COPPE UFRJ
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

MODELAGEM NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO SUBMETIDOS ÀS CARGAS DO TRÁFEGO E AO EMPENAMENTO TÉRMICO

Jordana Vieira de Almeida

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Francisco Thiago Sacramento Aragão

Rio de Janeiro
Março de 2019

MODELAGEM NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO SUBMETIDOS ÀS CARGAS DO TRÁFEGO E AO EMPENAMENTO TÉRMICO

Jordana Vieira de Almeida

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

_____
Prof.º. Francisco Thiago Sacramento Aragão, Ph. D.

_____
Prof.ª. Laura Maria Goretti da Motta, D.Sc.

_____
Prof.º. José Tadeu Balbo, D.Sc.

_____
Prof.º. Deividi da Silva Pereira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
MARÇO DE 2019

Almeida, Jordana Vieira de

Modelagem Numérica Tridimensional de Pavimentos de Concreto Submetidos às Cargas do Tráfego e ao Empenamento Térmico / Jordana Vieira de Almeida – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XVII, 145 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Francisco Thiago Sacramento Aragão

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 107-110.

1. Pavimento de concreto. 2. Modelagem numérica. 3. Análise de tensões e deformações. I. Aragão, Francisco Thiago Sacramento. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4:13

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado a graça de mais essa conquista, sendo minha força nos momentos de cansaço, minha luz todas as vezes que tive dúvidas e meu amigo nos momentos felizes.

Aos meus pais, Valter e Ana Paula, por todo apoio e incentivo incondicional a todos os meus sonhos e planos. Por serem meu porto seguro e exemplo de honestidade, persistência e força, sempre com simplicidade e amor.

À minha irmã, Narjara, e ao meu cunhado, Renato, que por diversas vezes me acolheram no Rio de Janeiro e fizeram da casa deles a minha segunda casa durante todo o mestrado.

Ao meu irmão, Túlio, pela amizade e por ter me encorajado a começar.

Ao meu orientador, Prof. Francisco Thiago Sacramento Aragão, exemplo de inteligência e competência. Agradeço pelo incentivo, pela compreensão, por ter me aceitado como sua orientada e me desafiado a buscar sempre o melhor de mim.

À Prof.ª Laura Maria Goretti da Motta, por toda a ajuda no decorrer dessa pesquisa, pela sua generosidade ao transmitir tanto conhecimento, sendo ao mesmo tempo exemplo de humildade, competência e simplicidade.

À Concreto Resitamix, em especial ao Sr. Gentil Pereira da Fonseca, por sempre apoiar o aprendizado e prezar pelo avanço tecnológico e pela qualidade. Agradeço por ter possibilitado a minha entrada no mestrado, a realização desta pesquisa e o exercício diário dos conhecimentos adquiridos.

A todos os professores e profissionais da COPPE, em especial à equipe do Laboratório de Informática, por todo apoio e por terem enriquecido meus dias de estudo.

Aos meus colegas, por terem feito tudo ser mais prazeroso e feliz. Obrigada pela amizade e companheirismo. Ter conhecido e convivido com cada um de vocês foi um grande presente proporcionado por este mestrado.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

MODELAGEM NUMÉRICA TRIDIMENSIONAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO SUBMETIDOS ÀS CARGAS DO TRÁFEGO E AO EMPENAMENTO TÉRMICO

Jordana Vieira de Almeida

Março/2019

Orientador: Francisco Thiago Sacramento Aragão

Programa: Engenharia Civil

Os pavimentos de concreto apresentam comportamento estrutural complexo. Para estimar o seu desempenho, considerando várias variáveis, pode-se fazer uso de programas experimentais combinados com modelos numéricos, para facilitar a análise paramétrica e a compreensão dos fatores mais determinantes. Neste estudo, foi desenvolvido um modelo numérico tridimensional para prever o comportamento de um pavimento de concreto simples, quando sujeito às cargas do tráfego e ao empenamento térmico. Para verificar a eficiência do modelo proposto foram comparadas as respostas obtidas na análise numérica, com resultados de instrumentações existentes na literatura (pista de ensaios de Ohio, pavimento experimental da USP e pista experimental do IPR/DNER). O modelo desenvolvido foi usado para avaliar a influência de fatores como a espessura da placa e da sub-base, o módulo de elasticidade do concreto e da sub-base granular e cimentada, o comprimento da placa, o atrito entre placa e sub-base e o efeito das variações térmicas nas tensões e nas deformações. O modelo numérico permite a previsão do comportamento estrutural do pavimento de concreto, e pode ajudar na melhoria do dimensionamento. Com as análises verificou-se que considerar o empenamento térmico é essencial para o dimensionamento e que a espessura e o módulo de elasticidade da placa de concreto e da sub-base cimentada são os fatores que mais afetam o comportamento estrutural do pavimento de concreto.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL MODELING OF CONCRETE PAVEMENTS SUBMITTED TO TRAFFIC LOADS AND THERMAL CURLING

Jordana Vieira de Almeida

March/2019

Advisors: Francisco Thiago Sacramento Aragão

Department: Civil Engineering

Concrete pavements present complex structural behavior. To estimate its performance, considering several variables, we can make use of experimental programs and combined numerical models, to facilitate the parametric analysis and the understanding of the most determinant factors. In this study, a three-dimensional numerical model was developed to predict the concrete pavement behavior, when subjected to traffic loads and thermal curling. In order to verify the proposed model efficiency, the responses obtained in the numerical analysis were compared to results of existing instruments in the literature (Ohio test track, USP experimental pavement, and IPR / DNER experimental track). The developed model was used to evaluate the influence of factors such as slab and sub-base thickness, concrete, granular sub-base and cemented sub-base elastic modulus, slab length, slab and sub-base friction, and the thermal variations effect on the stresses and deformations. The numerical model allows the concrete pavement structural behavior prediction, and can help in the design improvement. The analysis demonstrated that thermal curling is essential for the dimensioning and, furthermore, concrete slab and cemented sub-base characteristics, such as thickness and elastic modulus, are the factors that most affect the pavement structural behavior.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8

2.1 ANÁLISE DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES EM PAVIMENTOS DE CONCRETO 8

2.1.1 Tensões devido ao tráfego 9

2.1.2 Tensões devido ao empenamento térmico 16

2.2 O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO NO BRASIL 20

2.2.1 Método de Dimensionamento da PCA (1984) 21

2.2.2 Método de Dimensionamento da PMSP 26

2.3 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS 31

2.3.1 ILLI-SLAB 32

2.3.2 KENSLABS 34

2.4 ABAQUS 36

2.5 PISTAS INSTRUMENTADAS 41

2.5.1 Pista de ensaios de Ohio 41

2.5.2 Pavimento experimental da USP 43

2.5.3 Pista experimental do IPR/DNER 45

3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO 48

4 CALIBRAÇÃO DO MODELO 62

4.1 MODELO DA PISTA DE ENSAIOS DE OHIO 62

4.2 MODELO DO PAVIMENTO EXPERIMENTAL DA USP 66

4.3 MODELO DA PISTA EXPERIMENTAL DO IPR/DNER 70

4.4 COMPARAÇÃO COM MODELAGEM REALIZADA NO ILSL2 76

5 ANÁLISE PARAMÉTRICA 79

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS 105

6.1 CONCLUSÕES 105

6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS 107

ANEXO I – RELATÓRIOS DAS ANÁLISES DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES GERADOS PELO ABAQUS 113

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Modelos de comportamento da fundação de um pavimento de concreto (RUFINO, 1997)..... 8
Figura 2: Ábaco de influência para determinação de momento (PICKETT e RAY, 1951[2] *apud* HUANG 2004). 14
Figura 3: Ábaco de influência para determinação de deflexão (PICKETT e RAY, 1951[2] *apud* HUANG 2004). 15
Figura 4: Empenamento causado pelas variações térmicas (RUFINO, 1997). 17
Figura 5: Fator de correção (BRADBURY, 1938[4] *apud* HUANG, 2004)..... 19
Figura 6: Curvas de fadiga (DNIT, 2005). 24
Figura 7: Janela Principal do ABAQUS/CAE..... 37
Figura 8: Estrutura do Pavimento de Concreto e seus principais componentes (RAHIMINEZHAD e ZOKAEI, 2016)..... 40
Figura 9: Vista aérea da pista de ensaios de Ohio (SARGAND, 1994). 42
Figura 10: Posicionamento das seções na pista experimental da USP (BALBO *et al.*, 2000)..... 44
Figura 11: Posicionamento dos instrumentos na seção E da pista experimental da USP (BALBO *et al.*, 2004)..... 45
Figura 12: Vista da pista experimental do IPR/DNER (SILVA, 2001). 46
Figura 13: Janela inicial e menu principal do ABAQUS. 48
Figura 14: Exemplo de desenho no módulo *Part*..... 49
Figura 15: Desenho do local onde as barras de transferência serão instaladas e as partições ao redor..... 50
Figura 16: Superfícies da sub-base..... 51
Figura 17: Superfícies das barras de transferência e do local onde serão instaladas na placa e na meia-placa..... 51
Figura 18: Modelo montado na *Assembly* e espaçamento entre as juntas..... 53
Figura 19: Barras de transferência posicionadas na placa..... 53
Figura 20: Interações entre a barra de transferência e a placa e a meia-placa de concreto. 55
Figura 21: Carregamento proveniente do tráfego e condições de contorno..... 56
Figura 22: Análise de convergência de malha..... 57

Figura 23: Modelo desenvolvido na presente pesquisa com a malha de elementos finitos. 58
Figura 24: Malha de elementos finitos na placa de concreto, mostrando o local onde as barras de transferência serão inseridas. 59
Figura 25: Malha de elementos finitos na barra de transferência. 59
Figura 26: Resultados gráficos gerados pelo ABAQUS. 60
Figura 27: Local no qual foram obtidos os resultados que constam nos relatórios da presente pesquisa. 60
Figura 28: Exemplo de relatório gerado pelo Abaqus e usado na presente pesquisa. 61
Figura 29: Espessura das camadas que compõem o modelo da pista de Ohio simulado na presente pesquisa. 63
Figura 30: Dimensões do carregamento usado na pista de ensaios de Ohio na presente pesquisa. 64
Figura 31: Posições dos strain gauges e da célula de pressão instalados na pista de ensaios de Ohio. 64
Figura 32: Ilustração dos resultados gráficos de deformação em X no topo da placa, com sub-base não aderida, da pista de Ohio simulada na presente pesquisa. 65
Figura 33: Espessura das camadas que compõem o modelo do pavimento da USP simulado na presente pesquisa. 66
Figura 34: Dimensões do carregamento usado no pavimento experimental da USP na presente pesquisa. 67
Figura 35: Posições dos *strain gauges* instalados em campo para medir deformações nas direções X e Y na placa de concreto no pavimento experimental da USP. 68
Figura 36: Ilustração dos resultados gráficos de deformações em Y no ponto ε_{1by}, para placa e sub-base consideradas não aderidas, no modelo da presente pesquisa. 69
Figura 37: Espessura das camadas que compõem o modelo da pista do IPR/DNER simulado na presente pesquisa. 70
Figura 38: Dimensões do carregamento usado na pista experimental do IPR/DNER na presente pesquisa. 71
Figura 39: Espessura das camadas que compõem o pavimento usado na análise paramétrica da presente pesquisa. 79
Figura 40: Dimensões do carregamento usado na análise paramétrica da presente pesquisa. 81

Figura 41: Resultados da análise de variação da espessura da placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 82
Figura 42: Resultados da análise de variação da espessura da sub-base granular com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 84
Figura 43: Resultados da análise de variação da espessura da sub-base cimentada não aderida à placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 84
Figura 44: Resultados da análise de variação da espessura da sub-base cimentada aderida à placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 85
Figura 45: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade do concreto com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 87
Figura 46: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade da sub-base granular com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 87
Figura 47: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade da sub-base cimentada não aderida à placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 88
Figura 48: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade da sub-base cimentada aderida à placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 88
Figura 49: Ilustração dos resultados de deformação em Y na análise com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 89
Figura 50: Resultados da análise de variação do comprimento da placa de concreto com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 90
Figura 51: Resultados da análise de variação do atrito entre a placa e a sub-base com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 90
Figura 52: Resultados da análise de variação do gradiente de temperatura positivo com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 93
Figura 53: Resultados da análise de variação do gradiente de temperatura negativo com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 93
Figura 54: Resultados da análise de variação de espessura da placa, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 96
Figura 55: Resultados da análise de variação de espessura da placa, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 96

