRESTRE	23
1.1 Mapa mundial de tensões.....	26
1.2 A terminologia das tensões	28
1.3 Necessidade / motivação do conhecimento das tensões <i>in situ</i>	31
1.4 Tensões verticais e tensões horizontais	33
1.5 Magnitudes KH e Kh.....	33
2. HIPÓTESE BÁSICA, TENSÃO VERTICAL E TENSÕES HORIZONTAIS	35
2.1 Relação entre as tensões verticais e horizontais com a profundidade	35
2.1.1 <i>Variação da tensão vertical com a profundidade</i>	35
2.1.2 <i>Variação da tensão horizontal com a profundidade</i>	37
3. TENSÕES <i>IN SITU</i> E TENSÕES INDUZIDAS NAS ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS	43
3.1 Fatores condicionantes da redistribuição de tensões	44
4. NOÇÕES SOBRE TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DAS TENSÕES <i>IN SITU</i>	57
5. MÉTODOS HIDRÁULICOS	61
5.1 Método do fraturamento hidráulico.....	61
5.1.1 <i>Método do fraturamento hidráulico em grandes profundidades</i>	65
5.2 Fraturamento dilatométrico	67
5.3 Ensaio de pressurização em fraturas pré-existentes (HTPF)	68
6. MÉTODOS DE ALÍVIO DAS TENSÕES	71
6.1 Classes principais dos métodos de alívio de tensões	72
6.1.1 Métodos de alívio em furos de sondagens.....	72
6.1.2 Métodos de alívio em grandes volumes rochas	73
6.1.3 Método de alívio de tensões em superfícies.....	73
6.1.3.1 <i>Método de alívio de tensões em furos de sondagens</i>	73



7. MÉTODO DO CANCELAMENTO DAS DEFORMAÇÕES/DESLOCAMENTO MÉTODO DAS ALMOFADAS.....	97
8. MÉTODO DA RECUPERAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES.....	101
9. MÉTODO DAS ANÁLISES DE INSTABILIDADES EM PAREDES DE FUROS	103
9.1 Breakouts.....	103
10. OUTROS MÉTODOS	107
10.1 Análise de estrias de falhas	107
10.1 Análise de mecanismos focais	112
10.3 Métodos indiretos.....	112
11. INCLUSÕES EM MATERIAIS COM COMPORTAMENTO DEPENDENTE DO TEMPO.....	115
12. MEDIÇÕES DE TENSÕES RESIDUAIS	117
13. MEDIÇÕES DE TENSÕES RESIDUAIS	119
14. ACURÁCIA E INCERTEZAS NAS MEDIÇÕES PARA AS DETERMINAÇÕES DE TENSÕES <i>IN SITU</i>.....	121
14.1 Incertezas naturais, intrínsecas e inerentes	121
14.2 Incertezas relacionadas com as medições.....	123
14.3 Incertezas relacionadas com a análise dos dados.....	125
14.4 Entendendo e reduzindo as incertezas	128
14.5 Incertezas esperadas.....	130
15. QUALIDADE DAS DETERMINAÇÕES DE TENSÕES <i>IN SITU</i>.....	133
16. O EMPREGO DE BREAKOUTS NO CÁLCULO DAS TENSÕES <i>IN SITU</i>	137
16.1 Um breve histórico sobre <i>breakouts</i>	138
16.2 Modelo de microfissuramento para a formação do <i>breakout</i>	139
16.3 Da energia envolvida no mecanismo de ruptura do <i>breakout</i>	140
16.4 Solução analítica para o cálculo da magnitude das tensões horizontais principais K_H e K_h a partir do <i>breakout</i>	142
16.4.1 <i>Solução analítica de Guimarães & Figueiredo (2019)</i>	143
17. SOLUÇÃO ANALÍTICA DE GUIMARÃES & FIGUEIREDO (2019): EXEMPLO COMENTADO	149
17.1 Problema comentado	149
17.1.1 <i>Solução do problema</i>	150
REFERÊNCIAS.....	159

