

Simulação numérica de ensaio de compressão de prisma de alvenaria usando método dos elementos discretos.

Jander Fonseca Carvalho Ferreira¹ (IC) *, Marcus Vinicius Silva Cavalcanti¹ (PQ).

Universidade Estadual de Goiás-Campus Henrique Santillo¹.

janderfcarvalho@gmail.com.

Análise numérica com a utilização de computadores está presente nas diversas áreas da engenharia. Métodos numéricos permitem análises com maior precisão, maior segurança, reduzindo tempo de análise e resultando menor custo para a obra. Estudos com prismas de alvenaria estrutural realizados em laboratório com o rompimento de corpos de prova indicaram tendências de comportamento estrutural possíveis de serem modeladas numericamente com o método dos elementos discretos. Neste trabalho, a elaboração de um modelo computacional possibilitou análises mais rápidas e mais econômicas desses comportamentos estruturais de interesse científico. Portanto, o projeto desenvolvido com o modelo computacional utilizando o Método dos Elementos Discretos (MED), apresentou resultados numericamente simulados semelhantes aos testes reais realizados em laboratório. A análise considerou três blocos de concreto com furos e com juntas de argamassa entre os blocos, formando o prisma. O resultado avaliado foi o mapeamento de tensões no interior do bloco em pontos críticos na estrutura, tais como as arestas vivas do bloco e dos prismas. Outro comportamento também numericamente avaliado pela simulação numérica foi a ligação entre a argamassa e bloco de concreto, onde se verificou semelhança com os resultados físicos. Os resultados obtidos indicam considerável potencial do uso da técnica numérica dos elementos discretos para a análise do comportamento da alvenaria estrutural com resultados bastante satisfatórios apresentados por esse trabalho.

Métodos Numéricos. Método dos Elementos Discretos. Alvenaria Estrutural. Bloco de Concreto.

Introdução

A análise de estruturas através de métodos numéricos tem a finalidade de otimizar o tratamento matemático para problemas na engenharia. O uso de computadores cada vez mais modernos, possibilita o desenvolvimento de novos métodos numéricos que aprimoram e aceleram a análise.

A pesquisa busca simular o ensaio de compressão de blocos de concreto através de um código computacional que use a técnica computacional dos elementos discretos.

Uma das principais motivações deste trabalho, é dar continuidade a um trabalho já iniciado por Neumann (2005), onde foi investigada a viabilidade do MED em conjunto com o SAP- programa de análise estrutural e o SAT (Sistema Analisador de Trelças) – programa desenvolvido por Santana (2005). Essa continuidade gera a consolidação de uma linha de pesquisa e a médio e longo prazo trará uma referência para a Universidade Estadual de Goiás. (Bueno,2006).

O projeto de pesquisa possui como meta o desenvolvimento de um código computacional, juntamente com projetos anteriores que analisam treliças espaciais, que permita a visualização de linhas preferenciais e pontos críticos no carregamento de um prisma composto por blocos de alvenaria estrutural, com juntas de argamassa.

Material e Métodos

Para atingir o objetivo do trabalho é necessário desenvolver as seguintes etapas: 1- Revisão bibliográfica do Método dos elementos discretos, assim como a revisão dos códigos computacionais desenvolvidos por Neumann (2005) e Bueno (2006); 2 – Adaptação dos códigos desenvolvidos para a geometria de um bloco vazado de concreto, conforme os usados nos trabalhos desenvolvidos por Francisco e Soares (2016) e Marques e Godoi (2016). 3 – Simulação numérica dos ensaios de compressão desenvolvidos por Francisco e Soares (2016) variando numericamente as condições da junta de argamassa, conforme os ensaios mecânicos realizados experimentalmente; 4- Análise comparativa dos resultados da simulação numérica com os resultados obtidos pelos ensaios realizados no laboratório de resistência dos materiais; e 5- Publicação dos resultados.

O método dos elementos discretos (MED), foi utilizado na discretização do bloco vazado.

A ideia principal que está na base da formulação física e matemática do MED é a ideia de equivalência. Tem-se um sistema original e deseja-se construir um sistema que lhe seja equivalente, isto é, deseja-se obter um sólido com o mesmo contorno externo e que apresente o mesmo comportamento estrutural ao ser submetido ao mesmo conjunto de solicitações e condições de contorno. (Cavalcanti,2001).