Figura 56: Resultados ilustrativos para tensão em X, na placa de 0,20 m, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 97
Figura 57: Resultados ilustrativos para tensão em X, na placa de 0,20 m, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 97
Figura 58: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade do concreto, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 98
Figura 59: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade do concreto, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 98
Figura 60: Resultados da análise de variação do comprimento da placa, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 99
Figura 61: Resultados da análise de variação do comprimento da placa, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 99
Figura 62: Resultados da análise de variação do coeficiente de atrito entre a placa e a sub-base, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 100
Figura 63: Resultados da análise de variação do coeficiente de atrito entre a placa e a sub-base, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 101
Figura 64: Resultados da análise de variação do coeficiente de expansão térmico do concreto, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 102
Figura 65: Resultados da análise de variação do coeficiente de expansão térmico do concreto, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 102
Figura 66: Comportamento das tensões e das deformações com a análise de variações de vários fatores usando o modelo proposto na presente pesquisa. 104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores de segurança de cargas (DNIT, 2005). 23
Tabela 2: Dados de referência para o cálculo da distribuição de diferenciais térmicos diurnos (PMSP, 2004). 28
Tabela 3: Modelos experimentais de fadiga a serem adotados no dimensionamento (PMSP, 2004). 30
Tabela 4: Comparação entre o ABAQUS/STANDARD e o ABAQUS/EXPLICIT (Rangel, 2017) 38
Tabela 5: Propriedades dos materiais da pista de ensaios de Ohio segundo Sargand e Beegle (1998) usadas na modelagem da presente pesquisa. 63
Tabela 6: Resultados de tensões e deformações obtidas em campo na pista de ensaios de Ohio, com o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre os resultados do campo e os do modelo desenvolvido na presente pesquisa. 65
Tabela 7: Propriedades dos materiais do pavimento experimental da USP usados na modelagem da presente pesquisa. 67
Tabela 8: Resultados de deformações obtidas em campo no pavimento experimental da USP, no modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre os resultados do campo e os do modelo desenvolvido na presente pesquisa. 69
Tabela 9: Propriedades dos materiais da pista experimental do IPR/DNER segundo Silva (2001), usadas na modelagem da presente pesquisa. 71
Tabela 10: Resultados de tensões e deformações obtidos em campo na pista do IPR/DNER, para carga proveniente do tráfego, no modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre os resultados do campo e os do modelo desenvolvido na presente pesquisa. 72
Tabela 11: Resultados de tensões na pista do IPR/DNER para as cargas térmicas, com placa e sub-base não aderidas, obtidos com as equações de Bradbury, com o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre eles. 74
Tabela 12: Resultados de tensões para placa e sub-base não aderidas, usando a solução de Westergaard e de Bradbury, a superposição delas, o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre a superposição e os resultados do modelo, para Δt=12,8ºC. 75

Tabela 13: Resultados de tensões para placa e sub-base não aderidas, usando a solução de Westergaard e de Bradbury, a superposição delas, o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre a superposição e o os resultados do modelo, para Δt=-3,9ºC. 76
Tabela 14: Resultados do pavimento da USP obtidos em campo, com a modelagem no ILSL2 e no ABAQUS. 77
Tabela 15: Resultados da pista IPR/DNER obtidos em campo, com a modelagem no ILSL2 e no ABAQUS. 77
Tabela 16: Resultados de carregamento do tráfego e de empenamento térmico agindo simultaneamente, obtidos por superposição das equações de Westergaard e de Bradbury, com o ILSL2 e com o modelo desenvolvido na presente pesquisa. 78
Tabela 17: Propriedades iniciais dos materiais do pavimento usado na análise paramétrica da presente pesquisa. 79
Tabela 18: Fatores que foram variados na análise paramétrica da presente pesquisa. ... 80
Tabela 19: Propriedades dos materiais para análise do empenamento térmico usadas no modelo desenvolvido na presente pesquisa. 91
Tabela 20: Fatores que variaram na análise paramétrica para estudo do empenamento térmico e das cargas do tráfego agindo simultaneamente. 94
Tabela 21: Coeficientes de expansão térmica do concreto de acordo com o tipo de agregado (FHWA, 2016). 101

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AASHO:	*American Association of State Highway Officials*
AASHTO:	*American Association of State Highway and Transportation Officials*
BGS:	Brita Graduada Simples
BGTC:	Brita Graduada Tratada com Cimento
CAD:	Concreto de Alto Desempenho
CBR:	Índice de Suporte Califórnia
CCR:	Concreto compactado com rolo
CRF:	Consumo de Resistência a Fadiga
DNER:	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT:	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FHWA:	*Federal Highway Administration*
FSC:	Fator de Segurança de Carga
IPR:	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
LVDT:	*Linear Variable Differential Transformer*
MEPDG:	*Mechanist-Empirical Pavement Design Guide*
NCHRP:	*National Cooperative for Highway Research Program*
PCA:	*Portland Cement Association*
PMSP:	Prefeitura Municipal de São Paulo
RT:	Relação entre Tensões
SG:	*Strain gauge*
SHRP:	*Strategic Highway Research Program*

SPS:	*Specific Pavement Studies*
USP:	Universidade de São Paulo

1 INTRODUÇÃO

No Brasil o transporte rodoviário é o meio mais utilizado para o deslocamento de pessoas e cargas, dentro das cidades e entre elas. Para manter o conforto e a segurança do usuário são necessários pavimentos de alta durabilidade e pouca manutenção, capazes de suportar trânsito intenso e cargas elevadas. Ao mesmo tempo, o custo da construção do pavimento é um fator determinante, busca-se sempre a sua redução, mantendo os padrões de qualidade e durabilidade.

Tradicionalmente os pavimentos são classificados como flexíveis ou rígidos, remetendo à sua característica de deformabilidade ou à capacidade de acompanhar os deslocamentos do subleito, apesar de atualmente saber-se que esses termos não são de todo pertinentes conceitualmente de maneira absoluta. Na prática cotidiana, o termo pavimento flexível está diretamente associado a pavimento com revestimento asfáltico e o termo pavimento rígido a pavimento com revestimento de concreto de cimento *Portland* ou apenas pavimento de concreto.

Atualmente, o pavimento de concreto tem sido utilizado principalmente em rodovias com grande fluxo de veículos e maior intensidade de carga e em vias urbanas de alto tráfego. Apresenta custo de execução pouco mais elevado, em parte porque costuma ser dimensionado para maior vida útil (aproximadamente 20 anos, o dobro do pavimento asfáltico), mas quando bem construído, demanda menos intervenções de manutenção.

Para realizar um dimensionamento adequado, que atenda a vida útil desejada, de acordo com o contexto ao qual o pavimento será submetido, é imprescindível conhecer as tensões e deformações que irão ocorrer na sua estrutura. Nos pavimentos de concreto essas tensões e deformações são causadas principalmente pelas cargas provenientes do tráfego e pelo empenamento da placa de concreto devido às variações de temperatura que ocorrem ao longo do dia.

Segundo Medina e Motta (2015), a Mecânica dos Pavimentos considera o pavimento como um sistema de camadas sujeito a cargas diversas. Conhecendo os parâmetros de deformabilidade de cada material que o compõe, verificam-se as tensões e deformações que ocorrem na sua estrutura e o número de aplicações de carga

necessário para levar o revestimento à ruptura por fadiga, atentando sempre para a deformação permanente e a ruptura plástica. Devem ser consideradas também as variações de temperatura e umidade nas camadas.

Para determinar as tensões e deformações, inicialmente eram utilizados modelos analíticos, como as equações propostas por Westergaard (1926)[1] e ábacos de influência, como os de Pickett e Ray (1951)[2], citados por Rufino (1997), ou tabelas e ábacos, como nos métodos de dimensionamento adotados no Brasil pelo DNER/DNIT. Mas, para cálculos mais modernos, são usadas as análises numéricas em programas computacionais, baseadas principalmente no método dos elementos finitos.

As análises numéricas permitem a obtenção de respostas mais adequadas, por possibilitarem que fatores determinantes no desempenho do pavimento de concreto sejam considerados, como por exemplo: placas de qualquer dimensão assentes sobre duas ou mais camadas, aderidas ou não e compostas por materiais de iguais ou diferentes propriedades; diferentes tipos de fundação; transferência de carga entre as juntas; qualquer condição de carregamento, como múltiplos eixos, pressões dos pneus variáveis e qualquer distância entre a carga aplicada e as juntas ou bordas da placa; etc.

No Brasil, o método corrente de dimensionamento de pavimentos de concreto é o da *Portland Cement Association* (PCA) de 1984, que consta do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005). Este método tem base teórica mecanicista, porém com certas limitações. Para analisar as tensões e deformações causadas pelo carregamento do tráfego, faz uso de tabelas de tensões que provieram da aplicação de um método dos elementos finitos, apresentado de forma simplificada. O método contempla a ruptura do pavimento por fadiga e por erosão (perda de suporte localizada), considerando posições relativas das cargas e o efeito da sub-base de forma indireta, não levando em conta os efeitos do empenamento térmico das placas de concreto.

O método da PCA (1984) foi desenvolvido nos Estados Unidos, levando em consideração condições muito diferentes das brasileiras. Portanto, os pavimentos dimensionados usando o método muitas vezes não obtêm o desempenho desejado. Na

---

[1] WESTERGAARS, H. M (1926). *Stresses in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis*. Public Roads. Whashington, D.C., EUA.

[2] PICKETT, G.; RAY, G. K (1951). *Influence Charts for Concrete Pavement*. Transactions, ASCE, Transactions, ASCE. Whashington, D.C., EUA.

literatura brasileira, existem diversos estudos sobre os pavimentos de concreto, que levam em consideração as características dos concretos locais. Pereira (2001, 2003) estudou os gradientes térmicos e as deformações em w*hitetopping* ultradelgado em uma pista experimental instrumentada e analisou a condição de aderência entre placa de concreto e base cimentada ou asfáltica. Silva (2001) e Severi (2002) estudaram o gradiente de térmico nas placas de concreto, no Rio de Janeiro e em São Paulo, respectivamente. Rodolfo e Balbo (2002) modelaram tensões em pavimentos de concreto submetidos a gradientes térmicos e a cargas provenientes do tráfego. Cervo (2004) desenvolveu um modelo de fadiga em laboratório para concretos nacionais.

Com base nesses estudos e em vários outros, em 2004, o professor José Tadeu Balbo liderou o desenvolvimento do método de dimensionamento de pavimentos de concreto da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP), o primeiro método brasileiro para o dimensionamento de pavimentos de concreto. Posteriormente, Rodolfo e Balbo (2009, 2010) estudaram ainda um novo critério de dimensionamento de pavimentos de concreto simples para as cargas ambientais e do tráfego e modelos para o dimensionamento de pavimentos de concreto simples submetidos a carregamentos rodoviários e ambientais, empregando análise multivariada de dados.

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos muitos modelos estruturais mais avançados que os da PCA, que utilizam programas computacionais baseados no método dos elementos finitos, para calcular tensões e deformações nos pavimentos de concreto, usando modelos bidimensionais. Entre estes, destacam-se, o KENSLABS e o ILLI-SLAB. O primeiro faz parte do pacote computacional KENPAVE, aprimorado em sua última versão por Huang (2004). O segundo foi desenvolvido em 1977 por Tabatabaie na universidade de Illinois, adaptado e melhorado por Kazanovich e Ioannides (1993)[3] citado por Silva (2001), quando passou a se chamar ILSL2 e, em sua última versão, virou ISLAB2000, atualizado por Khazanovich *et al.*, em 2000. Ambos são programas fechados, nos quais o usuário apenas fornece os dados de entrada (carregamento, geometria da placa, tipo de base e fundação, propriedades dos materiais, entre outros)

---

[3] KHAZANOVICH L.; IOANNIDES A. M (1993). *Finite Element Analysis of Slabs-On-Grade Using Improved Subgrade Soil Models*. Proceedings of the ASCE Specialty Conference Airport Pavement Innovations - Theory to Practice. Waterways Experiment Station, Vicksburg, MI, EUA.

para obter os dados de saída (tensões e deformações em um determinado ponto, entre outros).

Rufino (1997) analisou tensões com os programas ILSL2 e KENSLABS variando a posição de carregamento na placa e observou que ambos resultaram em tensões próximas, sendo as do KENSLABS um pouco inferiores. Silva (2001) comparou valores medidos em campo com resultados calculados pelos programas ELSYM5, DIPLOMAT, ILSL2 e KENSLABS e concluiu que os dois últimos são mais apropriados para a verificação de pavimentos de concreto por possibilitarem considerar na análise condições mais realistas. Gondim (2008) estudou o KENSLABS 2004 e comparou o dimensionamento de um pavimento hipotético, utilizando o método da PCA (1984) e o KENSLABS, chegando à conclusão de que este programa apresenta grandes vantagens sobre o método da PCA, visto que faz uma análise mais realista da sub-base e pode considerar o efeito dos gradientes térmicos.

Os pavimentos apresentam comportamento estrutural complexo. Portanto, para estimar adequadamente o seu desempenho, são necessários modelos que consigam representar da forma mais aproximada possível a sua condição real. Cada vez mais as análises tridimensionais têm sido usadas nas diversas áreas da engenharia, por serem capazes de considerar detalhes que as análises bidimensionais não contemplam. No caso do pavimento de concreto, as análises tridimensionais podem ser usadas para verificar seu comportamento quando submetidos às cargas do tráfego e ao empenamento térmico simultaneamente, com maior riqueza de detalhes, como, por exemplo, ao verificar o atrito horizontal na interface entre as diferentes camadas e as tensões que ocorrem no contato entre as barras de transferência e o concreto.