APRESENTAÇÃO

O tema *Tensões In Situ* é muito importante na abordagem dos problemas que envolvem as escavações de maciços rochosos para as diferentes finalidades da engenharia e a geologia de engenharia de modo geral. Os profissionais sempre estão se deparando com situações de risco sobretudo nas escavações subterrâneas onde explosões de rochas (*rockburst*), queda de choccos (queda de bloco das laterais e teto das escavações subterrâneas), rupturas de pilares e galerias, deformação do assoalho das minas, etc. estão presentes. Além disso, a responsabilidade para com as escavações de uso civil (túneis e galerias, obras de metrô, etc.) exigem que os profissionais ofereçam as garantias necessárias para tornar o uso dessas estruturas, por parte da população, seguras e confiáveis.

O campo de tensões presente nas rochas tem relação direta com os problemas citados acima e, claro, o seu estudo estará diretamente relacionado para garantir as soluções destes. Cabe, portanto, encontrar formas para se obter os valores das tensões envolvidas nestes empreendimentos assim como a sua direção, oferecendo um resultado que retorne como resposta o tensor completo. Essa publicação apresenta um apanhado dos trabalhos de vários estudiosos do assunto e busca dar uma visão geral acerca do assunto para auxiliar os profissionais que atuam nestes ramos da engenharia e da geologia de engenharia.

Inicia-se com uma discussão sobre a origem das tensões, a sua distribuição no globo e a questão da terminologia que deve ser adotada. Em seguida, discorre sobre a necessidade do entendimento das tensões e a sua importância na maneira como devemos abordá-las, dando-lhes as condições de contorno que permitem atuar na identificação dos problemas e, se possível, nas soluções destes. Segue, discutindo o tema tensões no cenário das escavações com as implicações na sua distribuição neste meio e passa a abordar as diferentes técnicas que permitem a sua determinação observados, para a sua boa execução, os cuidados quanto à limitação de cada metodologia proposta e as incertezas presentes. A publicação apresenta uma metodologia nova para o cálculo das tensões horizontais principais σ_H e σ_h através do uso de *breakouts*, permitindo-se assim a obtenção do tensor completo.

PREFÁCIO DA ABGE

Amigas e Amigos da ABGE, nestas duas últimas gestões nos notabilizamos, entre outras atividades, por uma produtiva linha editorial, sempre interessante e diversificada. Este livro abordando as “Tensões In Situ” vem confirmar esta tendência.

Escrito pelo amigo de longa data, João Luiz Armelin e pelo recente, e não menos querido, amigo Alessandro Jésus Guimarães, o livro traz, com profundidade, as considerações sobre as tensões in situ de empreendimentos diversos, além de discorrer sobre as origens, terminologias, magnitudes, métodos de investigação e demais tópicos, que darão às leitoras e aos leitores um entendimento significativo do assunto.

Esta publicação, já no final da nossa gestão, enseja também agradecer imensamente o trabalho, o carinho e a compreensão de todas(os) associadas (os), colaboradoras (es), e entidades parceiras, com quem convivemos nestes 4 últimos turbulentos anos, e que graças a essas pessoas, com perseverança, resignação e muito amor, conseguimos vencer os obstáculos e produzir excelentes trabalhos.

Aproveitamos, ABGE e autores, para homenagear nosso grande amigo e um dos fundadores da ABGE, Geólogo Fernão Paes de Barros falecido em 11/08/2021 a quem devemos eterna gratidão por fazer da nossa Associação o que ela é hoje, representando com muita competência os profissionais que atuam na geologia de engenharia e ambiental, permitindo que propaguemos o conhecimento técnico-científico para todas (os) profissionais e estudantes das áreas afins da nossa Associação.

Boa leitura e aproveitem este maravilhoso trabalho.

Delfino L. G. Gambetti

Presidente ABGE