O prisma ensaiado em laboratório e utilizado como modelo para os cálculos numéricos é formado por três blocos vazados da família 15x40 com dimensões nominais (14x19x39 cm) informados pelo fabricante com tolerância de ± 2 mm para largura e ± 3 mm para altura e comprimento, com duas juntas de argamassa de 1 cm cada, intercalada entre os blocos.

Para o modelo computacional foi utilizado blocos (18,8x6,3x27,5 cm), condições diferentes das ensaiadas em laboratório devido a limitações na capacidade de processamento dos dados pelo computador.

A junta de argamassa foi modelada com 2,5 cm de espessura, também determinada pela limitação na capacidade de processamento dos dados pelo computador.

O Bloco possui coeficiente de Poisson de 0,21 e módulo de elasticidade de 39 gigapascal. A camada da junta de argamassa recebe Poisson de 0,21 e módulo de elasticidade de 9,9 gigapascal. As áreas das barras normais e transversais foram calculadas com 1 cm² de influência, variando nos módulos de elasticidade normal e transversal conforme os módulos de elasticidade geral.

As etapas 1 e 2 da metodologia deste trabalho, foram executadas no segundo semestre de 2016, sendo utilizado o bloco vazado com as dimensões efetivas iguais as dimensões nominais (14x19x39 cm) informadas pelo fabricante, como parâmetro.

A etapa 3, que consiste na simulação numérica dos ensaios de compressão foi feita utilizando os carregamentos de 50 kN, 100 kN e 150 kN. O programa para analisar a treliça foi retirado da monografia de Fabrício Bueno, pois o arquivo de entrada obtido na elaboração do bloco vazado, era compatível com o utilizado na análise da treliça espacial.

As condições impostas sobre o bloco vazado, possuíram restrições em seu formato devido a capacidade de análise do computador. A junta de argamassa foi fixada em 2,5 cm, pois valores menores resultariam em uma discretização maior do bloco, possuindo um número maior de nós e barras, tornando a treliça espacial mais complexa.

Testes informaram baixa capacidade de memória RAM, para a análise ideal do prisma, que seria arestas de 0,5 cm, totalizando juntas de argamassa de 1 cm, porem demonstrando uma boa visibilidade do prisma com as camadas de argamassa e bloco com seus respectivos módulos de elasticidade e Poisson.

Após a elaboração da discretização do bloco, com suas propriedades físicas, mecânicas, as condições de contorno e de carregamento, os resultados foram obtidos através da execução do programa computacional que resolve equações da treliça utilizando o método de Cholesky, finalizando assim os processos de modelagem numérica computacionais executados no projeto, obtendo resultados gráficos do mapeamento das forças causadas na estrutura.

Resultados e Discussão

Seguindo o cronograma proposto no plano de trabalho o código computacional foi desenvolvido e submetido as condições e características do material analisado.

O código computacional desenvolvido gera arquivos de saída, dentre eles possui um arquivo teste para verificação das variáveis do código, um arquivo de pontos que quando plotados, um conjunto de nós representa toda a superfície do maciço e são utilizados para determinar o início e fim das barras. Um arquivo de barras que ao ser plotado representa todo o bloco estrutural de concreto em forma de treliça espacial.

O último arquivo é o arquivo que servirá como entrada de dados para a análise da treliça, já com as condições de contorno, condições de carregamento, módulos de elasticidade, área de influência das barras, número de barras e de nós, que são necessários para o funcionamento do código que analisa a treliça.

As figuras 1,2 e 3 abaixo exemplificam um modelo de prisma com dimensões experimentais.