O ABAQUS é um pacote computacional “genérico”, baseado no método dos elementos finitos, que permite analisar tensões e deformações em qualquer tipo de estrutura. Trata-se de um *software* de propriedade da empresa *Dassault Systèmes Simulia*, que permite modelar problemas complexos, sendo muito utilizado para análises tridimensionais. Na presente pesquisa este programa foi usado para analisar a estrutura dos pavimentos de concreto. Entretanto, por se tratar de um programa aberto para a análise de diversas estruturas, todos os parâmetros precisaram ser customizados especificamente para esta modelagem.

Tendo em vista o exposto, a presente pesquisa busca contribuir com o

desenvolvimento de um modelo numérico em três dimensões, para previsão do comportamento estrutural dos pavimentos de concreto, quando submetidos às cargas provenientes do tráfego e ao empenamento térmico. Esta dissertação visa contribuir para futuras melhorias do dimensionamento deste tipo de pavimento, visto que a análise adotada pelo método da PCA (1984), que ainda é o mais usado no Brasil, há muito não é atualizada e não leva em consideração o empenamento térmico. Também visa identificar e entender melhor a influência de alguns dos fatores que afetam a distribuição de tensões e deformações nos pavimentos de concreto, destacando as variáveis que apresentam maior influência, para que possam ser consideradas de forma mais relevante no desenvolvimento futuro de novos métodos de dimensionamento.

O objetivo principal da presente dissertação foi desenvolver e calibrar um modelo numérico em três dimensões, com o programa computacional ABAQUS, para previsão das tensões e deformações que ocorrem na estrutura do pavimento de concreto simples, causadas pelas cargas provenientes do tráfego e pelo empenamento térmico da placa de concreto. Adicionalmente, foi analisada a influência de alguns fatores que podem fazer com que essas tensões e deformações se modifiquem. São eles: a espessura e o módulo de elasticidade da placa de concreto e da sub-base, o comprimento da placa, o atrito entre a placa e a sub-base e os gradientes térmicos positivos e negativos. Também foram realizadas algumas análises complementares para verificar a influência da espessura e do comprimento da placa, do módulo de elasticidade do concreto, do atrito entre a placa e a sub-base e do coeficiente de expansão térmica nas tensões e deformações causadas pelo carregamento térmico e do tráfego agindo simultaneamente, conforme acontece nos pavimentos reais.

Existem vários tipos de pavimentos de concreto, classificados de acordo com os materiais empregados e a sua concepção estrutural, sendo os principais:

- Pavimento de concreto simples - constituído por placas compostas apenas por concreto de cimento Portland. Portanto, somente o concreto resiste a todos os esforços.
- Pavimento de concreto simples com armadura descontínua - as placas são constituídas por concreto e por armaduras de aço distribuídas de forma descontínua, sem função estrutural.
- Pavimento de concreto simples com armadura contínua - as placas são

constituídas por concreto e por armaduras de aço distribuídas em toda a sua extensão, sem função estrutural e sem juntas de retração cortadas ou serradas.

- Pavimento de concreto armado - as placas são constituídas por concreto e por duas armaduras de aço, uma na parte de cima da placa, para inibir a propagação de fissuras e a outra embaixo, exercendo função estrutural.
- Pavimento de concreto protendido - aquele no qual é imposto um estado de compressão no concreto, antes de ocorrerem às solicitações por cargas externas.
- Pavimento whitetopping - trata-se de uma camada de revestimento de concreto simples ou armado, executada sobre o pavimento já existente, para revitalizar a camada de rolamento.
- Pavimento intertravado de concreto - composto por revestimento de peças pré-moldadas de concreto assentadas sobre camada de areia ou pé de pedra.

Na presente pesquisa, serão analisados os pavimentos de concreto simples, assentes sobre base e/ou sub-base granular ou cimentada e subleito. Para calibrar a customização feita no ABAQUS nesta dissertação, foram realizadas comparações com resultados de literaturas diversas, visando confirmar se as análises realizadas podem ser consideradas adequadas. Os resultados obtidos para carregamento proveniente do tráfego foram comparados com resultados determinados em medições de campo realizadas em seções de pavimento instrumentadas. Para pavimento de concreto com barras de transferência nas juntas, foi analisada uma pista de ensaios construída em Ohio, nos Estados Unidos, estudada por Sargand (1994). Para pavimento de concreto sem barras de transferência nas juntas, foi analisado o pavimento experimental construído no campus da USP, em São Paulo, para estudo dos efeitos das variações térmicas nos pavimentos de concreto, apresentado por Balbo *et al.* (2000). Para a calibração das cargas térmicas, inclusive quando elas agem simultaneamente às cargas provenientes do tráfego, foi realizada a modelagem da pista experimental do IPR/DNER, construída no Rio de Janeiro para os estudos de *whitetopping*, realizados por Silva (2001), para comparar os resultados obtidos com os calculados pela solução analítica proposta por Bradbury (1938)[4], citada pela autora.

Além do presente capítulo, esta dissertação é composta por:

---

[4] BRADBURY, R. D (1938). *Reinforced Concrete Pavements*. Wire Reinforcement Institute, Washington, D.C., EUA.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Apresenta as principais maneiras de determinar as tensões e deformações que ocorrem nos pavimentos de concreto, destacando as tensões provenientes do tráfego e causadas pelo empenamento térmico. Aborda o dimensionamento de pavimentos de concreto no Brasil e os programas computacionais baseados em modelos bidimensionais e considerados mais completos pela literatura. Fala sobre o ABAQUS, programa computacional que foi usado na pesquisa e sobre as pistas experimentais instrumentadas usadas para calibrar o modelo desenvolvido na presente dissertação.

Capítulo 3 – Desenvolvimento do Modelo

Descreve como foi desenvolvido o modelo de elementos finitos tridimensional para previsão do comportamento estrutural dos pavimentos de concreto.

Capítulo 4 - Calibração do Modelo

Compara as respostas encontradas usando o modelo desenvolvido, com medições realizadas em campo, para o carregamento proveniente do tráfego e com uma solução analítica, para determinar as tensões devido ao empenamento térmico.

Capítulo 5 - Análise Paramétrica

Analisa a influência de fatores como a espessura e o módulo de elasticidade da placa de concreto e da sub-base, o comprimento da placa, o atrito entre a placa e a sub-base e os gradientes térmicos positivos e negativos, nas tensões e deformações que ocorrem na placa de concreto.

Capítulo 6 – Conclusões e Sugestões de Pesquisas Futuras

Apresenta as conclusões obtidas com a pesquisa e sugere pontos a serem explorados por futuros estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANÁLISE DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES EM PAVIMENTOS DE CONCRETO

Para prever o desempenho do pavimento de concreto, sendo este um sistema composto por camadas e sujeito a cargas diversas, é indispensável conhecer as distribuições de tensões e deformações que ocorrem na sua estrutura. Para determiná-las, podem ser utilizadas soluções exatas ou numéricas, baseadas principalmente no método dos elementos finitos.

O subleito, também conhecido como fundação do pavimento, é uma camada de suporte da estrutura e pode ser representado principalmente como um líquido denso ou um sólido elástico. O líquido denso ou conjunto de molas é caracterizado pelo módulo de reação do subleito (k), no qual a deflexão em qualquer ponto da placa é proporcional à pressão de reação apenas no ponto considerado, conforme a teoria de Winkler (1867)[5], citada por Rufino (1997). O sólido elástico é caracterizado pelo módulo de elasticidade e pelo coeficiente de Poisson e o deslocamento em um ponto não depende apenas da tensão neste ponto, mas também daquelas nos pontos próximos a ele. Na realidade, o subleito apresenta um comportamento intermediário entre o líquido denso e o sólido elástico, como mostra a Figura 1.

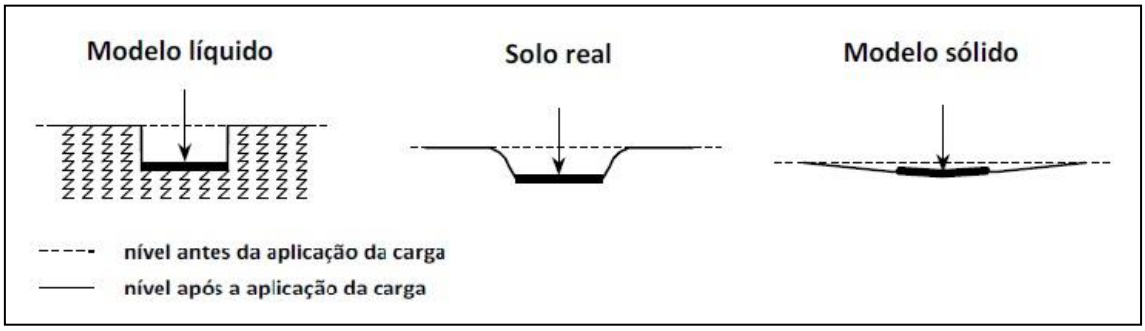

Figura 1: Modelos de comportamento da fundação de um pavimento de concreto (RUFINO, 1997).

Fatores como o tráfego e as variações de temperatura são determinantes na análise estrutural dos pavimentos de concreto, por serem os principais responsáveis pela existência das tensões e das deformações. Para verificar de forma correta o

[5] WINKLER, E (1867). *Die Lehre Von Elasticitaet Und Festigkeit*. 1 ed., H. Dominicus, Prague.

comportamento deste tipo de pavimento, Huang (2004) afirma que os modelos estruturais precisam analisar: placas de qualquer dimensão; sistemas de placas com duas ou mais camadas, aderidas ou não, e compostas por materiais de iguais ou diferentes propriedades; fundações como líquido denso ou sólido elástico; placas com suporte uniforme ou não; perda de suporte por erosão ou outra causa; transferência de cargas entre as juntas ou fissuras; qualquer condição de carregamento nas placas, como múltiplos eixos, pressões dos pneus variáveis e qualquer distância entre a carga aplicada e as fissuras, juntas ou bordas da placa; deformações e empenamento da placa simultaneamente à resposta ao carregamento; pavimentos com diversas condições de acostamento, como revestidos por concreto asfáltico ou concreto com barras de ligação; e sistemas com placas ou acostamento com espessuras não uniformes.

2.1.1 Tensões devido ao tráfego

Segundo Gondim (2008) as tensões devido ao tráfego podem ser determinadas por soluções analíticas, como as equações matemáticas desenvolvidas por Westergaard (1926[1], 1948[6]), por ábacos de influência, como os de Pickett e Ray (1951)[2], ou por soluções numéricas, baseadas principalmente no método dos elementos finitos.

Westergaard (1926[1], 1948[6]) *apud* Gondim (2008) desenvolveu equações ajustadas empiricamente, para calcular tensões e deflexões críticas, causadas por um carregamento de eixo simples, com área de contato circular, semicircular, elíptica ou semielíptica, em uma placa infinita, ou seja, com o comprimento muito maior que a largura, considerada homogênea, isotrópica, elástica e apoiada em subleito considerado como líquido denso. Condições muito diferentes das que de fato ocorrem em campo. Foram analisadas três posições de carregamento na placa de concreto: centro, canto e borda longitudinal.

Para a análise do carregamento proveniente do tráfego, aplicado no canto da placa, considerou-se uma carga concentrada P, gerando uma tensão simétrica em relação à diagonal. Para uma seção transversal com distância x do canto, tem-se momento fletor igual a P_x e largura da seção igual a 2x. Ao desprezar o apoio do

---

[6] WESTERGAARD, H. M (1948). *New Formulas for Stresses in Concrete Pavements of Airfields*. Transactions, ASCE. Whashington, D.C., EUA.

subleito e considerar a laje como uma viga em balanço, a tensão de tração no topo da placa é estabelecida por:

$$\sigma_c = \frac{P_x}{\frac{1}{6}(2x)h^2} = \frac{3P}{h^2} \tag{2.01}$$

Sendo σ_c a tensão devido ao carregamento no canto, P a carga concentrada, x a distância do canto e h a espessura da placa.

Para reações grandes do subleito, devido à seção de tensão máxima estar longe do canto, foi utilizado o Método de Aproximações Sucessivas de Ritz, baseado no princípio da mínima energia, e a utilização das equações 2.02 e 2.03 foi proposta. Também foi determinado que o momento máximo ocorre a uma distância de $2{,}38\sqrt{a.l}$ do canto. Para a = 0, as equações 2.01 e 2.02 são iguais.

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2}\left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)^{0,6}\right] \tag{2.02}$$

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2}\left[1{,}1 - 0{,}88\left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)\right] \tag{2.03}$$

Sendo Δ_c a deflexão de canto, k o módulo de reação do subleito, a o raio de contato e l o raio de rigidez relativa.

Ao utilizar o método dos elementos finitos para verificar as soluções de Westergaard, Ioannides *et al.* (1985) sugeriram utilizar a relação expressa pelas equações 2.04 e 2.05 e determinaram que o momento máximo ocorre a uma distância de $180c^{0,32}l^{0,59}$ do canto.

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2}\left[1 - \left(\frac{c}{l}\right)^{0,72}\right] \tag{2.04}$$

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2}\left[1{,}205 - 0{,}69\left(\frac{c}{l}\right)\right] \tag{2.05}$$

Sendo c o comprimento do lado de uma área de contato quadrada.

Ao aplicar uma carga sobre uma área circular, deve-se selecionar o valor de c de modo que o quadrado e o círculo fiquem com a mesma área de contato, sendo:

$$c = 1{,}772.a \tag{2.06}$$

Para calcular a tensão de tração no interior da placa, produzida por uma carga P uniformemente distribuída sobre uma área circular, Westergaard (1926)[1] *apud* Gondim (2008) desenvolveu a seguinte equação:

$$\sigma_i = \frac{3(1+\upsilon)P}{2\pi h^2}\left(\ln\frac{l}{b} + 0{,}6159\right) \tag{2.07}$$

Sendo σ_i a tensão no interior da placa, υ o coeficiente de Poisson do concreto e:

$$b = a \text{ para } a \geq 1{,}724h \tag{2.08a}$$

$$b = \sqrt{1{,}6a^2 + h^2} - 0{,}675h \text{ para } a < 1{,}724h \tag{2.08b}$$

Para o cálculo da deflexão no interior da placa, foi proposto o uso da seguinte equação:

$$\Delta_i = \frac{P}{8kl^2}\left\{1 + \frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{a}{2l}\right) - 0{,}673\right]\left(\frac{a}{l}\right)^2\right\} \tag{2.09}$$

Estudos sobre a carga aplicada na borda da placa foram apresentados por Westergaard em diferentes ocasiões. Em 1926, ele considerou uma carga semicircular uniformemente distribuída de raio a, calculada a partir da introdução de um raio equivalente b. Novos estudos, apresentados em 1948, propunham soluções para cargas com área de contato elíptica e semi-elíptica. Esses estudos definiram o comprimento dos semi-eixos, principal e secundário, da elipse, proporcionando soluções para um carregamento de área circular ou semicircular, a partir do raio de contato. Segundo Ioannides *et al*. (1985), as equações corretas para este uso são as seguintes:

- Para carga circular tangente à borda

$$\sigma_b = \frac{3(1+\upsilon)P}{\pi(3+\upsilon)h^2}\left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100ka^4}\right)+1{,}84-\frac{4\upsilon}{3}+\frac{1-\upsilon}{2}+\frac{1{,}18(1+2\upsilon)a}{l}\right] \quad (2.10)$$

$$\Delta_b = \frac{P\sqrt{2+1{,}2\upsilon}}{\sqrt{Eh^3}k}\left[1-\frac{(0{,}76+0{,}4\upsilon)a}{l}\right] \quad (2.11)$$

- Para carga semicircular tangente à borda

$$\sigma_b = \frac{3(1+\upsilon)P}{\pi(3+\upsilon)h^2}\left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100ka^4}\right)+3{,}84-\frac{4\upsilon}{3}+\frac{(1+2\upsilon)a}{2l}\right] \quad (2.12)$$

$$\Delta_b = \frac{P\sqrt{2+1{,}2\upsilon}}{\sqrt{Eh^3}k}\left[1-\frac{(0{,}323+0{,}17\upsilon)a}{l}\right] \quad (2.13)$$

- Para carga elíptica tangente à borda

$$\sigma_b = \frac{0{,}803P}{h^2}\left[4\log\left(\frac{l}{a}\right)+0{,}666\left(\frac{a}{l}\right)-0{,}034\right]$$

(2.14)

$$\Delta_b = \frac{0{,}431P}{kl^2}\left[1-0{,}82\left(\frac{a}{l}\right)\right] \quad (2.15)$$

- Para carga semi-elíptica tangente à borda

$$\sigma_b = \frac{0{,}803P}{h^2}\left[4\log\left(\frac{l}{a}\right)+0{,}282\left(\frac{a}{l}\right)-0{,}650\right]$$

(2.16)

$$\Delta_b = \frac{0{,}431P}{kl^2}\left[1-0{,}349\left(\frac{a}{l}\right)\right] \quad (2.17)$$

Sendo σ_b a tensão na borda da placa, Δ_b a deflexão na borda da placa e E o módulo de elasticidade do concreto.

Gondim (2008) afirma que Pickett e Ray (1951)[2] foram os primeiros a propor a utilização de ábacos de influência para o cálculo de tensões e deflexões causadas por

qualquer configuração de carga aplicada em placa de concreto assente sobre fundação como líquido denso, tendo como base a teoria de Westergaard, o módulo de elasticidade do concreto igual a 28 GPa e o coeficiente de Poisson igual a 0,15. Entretanto, atualmente, devido aos tipos específicos de cimento e ao uso de aditivos existem concretos com até 40 GPa de módulo de elasticidade.

Nos estudos de Pickett e Ray (1951)[2] foram disponibilizados ábacos apenas para cargas atuantes no interior e na borda da placa de concreto. Ao utilizar os ábacos de influência para determinar o momento no interior da placa, primeiro deve-se determinar o raio de rigidez relativa, através da equação 2.18. Posteriormente, desenha-se no ábaco a posição dos pneus, considerando a escala em função do raio de rigidez relativa, conforme mostra a Figura 2. Em seguida, a quantidade de blocos cobertos pela área de contato dos pneus é contada, possibilitando calcular o momento em certa direção, através da equação 2.19.

$$l = \left[\frac{E_c h^3}{12\left(1-\upsilon^2\right)k} \right]^{0,25} \tag{2.18}$$

$$M = \frac{q l^2 N}{10000} \tag{2.19}$$

Sendo l o raio de rigidez relativa, E_c o módulo de elasticidade do concreto, h a espessura da placa, υ o coeficiente de Poisson do concreto, k o módulo de reação do subleito, q a pressão de contato pneu-pavimento e N o número de blocos cobertos no ábaco.

Determina-se a tensão no interior da placa através da divisão do momento pela espessura da seção ao quadrado, conforme a equação 2.20 a seguir:

$$\sigma_i = \frac{6M}{h^2} \tag{2.20}$$

Para o cálculo da deflexão devido ao carregamento no interior da placa, a utilização do ábaco, conforme Figura 3, é semelhante à descrita anteriormente. Realiza-se a contagem do número de blocos cobertos pela área de contato do pneu e determina-se a deflexão pela equação 2.21.

$$\Delta_i = \frac{0{,}0005 d l^4 N}{D} \tag{2.21}$$

Sendo d a pressão de contato pneu-pavimento e D o módulo de rigidez da placa de concreto, calculado como:

$$D = \frac{E_c h^3}{12\left(1 - \upsilon^2\right)} \tag{2.22}$$

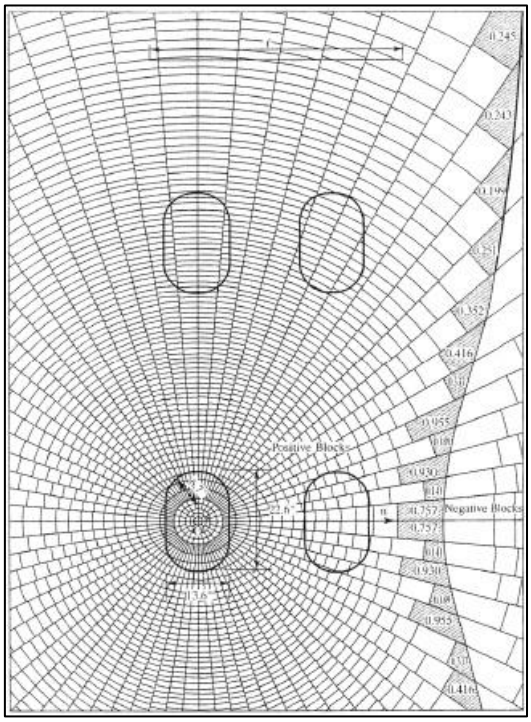

Figura 2: Ábaco de influência para determinação de momento (PICKETT e RAY, 1951[2] *apud* HUANG 2004).

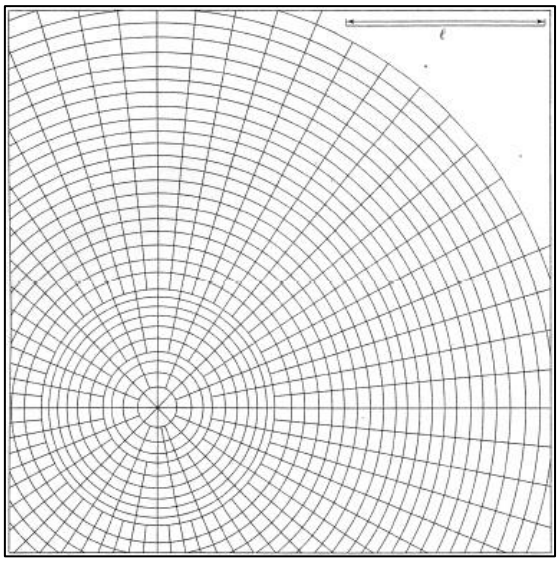

Figura 3: Ábaco de influência para determinação de deflexão (PICKETT e RAY, 1951[2] *apud* HUANG 2004).

Os ábacos para carregamentos na borda da placa também têm utilização semelhante e fazem uso das equações 2.19, 2.20, 2.21 e 2.22.

Para obter respostas mais adequadas quanto às tensões e deformações provenientes do tráfego, podem ser usadas as soluções numéricas, baseadas principalmente no método dos elementos finitos. Este método realiza a análise do estado de tensões e deformações de forma precisa. Entretanto, ele não fornece soluções fechadas, o que permitiria uma análise analítica da influência dos diversos parâmetros, mas sim resultados numéricos para uma análise específica.

A estrutura em análise, de geometria complexa, é subdividida em vários elementos menores de geometria simples, interconectados por pontos nodais, facilitando a resolução e tornando possível solucionar problemas heterogêneos, visto que cada elemento pode ter suas próprias propriedades. Quanto maior for o número de elementos, mais “reais” serão os resultados.

A utilização do método dos elementos finitos na análise de pavimentos de concreto possibilita uma melhor avaliação da estrutura e do comportamento do pavimento, por permitir considerar características importantes tais como:

- A análise de diversas placas;
- A eficiência da transferência de carga nas juntas devido a diferentes mecanismos e seus efeitos nas tensões críticas;

- A modelagem da placa e da sub-base como duas camadas, com ou sem aderência;
- A análise da camada intermediária (base) e sua contribuição estrutural;
- A modelagem da fundação como camada elástica;
- A consideração de vazios e de contato parcial entre a placa e a fundação para analisar o efeito da descontinuidade;
- O calculo de tensões e deslocamentos na placa e na fundação.

2.1.2 Tensões devido ao empenamento térmico

As variações diárias de temperatura fazem com que as placas que compõem o pavimento de concreto sofram empenamento, causando mudança no estado de tensões e na condição de contato entre a placa e a fundação. Conforme a temperatura varia ao longo do dia, sua distribuição ao longo do perfil da placa também muda, fazendo com que a temperatura na superfície seja diferente da temperatura no fundo da placa.

No período do dia, normalmente a temperatura no topo da placa é maior do que no fundo (com exceção dos dias úmidos e nublados). Com isso, a superfície tende a se expandir em relação à linha neutra, enquanto o fundo tende a se contrair. No entanto, o peso próprio da placa restringe essa expansão e contração, induzindo tensões de compressão no topo e tensões de tração no fundo. Durante a noite, ocorre o oposto: a temperatura do fundo fica maior que a da superfície, fazendo com que o fundo tenha tendência a se expandir e o topo a se contrair, induzindo tensões de tração no topo e tensões de compressão no fundo. A Figura 4 ilustra como exemplo as tensões geradas nas placas devido às variações de temperatura.