"Barras8.txt" —

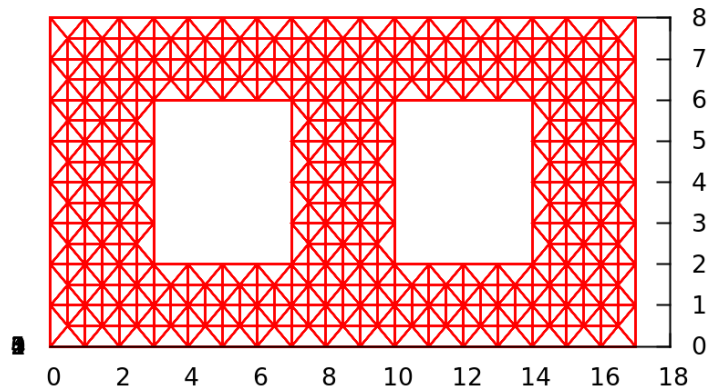


Figura 1: Seção transversal do prisma

"Barras8.txt" —

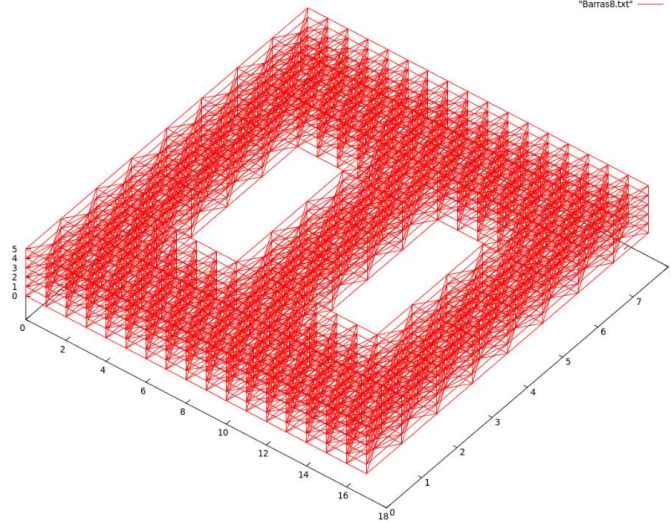


Figura 2: Malha do prisma

"Pontos8.txt" *

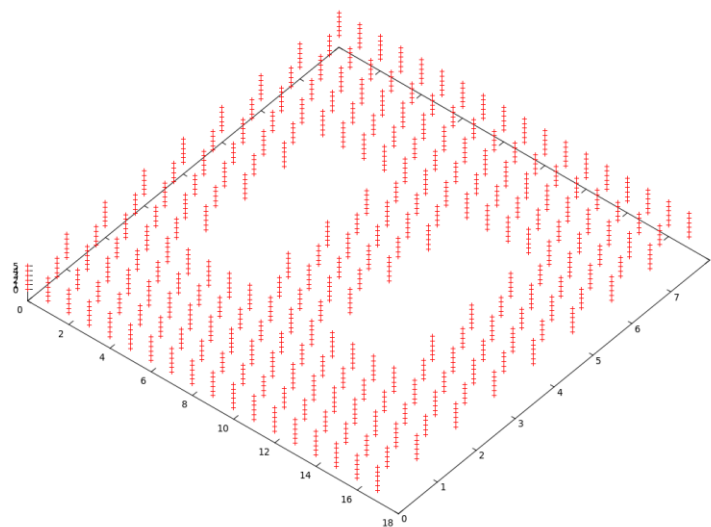


Figura 3: Nós que compõem o prisma

Após toda modelagem computacional e obtenção dos arquivos finais, é possível com a ajuda do gnuplot obter o mapeamento das forças contidas nas barras que é uma representação visual dos esforços no prisma.

O bloco tridimensional com seção transversal vazada possui esforços maiores nas barras diagonais e nas quinas, como é possível se visualizar na figura abaixo, acompanhando a legenda que demonstra a cor verde como esforços mais elevados que a cor azul.