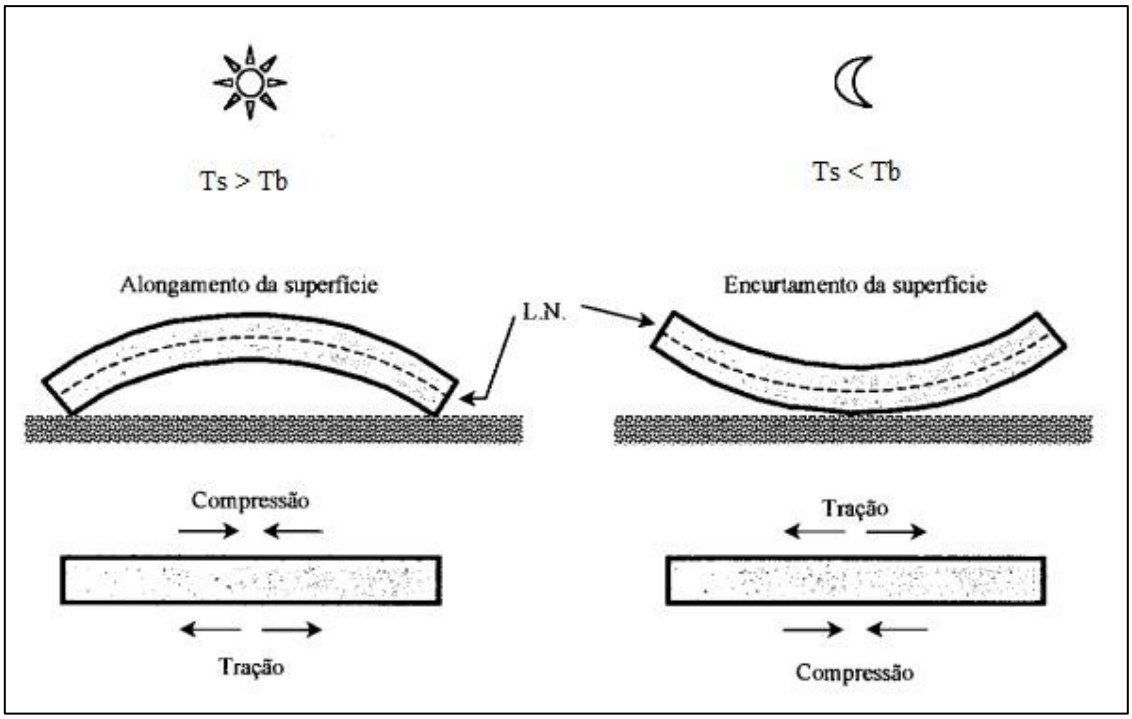

Figura 4: Empenamento causado pelas variações térmicas (RUFINO, 1997).

A expansão ou a contração das placas de concreto causam atrito na superfície de contato entre a placa e a sua camada de suporte, gerando tensões de tração. Com isso, surgem fissuras no concreto e a abertura das juntas aumenta, diminuindo a eficiência da transferência de carga. O movimento de contração provoca tensões cisalhantes na camada imediatamente abaixo da placa, que diminuem conforme a profundidade aumenta. Quando não existem restrições, a máxima tensão de tração ocorre no centro da placa. A quantidade de atrito depende do movimento relativo, sendo zero no centro, onde nenhum movimento ocorre e máximo na maior distância do centro, onde o movimento é completamente mobilizado. Esta tensão resultante do atrito entre a placa e a camada de suporte, varia de acordo com o comprimento da placa. Em placas curtas, o atrito desenvolvido é insuficiente para causar tensões consideráveis.

Segundo Silva (2001), Westergaard (1927)[7] em seus estudos analíticos baseados na teoria das placas, fez considerações sobre os efeitos da temperatura e sua variação em toda a extensão da placa. As principais suposições feitas pelo autor na análise do encurvamento foram:

---

[7] WESTERGAARD, H. M (1927). *Analysis of Stresses in Concrete Pavement Due to Variations of Temperature*. Proceedings, Highway Research Board. Whashington, D.C., EUA.

- Distribuição de temperatura constante ao longo do plano (x,y) e linear na direção vertical (z) através da espessura da placa.
- Contato pleno sem aderência entre a fundação e a placa. Assim, as tensões devido aos efeitos causados pela temperatura podem ser superpostas àquelas devido ao carregamento externo.
- Somente uma placa na estrutura do pavimento.
- Placa infinita em pelo menos uma direção.

Para uma placa finita de comprimento L_x e largura L_y definidos, é possível calcular a tensão total na direção x usando a equação 2.23a e na direção y através da equação 2.23b.

$$\sigma_x = \frac{E\alpha_t \Delta_t}{2(1-\upsilon^2)}(C_x + \upsilon C_y) \tag{2.23a}$$

$$\sigma_y = \frac{E\alpha_t \Delta_t}{2(1-\upsilon^2)}(C_y + \upsilon C_x) \tag{2.23b}$$

Sendo C_x e C_y fatores de correção, C_x a tensão devido à flexão na direção x e C_y a tensão devido à flexão na direção y.

Conforme citado por Gondim (2008), Bradbury (1938)[4] desenvolveu um ábaco para a determinação de *Cx* e *Cy*, fazendo a correção das equações de Westergaard, em função das dimensões da placa e do raio de rigidez relativa, conforme mostra a Figura 5. As tensões na borda (sentido longitudinal) e no centro da placa podem ser determinadas, respectivamente, pelas equações 2.24 e 2.25.

$$\sigma = \frac{C_x E\alpha_t \Delta_t}{2} \tag{2.24}$$

$$\sigma = \frac{E\alpha_t \Delta t}{2}\left(\frac{C_x + \upsilon C_y}{1-\upsilon^2}\right) \tag{2.25}$$

Sendo C_x e C_y fatores de correção em função de L_x/l e L_y/l, l o raio da rigidez relativa, Δt a diferença de temperatura entre o topo e o fundo da placa, E o módulo de elasticidade do concreto, υ o coeficiente de Poisson e α_t o coeficiente de expansão térmica do concreto.

Para uma distribuição de temperatura linear através da espessura da placa, o gradiente térmico é determinado pela equação 2.26, a seguir:

$$g = \frac{T_t - T_f}{h} \tag{2.26}$$

Sendo T_t a temperatura no topo da placa, T_f a temperatura no fundo da placa e h a espessura da placa.

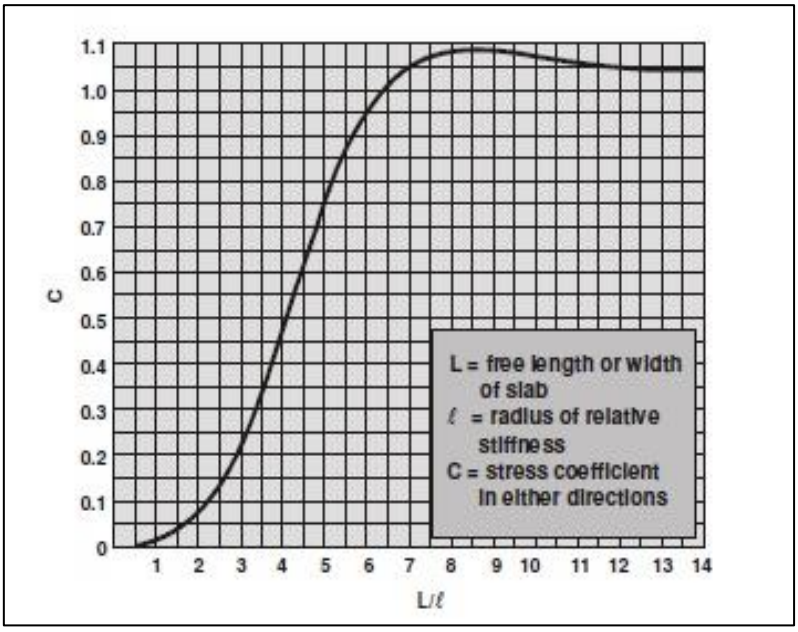

Figura 5: Fator de correção (BRADBURY, 1938[4] *apud* HUANG, 2004).

Segundo Huang (2004), as tensões geradas por empenamento devido à temperatura em pavimentos de concreto variam conforme o gradiente de temperatura entre o topo e o fundo da placa. Quando não são feitas medições em campo, pode-se admitir um gradiente de temperatura máximo de 0,055 a 0,077°C/mm durante o dia e cerca de metade destes valores à noite, em países de clima temperado.

No Brasil, foi medido o gradiente térmico em placas de concreto, por Silva (2001) na pista circular experimental do IPR/DNER, no Rio de Janeiro, e por Severi (2002), em São Paulo. No Rio de Janeiro, o gradiente máximo positivo foi 0,083ºC/mm e o negativo foi 0,074ºC/mm, para placa de 150 mm de espessura sobre camada de concreto asfáltico de 50 mm. Em São Paulo, os gradientes térmicos positivos apresentaram variação durante o ano de 0,061ºC/mm a 0,069ºC/mm para placa de 150 mm de espessura e de 0,067ºC/mm a 0,078ºC/mm durante a primavera e o verão, e

0,045ºC/mm durante o outono e inverno, em placa de 250 mm.

Segundo Gondim (2008), em medições de temperatura realizadas pela AASHO em outras placas, foi possível verificar que o gradiente de temperatura não é proporcional à espessura da placa e que o aumento do diferencial de temperatura não é tão rápido como o aumento da espessura. Sendo assim, placas mais espessas apresentam um diferencial de temperatura maior.

O método da PCA de 1984, que ainda é o mais utilizado no Brasil, não leva em consideração as tensões geradas pelo empenamento térmico no dimensionamento dos pavimentos de concreto. Entretanto, há vários estudos que mostram o quão significativas são essas tensões. Rufino (1997) verificou que ao considerar os efeitos da carga do tráfego e da temperatura simultaneamente, as tensões que atuam no pavimento aumentam consideravelmente, variando inclusive a eficiência da transferência de carga nas juntas. Silva (2001) afirmou que a tensão devido ao efeito combinado da carga externa e do gradiente térmico positivo pode chegar a ser até 53% maior que aquelas encontradas quando da ação isolada das cargas externas. Rodolfo (2000) mostrou que os esforços causados pelas cargas do tráfego e pelas variações de temperatura, agindo simultaneamente, poderiam causar tensões de tração na flexão com magnitudes até 100% superiores ao valor esperado apenas para as cargas do tráfego, evidenciando a importância de considerar os gradientes térmicos no dimensionamento.

As análises numéricas baseadas no método dos elementos finitos permitem considerar o empenamento térmico ocorrendo simultaneamente ao carregamento proveniente do tráfego, possibilitando obter respostas para a análise de tensões e deformações mais próximas do que de fato ocorre em campo.

2.2 O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO NO BRASIL

O dimensionamento dos pavimentos tem o objetivo de determinar como será composta a sua estrutura, buscando encontrar a espessura adequada, que atenda à vida útil desejada, com o menor custo tanto de construção quanto de manutenção. Se a espessura for maior que a necessária, o pavimento terá boa funcionalidade, com baixo custo de manutenção, mas o custo para sua construção será elevado. E se a espessura for menor que a adequada, embora o custo de construção seja também menor, o pavimento precisará de manutenção prematura e ocorrerão muitas interrupções no

tráfego. Para realizar um dimensionamento eficiente, é preciso conhecer as cargas atuantes, as condições ambientais e as características mecânicas de deformabilidade dos materiais que irão compor o pavimento.

A principal referência brasileira para o dimensionamento de pavimentos de concreto é o Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT, lançado em 2005. Nele constam dois métodos de dimensionamento, ambos da *Portland Cement Association* (PCA), um apresentado em 1966 e o outro lançado em 1984, semelhante ao primeiro, porém reformulado e melhorado. O método da PCA de 1984 tem sido o mais usado atualmente no país. Entretanto, há muito tempo, ele não é revisado, modificado ou atualizado.

Há também o Método de Dimensionamento de Pavimentos de Concreto da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP), que foi o primeiro método brasileiro para o dimensionamento de pavimentos de concreto e considera os efeitos da temperatura em ambientes tropicais, as tensões e a ruptura por fadiga na sub-base cimentada e em concretos nacionais. O modelo de fadiga pode ser alterado de acordo com o surgimento de novos estudos (PMSP, 2004).

2.2.1 Método de Dimensionamento da PCA (1984)

O método de dimensionamento de pavimentos de concreto mais usado no Brasil atualmente é o da *Portland Cement Association* (PCA) de 1984, que consta no Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005). Segundo este manual, o método foi desenvolvido com base em quatro pontos: estudos teóricos clássicos sobre o comportamento das placas de concreto e análises computacionais usando o método dos elementos finitos; estudos realizados em pistas experimentais (especialmente a da AASHTO), por diversos órgãos rodoviários; ensaios de laboratório e modelos sobre o comportamento e a influência das juntas; e observação de pavimentos em serviço.

Na análise, são considerados a transferência de carga nas juntas transversais, os efeitos da existência ou não de acostamentos de concreto e de forma indireta, a contribuição estrutural da sub-base de concreto pobre rolado ou convencional ou de sub-base tratada com cimento. A ruptura do pavimento pode ocorrer por fadiga da placa ou por erosão da fundação. O método se aplica a pavimento de concreto simples, com ou sem barras de transferência nas juntas, e a pavimento com armaduras distribuídas de forma contínua ou descontínua, sem função estrutural.

O método da PCA de 1984 é considerado um método mecanístico, embora apresente certas limitações. A análise de tensões e deformações adotada se baseia no método dos elementos finitos. Entretanto, de forma simplificada, pois foram realizadas modelagens de tensões das cargas críticas e os valores encontrados para os vários tipos de carga foram tabelados. Na análise, as placas são consideradas de dimensões finitas e as barras de transferência foram modeladas como molas rígidas sob as juntas transversais. Foram estudados carregamentos de eixos simples com rodas duplas, eixos tandem duplos e tandem triplos.