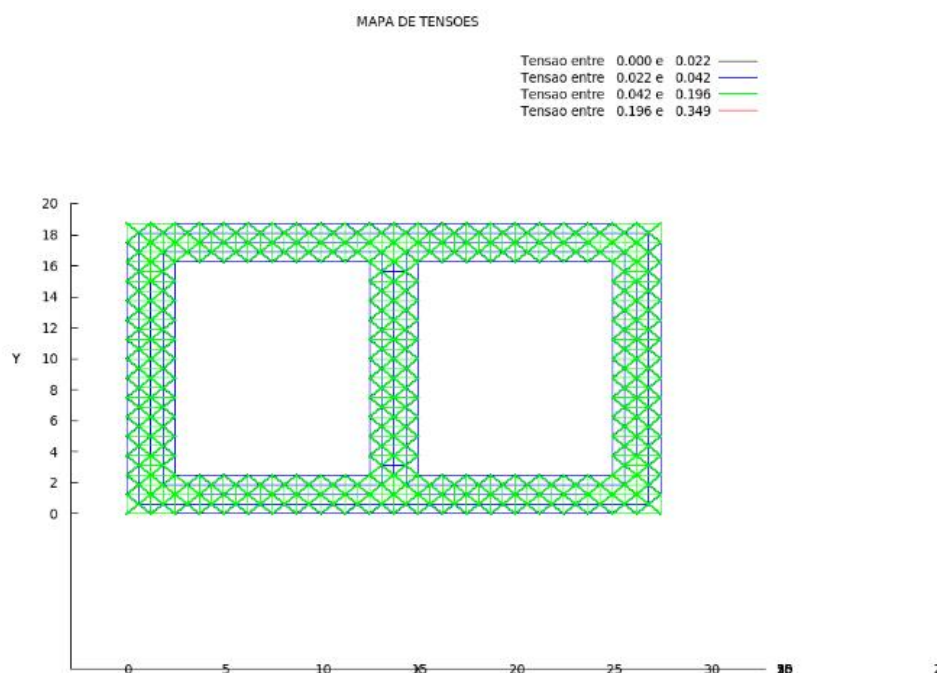


Figura 4: Mapeamento das tensões na seção transversal do prisma.

Analisando o prisma em sua seção longitudinal, outro ponto crítico é observado nas ligações do bloco de concreto com as juntas de argamassa. As barras com propriedades da argamassa transferem os carregamentos para o bloco, mas por possuírem menor resistência comparadas as barras com propriedades do bloco, estas se sujeitam a níveis maiores de esforços, tornando os pontos de transição entre camadas os pontos mais críticos.

É possível observar através do mapeamento, que níveis maiores de esforços se concentram na base da estrutura do prisma, com o número maior de barras diagonais na cor verde, quando comparado com outras camadas dos blocos que possuem predominantemente barras diagonais na cor azul.

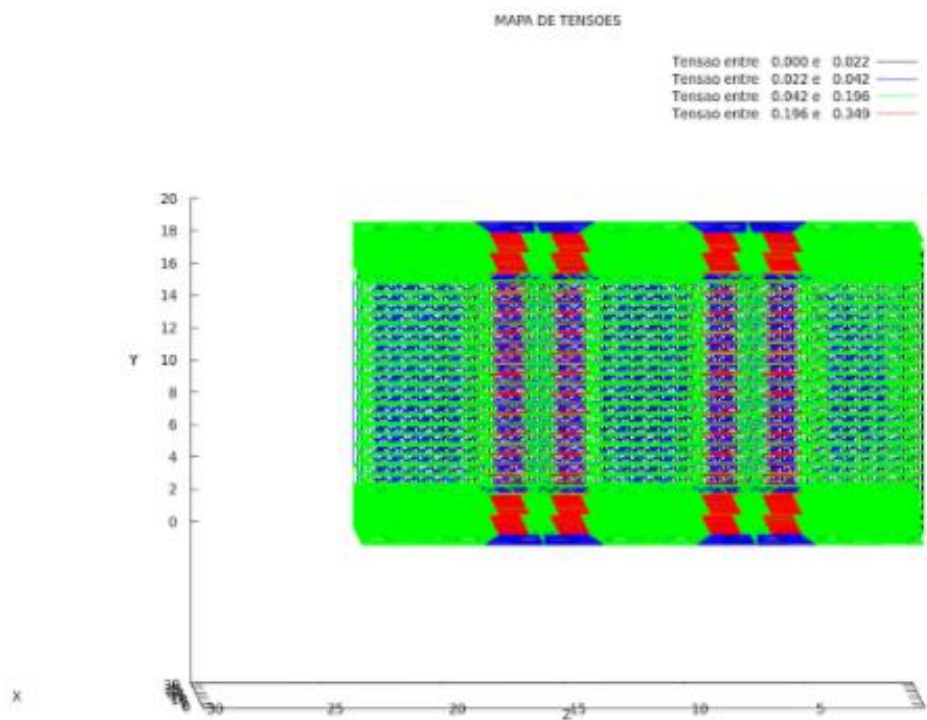


Figura 5: Mapeamento das tensões ao longo do prisma.

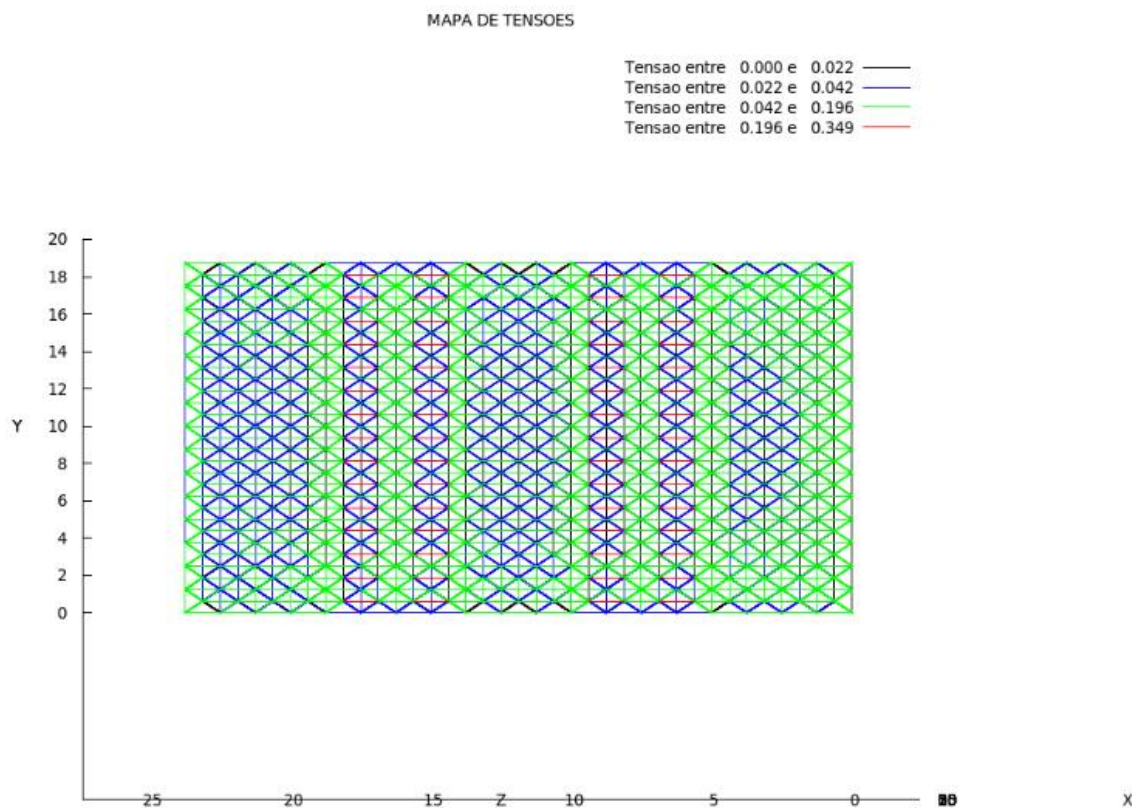


Figura 6: Visão lateral do mapeamento dos esforços no prisma.