Com a análise, foi possível verificar que, quando utilizadas as barras de transferência, as tensões críticas ocorriam no centro da placa, na extremidade tangenciando a borda longitudinal, e as deflexões máximas ocorriam no canto da placa, para eixo posicionado na borda transversal. Além disso, a utilização de acostamento de concreto reduzia substancialmente as tensões e as deflexões, devido à transferência de carga pelo intertravamento dos agregados.

Houve ainda a necessidade de reavaliar as tensões determinadas pelo método, visto que estudos verificaram que apenas 6% dos eixos estariam posicionados sobre a borda longitudinal das placas, conforme considerado na modelagem, gerando consumo de resistência à fadiga diferente dos outros 94% de eixos restantes, que ficavam mais para o centro das placas. Se houver acostamento de concreto, os 94% que solicitam o interior do pavimento são a situação mais desfavorável. Quando não há acostamento de concreto, tornam-se críticos os 6% que tangenciam o canto da placa. Ao serem realizadas análises numéricas, concluiu-se que as tensões encontradas para cargas na borda precisariam ser multiplicadas por um fator igual a 0,894, de modo a garantir o mesmo consumo de fadiga simulado para uma condição real de distribuição transversal do tráfego nas pistas de rolamento, que passaram a ser chamadas de tensões equivalentes (SILVA, 2001).

Considera-se ainda que o aumento da área de contato e do espaçamento entre os pneus, no caso de veículos pesados, não corresponde a um aumento proporcional das tensões produzidas pelas cargas. O método então eleva ao expoente 0,94 (derivado de estudos anteriores) as cargas de projeto no modelo de fadiga, não o fazendo no caso da análise de erosão. Além disso, há um fator multiplicativo para as cargas por eixo, chamado Fator de Segurança de Cargas (FSC), em função do tipo de tráfego que fará

uso da via, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Fatores de segurança de cargas (DNIT, 2005).

Tipo de Pavimento	**FSC**
Para ruas com tráfego com pequena porcentagem de caminhões e pisos em condições semelhantes de tráfego (estacionamentos, por exemplo)	1,0
Para estradas e vias com moderada frequência de caminhões	1,1
Para altos volumes de caminhões	1,2
Pavimentos que necessitem de um desempenho acima do normal	Até 1,5

A fadiga é dimensionada calculando individualmente o efeito de cada carga por tipo de eixo, considerando a relação percentual entre o número de repetições de cargas previsto para um determinado tipo de eixo de carga e o número de repetições de carga admissível. Para relação entre tensões (RT) com valores > 0,55, é usada a equação 2.27, para RT entre 0,55 e 0,45, é usada a equação 2.28, e para RT < 0,45, as repetições de carga são ilimitadas, visto que concluíram que elas não provocavam efeitos de deterioração por fadiga no concreto.

$$\log_{10} N = \frac{0{,}97187 - RT}{0{,}0828} \tag{2.27}$$

$$N = \left(\frac{4{,}2577}{RT - 0{,}43248} \right)^{3{,}268} \tag{2.28}$$

Sendo *N* o número de ciclos para ruptura por fadiga e *RT* a relação entre tensões (razão entre a tensão equivalente e a resistência à tração na flexão do concreto aos 28 dias).

Para verificar se uma determinada espessura de placa de concreto atende ao tráfego previsto, utiliza-se a hipótese de Palmgren-Miner, que diz que o dano contínuo à fadiga é de natureza linear e cumulativa. O cálculo é feito considerando o consumo de resistência à fadiga (CRF) com a equação 2.29. A Figura 6 mostra a curva de fadiga

usada pelo método da PCA de 1984, que se encontra implícita nos ábacos de dimensionamento, e a curva desenvolvida por Hilsdorf e Kesler (1966)[8], usada no método da PCA de 1966 (DNIT, 2005).

$$CRF = \sum_{i=1}^{n} \frac{N_{p,i}}{N_{f,i}} \leq 1 \tag{2.29}$$

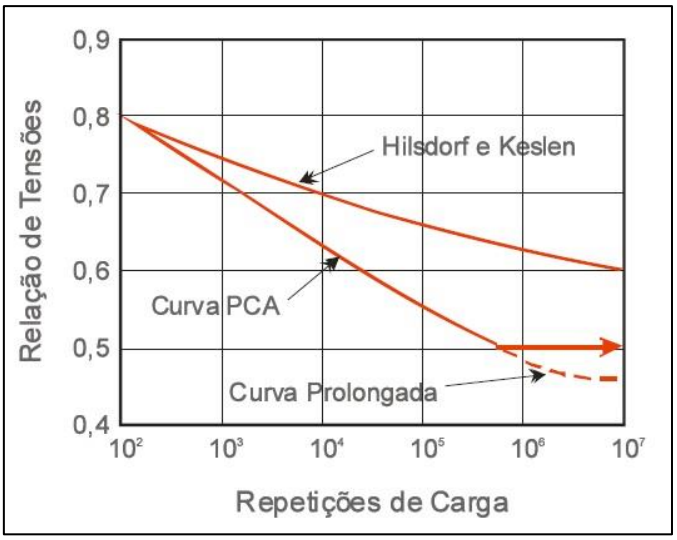

Figura 6: Curvas de fadiga (DNIT, 2005).

A espessura da placa de concreto deve ser determinada de modo que todos os veículos previstos em projeto sejam levados em consideração sem que o CRF ultrapasse 100%. Segundo o método da PCA de 1984, a resistência de projeto especificada para o concreto é reduzida por um coeficiente de variação de 15% e considera-se também o ganho de resistência após os 28 dias. Ambos são implicitamente considerados no ábaco de projeto.

Além da fadiga, o método considera a ruptura do pavimento por erosão, nome que é dado à perda de material da camada de suporte da placa de concreto por ação combinada da água e da passagem das cargas, principalmente dos eixos múltiplos. Esse fenômeno gera deformações verticais críticas nos cantos e nas bordas longitudinais das placas, fazendo com que se formem escalões ou "degraus" nas juntas transversais,

---

[8] HILSDORF, H. K.; KESLER, C. E (1966). *Fatigue Strength of Concrete under Varying Flexural Stress*. American Concrete Institute. Detroit, MI, EUA.

principalmente se elas não possuírem barras de transferência. Pode ser causado por bombeamento de finos, formação de vazios sob a placa e perda de suporte ou contato entre a placa e a sua camada de apoio.

Para o fenômeno da erosão, a PCA considera uma equação calibrada empiricamente, com base em resultados obtidos em condições muito diferentes das encontradas no Brasil, usando as conclusões da AASHO *Road Test* sobre o processo de danos da estrutura dos pavimentos e faz a correlação deste com as deflexões que ocorrem no pavimento. A equação 2.30 calcula o número de repetições admissíveis considerando o critério de erosão adotado pelo método e a equação 2.31 calcula o fator de erosão (P).

$$\log N = 14{,}524 - 6{,}777(C_1 P - 9)^{0{,}103} \tag{2.30}$$

$$P = \frac{268{,}7 w^2 K^{1{,}27}}{h} \tag{2.31}$$

Sendo N o número de ciclos para ruptura por erosão, C_1 uma constante relacionada ao tipo de sub-base (1,0 para sub-bases não tratadas e 0,9 para sub-bases estabilizadas quimicamente), P a taxa de trabalho ou fator de erosão, w a deflexão no canto da placa, k o módulo de reação do subleito e h a espessura da placa.

O dano por erosão, em porcentagem, é calculado com a equação 2.32 e não pode exceder 100% para que a espessura de projeto seja aceita.

$$\% = 100 \sum n_i \left(\frac{C_2}{N_i} \right) \tag{2.32}$$

Sendo n_i o número previsto de repetições de carga de eixo para um determinado grupo de carga, C_2 uma constante igual a 0,06 para pavimentos sem acostamento de concreto e 0,94 para pavimentos com acostamento de concreto e N_i o número admissível de repetições de carga de eixo para o grupo de carga.

Considerações sobre o dano causado pelo escalonamento das juntas transversais foram inseridas no modelo de erosão. Segundo o DNIT (2005), o método usa o estudo

de Packard (1977)[9] e Brokaw (1973)[10], no qual o índice de serventia do pavimento é função do grau de escalonamento, da intensidade do tráfego e da espessura do pavimento.

Apesar da importância destas considerações sobre a erosão, ainda há um elevado grau de empirismo na formulação dos chamados fatores de erosão, que têm a função de verificar o potencial de danificação da estrutura devido à ocorrência de erosão, visto que é necessária para sua formulação a calibração em função das condições climáticas e da eficiência da drenagem de cada local. Para este método, a calibração foi baseada nas condições de alguns experimentos de campo realizados, como o da AASHO *Road Test* nos EUA, condições essas muito diferentes das encontradas no Brasil.

O método da PCA de 1984 não considera o empenamento das placas de concreto devido às variações térmicas. Segundo o método, as informações disponíveis sobre medidas de tensões resultantes de empenamento não seriam introduzidas por não serem confiáveis (DNIT, 2005). Entretanto, após sua publicação, vários experimentos já foram realizados, possibilitando melhor caracterizar tal efeito e mostrando o quão significativas são essas atuações do clima.

No Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005), há um roteiro para o dimensionamento da espessura do pavimento de concreto pelo método da PCA de 1984. O roteiro é bem explicado e composto por formulários, quadros e figuras. Portanto, este passo a passo não entrará nesta revisão bibliográfica.

2.2.2 Método de Dimensionamento da PMSP

O método de dimensionamento de pavimentos de concreto da Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP, 2004) é o primeiro método brasileiro para o dimensionamento de pavimentos de concreto. Foi desenvolvido pelo professor José Tadeu Balbo com a colaboração dos engenheiros da Prefeitura de São Paulo e consta na

---

[9] PACKARD, R. G (1977). *Design Considerations For Control of Joint Faulting of Undoweled Pavements*. F70- ceedings of International Conference on Concrete Pavement Design, Purdue University.

[10] BROKAW, M. P (1973). *Effect of Serviceability and Roughness at Transverse Joints on Performance and Design of Plain Concrete Pavement*. Highway Research Board Record 471, Transportation Research Board.

instrução de projeto (IP) 07/2004. Considera princípios mecanicistas, os efeitos da temperatura em ambientes tropicais e o processo de fadiga em sub-bases cimentadas e em concretos nacionais. Aplica-se a pavimentos de concreto simples, com sub-base cimentada ou granular não aderida à placa de concreto e com barras de transferência nas juntas transversais. O fenômeno da erosão não é contemplado, por ser baseado em fatores empíricos e por não haver um modelo para climas tropicais.

Para caracterizar o tráfego, é usado o volume médio diário na faixa mais carregada, o período e a taxa de crescimento do tráfego são de livre escolha do projetista, não são fixados pelo método. Além disso, não são considerados fatores de segurança para as cargas, pois as equações de projeto já resultam em tensões de tração na flexão cerca de 30% superiores às aferidas em pistas experimentais desenvolvidas no campus da USP (PMSP, 2004).

A caracterização do subleito, assim como nos métodos da PCA, é feita pelo módulo de reação do subleito (k), que pode ser determinado indiretamente por meio de correlação com valores do Índice de Suporte Califórnia (CBR). Quando é usada sub-base granular, o valor do módulo de reação do sistema sub-base/subleito medido no topo da sub-base é aumentado em função do valor do CBR, do módulo de reação do subleito e da espessura da camada. Para o caso de sub-base cimentada, o método não faz alusão a eventuais melhorias no valor de k, pois a capacidade estrutural da sub-base cimentada é considerada explicitamente.

O método se fundamenta em modelagens numéricas pelo método dos elementos finitos, realizando análises de tensões em bases cimentadas consideradas não aderidas à placa de concreto e na consideração de diferenciais térmicos lineares e sempre positivos entre o topo e o fundo da placa de concreto que podem gerar tensões de tração na flexão significativas quando ocorrem simultaneamente à ação das cargas provenientes do tráfego. Os gradientes térmicos noturnos não são considerados, por serem muito pequenos (valores médios entre 0°C e 3°C em São Paulo durante todas as estações climáticas), não alterando assim o estado de tensão nas placas de concreto.

Os diferenciais térmicos positivos podem ser estimados para cada horário do dia por um valor médio representativo a cada hora. Os modelos apresentados pelo método foram calibrados através da medida de vários parâmetros climáticos em estação meteorológica, sendo válidos para temperatura atmosférica de 6°C a 36°C, umidade

relativa do ar de 20% a 100% e número de horas de insolação diárias de 6 a 12. A Tabela 2 mostra os dados de referência para o cálculo da distribuição de diferenciais térmicos diurnos, de acordo com as condições encontradas na cidade de São Paulo.

Tabela 2: Dados de referência para o cálculo da distribuição de diferenciais térmicos diurnos (PMSP, 2004).

ESTAÇÃO DO ANO	HORÁRIO DE INÍCIO DE DT POSITIVO [1]	HORÁRIO FINAL DE DT POSITIVO [2]	HORÁRIO DE DT+ MÁXIMO [3]	DT + MÁXIMO [4]
Primavera	8h	18h	13-15 h	12,5 °C
Verão	8h	19h	13-15 h	11,5 °C
Outono	9h	18h	13-15 h	8 °C
Inverno	9h	17h	13-15 h	10 °C

[1] entre 0 h e o horário indicado tomar DT = 0
[2] entre o horário indicado e 24 h tomar DT = 0
[3] considerar DT máximo constante entre 13 e 15 h
[4] empregado quando não se dispõe de dados climáticos para a área de projeto em São Paulo

O diferencial térmico em cada horário é definido pela interpolação linear entre o horário de início do diferencial positivo e 13 h (elevação de temperatura na manhã) e entre 15 h e o horário de final de diferencial positivo da tarde (queda vespertina).

As bases cimentadas, quando constituídas de Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), devem apresentar resistência à tração na flexão ≥ 0,7 MPa aos 28 dias ou resistência à compressão ≥ 9 MPa aos 28 dias. Quando constituídas de Concreto Compactado a Rolo (CCR), devem apresentar resistência à tração na flexão ≥ 1,5 MPa aos 28 dias ou resistência à compressão ≥ 15 MPa aos 28 dias. Já o concreto deve possuir resistência característica à tração na flexão entre 3,8 MPa e 5,5 MPa aos 28 dias. A norma contempla apenas concretos convencionais com módulo de elasticidade em torno de 30 GPa. Para concretos de maior resistência, como o Concreto de Alto Desempenho (CAD), deve ser feita uma análise à parte.

As placas devem ter dimensão longitudinal de no máximo 5,5 m de comprimento e sempre devem ser usadas barras de transferência de carga nas juntas, gerando esforços críticos na parte mais central da placa junto à borda longitudinal.

Para a obtenção da espessura da placa de concreto, os parâmetros básicos são: resistência à tração na flexão do concreto; resistência à tração na flexão da sub-base

cimentada; módulo de reação do subleito ou do sistema sub-base/subleito (para sub-base granular); volume de tráfego diário de veículos comerciais; distribuição horária, em termos de frequência, dos veículos comerciais (ônibus e caminhões); todas as vias devem ser dotadas de meio-fio para minimizar o processo de erosão.

O cálculo das tensões máximas de tração na flexão para placas de concreto com sub-base cimentada é feito pelas seguintes equações:

Para placa de concreto:

$$\sigma = I + x_1 Q + x_2 e_1^2 + x_3 e_1 + x_4 e_2^2 + x_5 e_2 + x_6 E_2^2 + x_7 E_2 + x_8 DT$$

(2.32)

Para sub-base com DT > 0

$$\sigma = I + x_1 Q^2 + x_2 Q + x_3 e_1^2 + x_4 e_1 + x_5 e_2^2 + x_6 e_2 + x_7 k + x_8 DT \quad (2.33)$$

Para sub-base com DT = 0

$$\sigma = I + x_1 Q^2 + x_2 Q + x_3 e_1^2 + x_4 e_1 + x_5 e_2^2 + x_6 e_2 + x_7 k \quad (2.34)$$

Sendo *DT* o diferencial térmico linear na placa (°C), e_1 a espessura da placa (m), e_2 a espessura da sub-base (m), *Q* a carga de eixo simples roda dupla (kN), E_2 o módulo de elasticidade da sub-base (MPa) e *k* o módulo de reação do subleito (MPa/m). As constantes numéricas (*I*, x_1,..., x_8) foram deduzidas numericamente e ajustadas experimentalmente com base nas relações entre medidas físicas de tensões obtidas em pista por instrumentação e tensões calculadas por técnicas de elementos finitos e constam na norma em função da espessura da camada e do *k* para as placas de concreto, e, para a sub-base cimentada, do módulo de elasticidade e do diferencial térmico.

Essas equações foram desenvolvidas para eixos simples de rodas duplas. Para o cálculo de tensões devido a eixos tandem duplos ou eixos tandem triplos, são usadas as equivalências de carga estabelecidas pela AASHO *Road Test*, ou seja, o eixo tandem duplo de 135 kN e o eixo tandem triplo de 215 kN causam efeitos de tensão de tração na flexão semelhantes ao eixo padrão (eixo simples com rodas duplas) de 80 kN.

O cálculo das tensões máximas de tração na flexão para placas de concreto com sub-base granular (permitido apenas para tráfego leve e médio) é feito pela equação

2.35.

$$\sigma_{tf} = C_1.e^{C_2}.k^{C_3} \tag{2.35}$$

Sendo que as constantes de regressão C_1, C_2 e C_3 são dadas pela IP 07 (2004). Neste caso, trata-se do modelo originalmente proposto pela PCA. Portanto, o empenamento térmico sofrido pela placa não é considerado. As tensões para todos os eixos também foram originalmente geradas pela equivalência de cargas obtidas na AASHO *Road Test*.

O método da PMSP possibilita verificar a fadiga das placas de concreto e das sub-bases cimentadas, através da verificação do consumo à fadiga, pela regra de Palmgren-Miner de dano linear e cumulativo, conforme equação 2.29, que também é usada nos métodos da PCA. No entanto, os modelos de fadiga adotados para os cálculos foram desenvolvidos no Brasil para materiais nacionais, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Modelos experimentais de fadiga a serem adotados no dimensionamento (PMSP, 2004).

MATERIAL	MODELOS
Concreto de cimento Portland (convencional)	$N_f = 10^{(25,858 - 25,142 \times RT)}$ (modelo genuinamente nacional)
Concreto de alto desempenho	$N_f = 10^{(14,13 - 12,41 \times RT)}$ (modelo genuinamente nacional)
Concreto compactado com rolo	Para consumo de cimento de 120 kg/m^3: $N_f = 10^{(14,911 - 15,074 \times RT)}$ Para consumo de cimento de 200 kg/m^3: $N_f = 10^{(14,310-13,518 \times RT)}$ (modelo genuinamente nacional)
Brita Graduada Tratada com Cimento	$N_f = 10^{(37,4231 - 38,4615 \times RT)}$ (modelo genuinamente nacional)

O Método de Dimensionamento de Pavimentos de Concreto da PMSP possui ainda um procedimento simplificado para o dimensionamento da estrutura, que é usado quando não se dispõe de informações precisas sobre a distribuição das cargas por eixo, o que impossibilita o cálculo dos danos por fadiga. Esse método permite determinar a espessura da placa de concreto a partir de características da sub-base e pode ser adotado no dimensionamento de pavimentos de concreto para vias de tráfego leve, com valor

típico de $N \leq 5 \times 10^5$.

2.3 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

Com o desenvolvimento e o constante aperfeiçoamento dos computadores, foram criados programas computacionais que fazem uso principalmente do método dos elementos finitos para analisar a estrutura dos pavimentos de concreto a partir de modelos bidimensionais. Com isso, boa parte das limitações impostas pelas soluções analíticas (placa infinita, carregamento apenas por carga simples, fundação representada por um conjunto de molas, placa apoiada diretamente sobre a fundação, entre outras) foram superadas. Tornou-se possível considerar condições mais realistas como:

- Fundação do tipo sólido elástico ou em camadas;
- Diversas placas;
- Placas apoiadas sobre uma ou mais camadas;
- Múltiplos carregamentos provenientes do tráfego;
- Transferência de carga nas juntas;
- Contato pleno ou parcial entre a placa e sua camada de suporte;
- Carregamento devido às variações térmicas.

Rufino (1997) analisou tensões com os programas ILSL2 e KENSLABS variando a posição de carregamento na placa e observou que ambos resultaram em tensões próximas, sendo as do KENSLABS um pouco inferiores. Silva (2001) comparou valores medidos em campo com resultados calculados pelos programas ELSYM5, DIPLOMAT, ILSL2 e KENSLABS e concluiu que os dois últimos são mais apropriados para a verificação de pavimentos de concreto por possibilitarem considerar na análise condições mais realistas. Gondim (2008) estudou o KENSLABS 2004 e comparou o dimensionamento de um pavimento hipotético, utilizando o método da PCA (1984) e o KENSLABS, chegando à conclusão de que o programa possui grandes vantagens sobre o método da PCA, visto que faz uma análise mais realista da sub-base e pode considerar o efeito dos gradientes térmicos.

Entre os diversos programas existentes na literatura, que analisam apenas pavimentos de concreto, destacam-se o KENSLABS e o ILLI-SLAB, que são considerados os mais completos e serão descritos a seguir. Ambos são programas fechados, nos quais o usuário apenas fornece os dados de entrada (carregamento,

geometria da placa, tipo de base e fundação, propriedades dos materiais, entre outros) para obter os dados de saída (tensões, deformações, transferência de carga nas juntas, entre outros).

2.3.1 ILLI-SLAB

O ILLI-SLAB foi desenvolvido para realizar análises de tensões e deformações em pavimentos de concreto simples, com ou sem transferência de carga nas juntas, por meio de um modelo de elementos finitos bidimensional. A estrutura do pavimento pode ser composta por até 10 placas ao longo de cada eixo, x e y, e as juntas são representadas por elementos retangulares de largura desprezível. O programa consegue analisar:

- Pavimentos de concreto simples com transferência de carga nas juntas;
- Pavimentos de concreto continuamente armados;
- Pavimentos de concreto reforçados que podem ou não ter trincas;
- Placas de concreto com base estabilizada quimicamente ou reforço, com aderência ou não entre elas;
- Placas de concreto de espessuras e módulos de elasticidade variados;
- Acostamento de concreto com ou sem barras de ligação;
- Fundações com módulos de suporte variados.

Ao lançar a versão chamada ILSL2, Kazanovish (1994) introduziu o modelo de Totsky, que permite analisar a separação e a compressão de camadas não aderidas. Além disso, o programa passou a considerar simultaneamente os efeitos do empenamento térmico, das cargas provenientes do tráfego e dos vazios sob a placa. Ao considerar os efeitos do empenamento térmico, é possível usar fundação do tipo líquido denso ou sólido elástico. Entretanto, em sistemas de múltiplas camadas, só a líquido denso pode ser usada. O programa também permite incorporar barras de transferência para a distribuição de carga entre as placas.

Os dados de entrada do programa são o carregamento, a geometria da placa, o tipo de sub-base ou reforço, o sistema de transferência de carga, o tipo de fundação e as propriedades elásticas dos materiais que irão compor cada camada do sistema. Já os dados de saída são as tensões nodais (σx, σy, τxy, σ_1 e σ_3) no topo e no fundo de cada camada, as tensões verticais na superfície do subleito, a deflexão vertical e duas

rotações para cada nó da malha de elementos finitos e as cargas transferidas pelas barras e pelo intertravamento de agregados ou encaixe do tipo macho-fêmea.

Segundo Silva (2001), o pavimento de concreto é modelado por meio de um elemento retangular com quatro nós, com cada nó possuindo três graus de liberdade, que são o deslocamento vertical na direção z (w), a rotação em torno do eixo x (θ_x) e a rotação em torno do eixo y (θ_y). Para estes deslocamentos, existem três componentes de força, respectivamente, iguais a P_w, $P\theta_x$ e $P\theta_y$.

As barras de transferência são modeladas como elementos de barra com dois graus de liberdade por nó, sendo o deslocamento vertical na direção z (w) e a rotação em torno do eixo y (θy), além de dois componentes de força iguais P_w e $P\theta_y$ para estes deslocamentos. A representação da deformação relativa da barra de transferência e do concreto no seu entorno é feita considerando a rigidez de um elemento de mola vertical, localizado entre a barra e o concreto adjacente à face da junta. Este elemento de mola também é utilizado para representar a transferência de carga na junta somente através do intertravamento de agregados ou por encaixe macho-fêmea, com apenas um grau de liberdade em cada nó. A matriz de rigidez global da estrutura é formada pela superposição dos efeitos da rigidez individual de cada elemento.

Para calcular a deflexão devido às variações de temperatura, é usado um elemento de placa fina com três componentes de deflexão (w_i, w_j e w_k) em cada nó, uma deflexão vertical (w_v) na direção z, uma rotação sobre o eixo x (θ_x) e uma rotação sobre o eixo y (θ_y), considerando que a placa de concreto está assente sobre fundação líquido denso. A equação de matriz de equilíbrio é formulada usando o princípio dos trabalhos virtuais e é usada para calcular a tensão, a deformação e a deflexão usando a condição de contorno do elemento. O efeito da temperatura é calculado a partir do vetor de carga, conforme a equação 2.36. A relação tensão-deformação-temperatura mostrada na equação 2.37 é usada para derivar esse vetor de carga devido à temperatura.

$$P = KU \tag{2.36}$$

Sendo *P* o vetor de carga igual a *PB* + *PS* - *PI* + *PC*; onde, *PB* é o vetor de carga devido às forças do corpo do elemento, *PS* é vetor de carga devido às forças de superfície do elemento, *PI* é o vetor de carga devido às tensões iniciais do elemento e *PC* são as cargas concentradas; *K* é a matriz de rigidez da estrutura e *U* é o vetor de

deflexão.

$$\sigma_t = \alpha_t \Delta t E = \varepsilon_t E \tag{2.37}$$

Sendo σ_t a tensão devido à temperatura, α_t o coeficiente de expansão térmica do concreto, Δt a diferença de temperatura entre o topo e o fundo da placa, E o módulo de elasticidade do concreto e ε_t a deformação devido à temperatura.