MAPA DE TENSOES

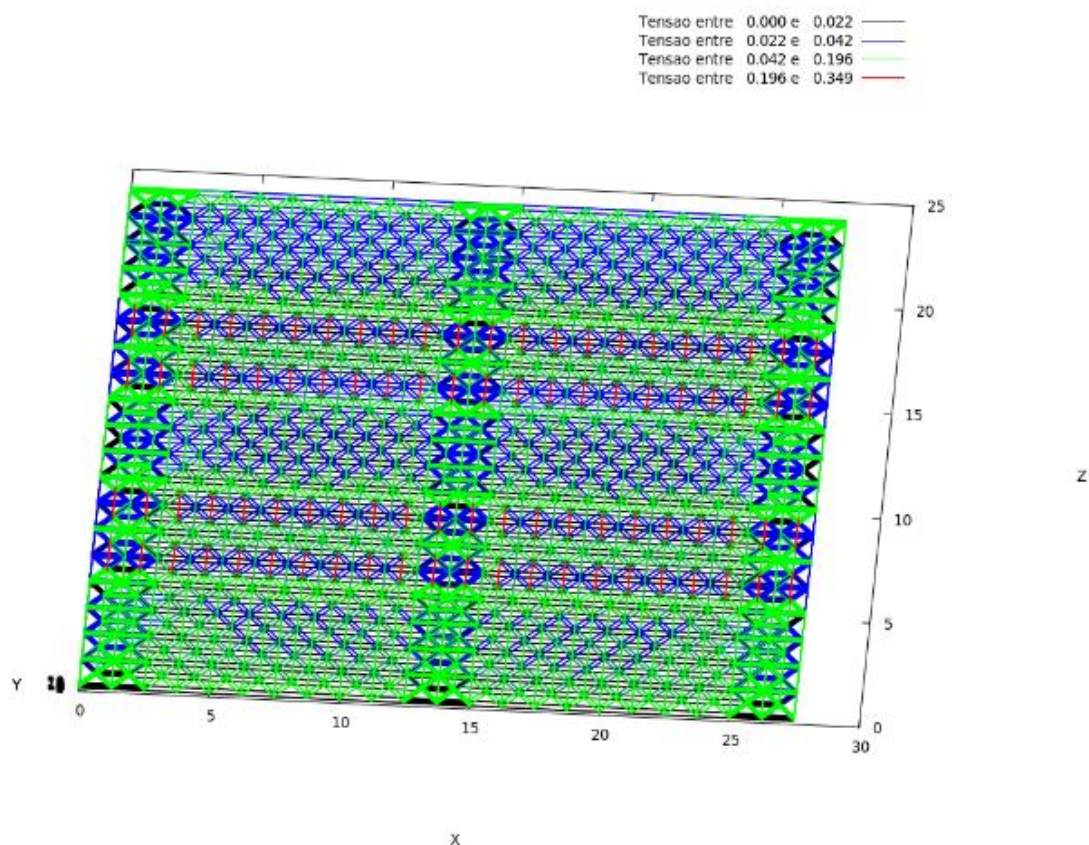


Figura 7: Mapeamento dos esforços em uma das faces do prisma.

MAPA DE TENSOES

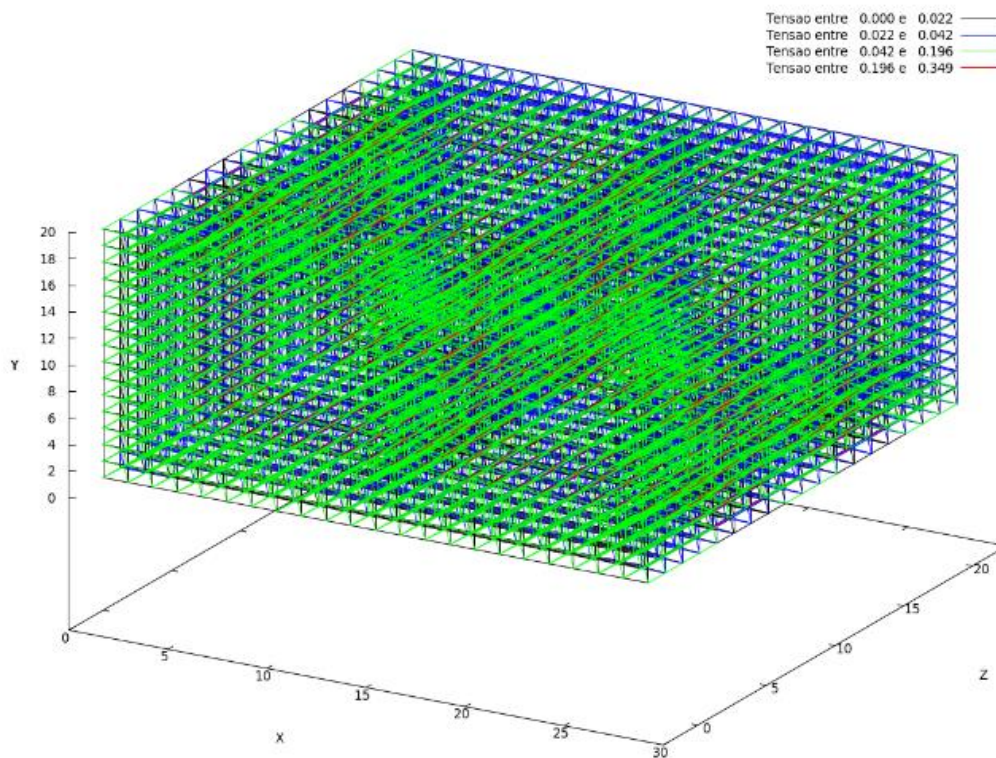


Figura 8: Mapeamento das tensões do prisma.

O mapeamento dos esforços permite a visualização de pontos críticos da estrutura e os pontos propensos ao colapso, possibilitando o foco na otimização de pontos importantes do prisma.

Considerações Finais

Os resultados obtidos do projeto de pesquisa são um ponto de partida para projetos futuros, podendo receber maiores refinamentos na malha, maior nível de discretização do prisma, dimensões diferentes do bloco e da junta de argamassa.

Algumas análises feitas do mapeamento dos esforços coincidiram com os resultados esperados, como os níveis maiores de esforços nas quinas do bloco e na ligação da junta de argamassa com o bloco.

Uma sugestão para projetos futuros é a retirada das barras que atingirem tensões iguais as admissíveis, formando assim uma linha de fratura no prisma e alterando completamente os esforços na barra após a retirada das barras.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelas bênçãos que me concede, por sua misericórdia e bondade, sou grato pelas oportunidades que obtive durante a vida que me proporcionaram aprendizagem e crescimento em diversos aspectos. Sou grato por ter um lar com pais amorosos que valorizam a família e a fé.

Agradeço a Universidade Estadual de Goiás que me possibilitou ter a experiência com um projeto de pesquisa, pela ajuda financeira através da bolsa de pesquisa, e por disponibilizar da estrutura necessária para o desenvolvimento do projeto.

Agradeço ao meu orientador Marcus Vinicius Silva Cavalcanti, que pessoalmente é uma pessoa que admiro muito pelas conquistas que dele conheço, por acreditar em minha capacidade e me conceder a oportunidade de poder aprender com toda sua vivencia, pelos conselhos e pelas críticas construtivas que contribuem para me tornar um aluno melhor.

Agradeço a meus pais, Jaderson Carvalho Ferreira, Marta José da Fonseca Carvalho e irmãos, Anderson Fonseca Carvalho Ferreira e André Fonseca Carvalho Ferreira que com paciência e sabedoria me acalmam em momentos de angústia ou desespero e me motivam, mostrando como é fascinante a capacidade de raciocínio que recebemos de Deus e poder desfrutar com sabedoria deste grande presente.

Referências

- BUENO, F. R. **O USO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS NA ANÁLISE ESTRUTURAL**. Projeto Final, Publicação ENC. PF-026A/06, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 102p. 2006
- CAVALCANTI, M. V. S. **O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS E SUAS APLICAÇÕES COM A MECÂNICA DA FRATURA**. 2001. 34f. Dissertação (Estudo Dirigido) – Universidade de Brasília, Distrito Federal 2001.
- NEUMANN, A. G. **O USO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS NA ANÁLISE ESTRUTURAL**. Projeto Final, Publicação ENC. PF-001A/05, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 41p. 2005.
- SANTANA, E. **SISTEMA DE ANÁLISE DE TRELIÇA – SAT**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Goiás – UEG, 2005.
- COLEÇÃO OS PENSADORES, volume DESCARTES. Ed. Nova Cultura, 1996. p. 78-79. O Discurso do Método. 1996.
- RODRIGUES, D. M.; SILVA, D. G. **OTIMIZAÇÃO DA ESPESSURA DAS JUNTAS DE ARGAMASSA E ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO DA ALVENARIA ESTRUTURAL**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 81p. 2016.