A versão mais recente do ILLI-SLAB é o ISLAB2000, atualizada por Khazanovich *et al.* (2000). O ISLAB2000 foi usado como o principal modelo para análise estrutural de pavimentos rígidos no *Mechanist-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) (NCHRP, 2004). O programa é capaz de modelar importantes características dos sistemas de pavimentação, tais como várias placas em cada direção, múltiplas camadas, cargas variadas, empenamento térmico, diferentes modelos de sub-base e gradientes de temperatura não-lineares.

2.3.2 KENSLABS

O KENSLABS foi desenvolvido por Yang H. Huang na Universidade de Kentucky e faz parte do programa computacional KENPAVE. O *software* foi desenvolvido em Visual Basic e realiza a análise de tensões e deformações em pavimentos de concreto utilizando o método dos elementos finitos, através de modelos bidimensionais. Em sua versão de 2004, a análise é feita em no máximo 6 placas, 7 juntas e 420 nós. Cada placa pode ter no máximo 15 nós na direção x e 15 na direção y.

Segundo Gondim (2008), para modelar a fundação do pavimento, é possível escolher entre o tipo líquido denso, sólido elástico ou em camadas com diferentes propriedades (fundação não homogênea). O KENSLABS possibilita analisar placas com duas camadas, aderidas ou não, com suas características definidas pelos módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson. A matriz de rigidez da placa é a soma das matrizes de rigidez de ambas as camadas.

A matriz de rigidez global utilizada pelo programa é composta pelo somatório da matriz de rigidez da placa, da fundação e da junta. Em cada nó da malha de elementos finitos, são aplicadas três forças e três deslocamentos correspondentes: força vertical (F_w), momento sobre o eixo x ($F\theta_x$) e momento sobre o eixo y ($F\theta_y$), deflexão vertical na direção z (w), rotação sobre o eixo x (θ_x) e rotação sobre o eixo y (θ_y).

Para obter a matriz de rigidez da placa, realiza-se a superposição da matriz de rigidez de todos os elementos. Ao combinar as matrizes de rigidez da placa, fundação e junta e substituir a força nodal fictícia pela estática equivalente dos carregamentos de eixos aplicados externamente, obtém-se um sistema de equações simultâneas, que permite calcular os deslocamentos nodais desconhecidos.

As juntas podem realizar transferência de momento ou principalmente de cisalhamento. A transferência de momento é modelada por uma constante de momento de mola e a transferência de cisalhamento por uma constante cisalhante de mola ou a partir do fornecimento dos seguintes dados de entrada: tamanho, espaçamento, módulo de Young e coeficiente de Poisson das barras de transferência e abertura das juntas. Um espaçamento não uniforme entre as barras também pode ser analisado. A perda de contato da barra pode ser considerada especificando o vazio entre a barra e o concreto. Este vazio também pode ser aplicado para a constante cisalhante da mola, mas não para a constante de momento da mola.

A carga pode ser concentrada em um determinado número de nós ou uniformemente distribuída sobre área retangular, sendo que as áreas carregadas podem ter diferentes pressões. Se existir simetria com relação a um ou ambos os eixos existentes, apenas metade ou um quarto do sistema de placas será considerado, reduzindo o tempo de processamento. Placas com diferentes espessuras e tamanhos podem ser analisadas, podendo a espessura variar de nó a nó na mesma placa, mas duas placas adjacentes devem ter a mesma largura e todas as juntas devem ser contínuas através de toda a placa.

Para analisar o empenamento térmico, supõe-se que cada placa atua de forma independente e não é restringida pelas barras de transferência lubrificadas. Esta situação condiz com a realidade se todas as placas adjacentes tiverem a mesma dimensão e espessura e empenarem na mesma proporção em pontos correspondentes ao longo da junta.

Outro importante fator que o programa considera em sua análise é a condição de contato entre a placa e a fundação, que pode ser de três tipos: pleno, parcial sem vazios iniciais e parcial com vazios iniciais. Assim, é possível avaliar a evolução do efeito das condições de contato nas tensões e deflexões. O contato pleno pode ocorrer em todos os nós ou em apenas alguns escolhidos.

Gondim (2008) fez um estudo detalhado sobre o KENSLABS em sua pesquisa e afirma que a utilização do programa tem grandes vantagens sobre o método da PCA 1984, principalmente por realizar uma modelagem mais adequada para a sub-base e por possibilitar que o efeito dos gradientes térmicos seja considerado. Segundo a autora, ao incluir as tensões e deformações causadas pelo empenamento da placa, os resultados podem atingir magnitudes até duas vezes maiores que aqueles encontrados quando da ação isolada de cargas rodoviárias.

2.4 ABAQUS

O ABAQUS é um programa computacional baseado no método dos elementos finitos, que realiza a análise de tensões e deformações em qualquer tipo de estrutura. Ele pode ser utilizado em várias áreas da engenharia. Trata-se de um *software* de propriedade da empresa *Dassault Systemes Simulia*, lançado inicialmente em 1978. Possui elevado alcance tecnológico, sendo muito utilizado para análise de modelos tridimensionais.

No programa, a modelagem é realizada em três etapas, sendo o pré-processamento realizado pelo módulo gráfico CAE, o processamento realizado pelos módulos de análise STANDARD e EXPLICIT e o pós-processamento feito também pelo módulo gráfico CAE na função VIEWER.

O ABAQUS/CAE - *Computer Aided Engineering* ou Engenharia Assistida por Computador - é um pré-processador com interface gráfica, que possibilita definir a geometria do problema e a estrutura espacial, gerar a malha de elementos finitos, atribuir propriedades aos materiais, entre outras funções. A Figura 7 mostra a janela principal do ABAQUS/CAE.

A construção do modelo é realizada por etapas, conforme os itens a seguir:

- *Part* - Desenho das partições ou definição da geometria das partes que irão compor o modelo;
- *Property* - Definição das propriedades mecânicas dos materiais que serão utilizados e atribuição desses materiais a cada parte do modelo;
- *Assembly* - Agrupamento das partições;
- *Step* - Definição da sequência de passos da análise e de sua linearidade ou não;
- *Interaction* - Determinação das interações que ocorrerão entre as partições;

- *Load* - Definição das condições de contorno e dos carregamentos;
- *Mesh* - Geração da malha de elementos finitos;
- *Job* - Obtenção do arquivo de entrada de dados.

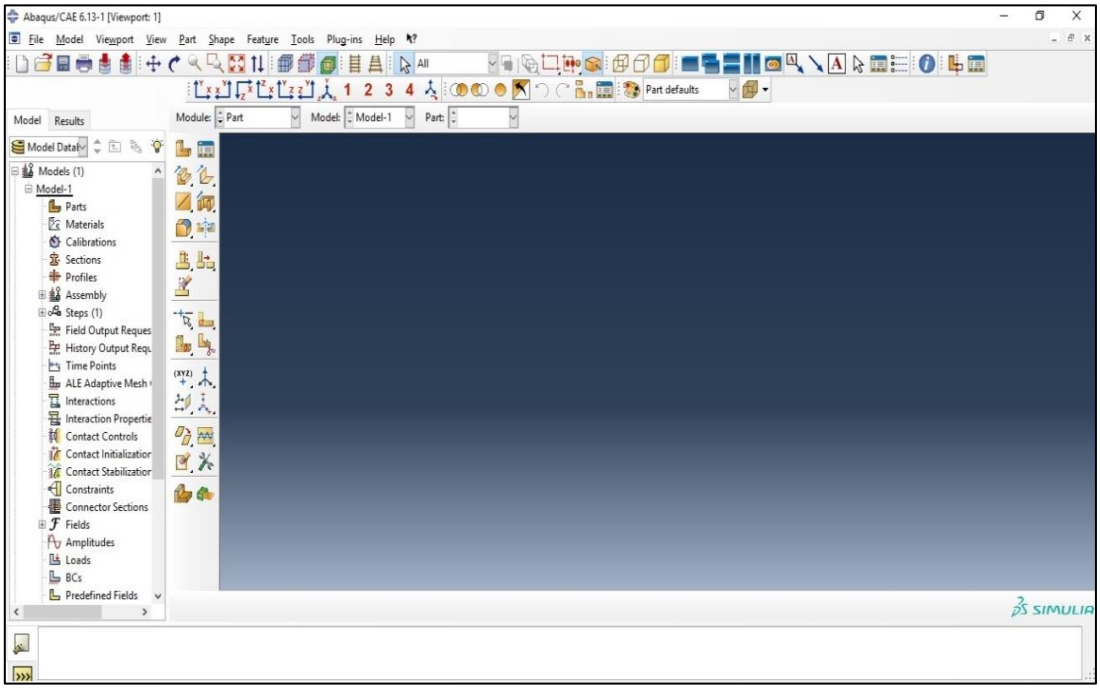

Figura 7: Janela Principal do ABAQUS/CAE.

O arquivo de entrada de dados pode ser dividido em dois grandes grupos, compostos por:

- Dados da geometria do modelo - engloba a descrição dos nós, os tipos de elementos e suas conectividades, as propriedades dos materiais, as condições de contorno e o tipo de análise, podendo ser estática ou dinâmica;
- Dados do histórico de carregamentos - composto por informações sobre a sequência de cargas aplicadas, que podem ser caracterizadas como forças pontuais, de superfície, de corpo, geradas por variação de temperatura, pressões de fluido e outras.

Com a geração do arquivo que contém a entrada de dados do problema pelo pré-processador, pode ser feita então a simulação computacional pelo método dos elementos finitos com os modelos ABAQUS/STANDARD e ABAQUS/EXPLICIT. O ABAQUS/STANDARD realiza a análise de elementos finitos de uso geral, utilizando métodos implícitos para resolver os sistemas de equações. Segundo Furlan (2011), os

métodos implícitos fazem uso de termos calculados no mesmo instante da simulação e normalmente são usados em problemas com não linearidades pequenas, utilizando maior tempo e resultando em melhor estabilidade numérica e precisão. Já o ABAQUS/EXPLICIT é um analisador de elementos finitos de propósito especial. Para resolver os sistemas de equações altamente não lineares, com muitos contatos complexos ou sob cargas transitórias, são empregados métodos explícitos. Segundo Furlan (2011), os métodos explícitos utilizam termos calculados em instantes anteriores ao estágio atual da simulação, dentro de um curto espaço de tempo. A Tabela 4 mostra um comparativo entre os processadores ABAQUS/STANDARD e ABAQUS/EXPLICIT, segundo Rangel (2017).

Há ainda o ABAQUS/VIEWER, que é um pós-processador, que gera gráficos e animações a partir dos arquivos de saída, para facilitar a interpretação dos resultados numéricos.

O ABAQUS modela numericamente problemas complexos de engenharia, podendo envolver geometrias complicadas, relações constitutivas não lineares, grandes deformações, carregamentos transientes e interação entre materiais. Entretanto, construir um modelo específico nem sempre é fácil, pois é necessário selecionar dentro de uma grande quantidade de parâmetros e opções, os mais adequados para representar de forma realista, um tipo específico de problema.

O programa possui uma grande variedade de elementos finitos, como elementos de placa, elementos sólidos, elementos de viga, elementos de membrana, entre outros. Estes elementos são caracterizados por diferentes números e tipos de graus de liberdade e são determinados pelo usuário conforme o tipo de aplicação. Além disso, o programa também apresenta diversas relações constitutivas para simular o comportamento mecânico dos materiais, como o modelo elástico linear (considera as deformações elásticas), modelo elasto-plástico (além das deformações elásticas também considera as deformações permanentes) e modelos viscoelásticos. O *ABAQUS User's Guide* (2016) fornece informações precisas sobre todos os recursos disponíveis e mostra como aplicar esses recursos na modelagem particular pretendida.

Tabela 4: Comparação entre o ABAQUS/STANDARD e o ABAQUS/EXPLICIT (Rangel, 2017)

Característica	**ABAQUS/STANDARD**	**ABAQUS/EXPLICIT**

Biblioteca de Elementos	Sem limitações	Apenas elementos apropriados que requerem soluções explícitas
Modelos de Materiais	Modelos com fratura e escoamento	Modelos com fratura e escoamento
Métodos de solução do problema	Integração implícita Necessidade de resolução de grande quantidade de equações múltiplas Mais estável que o ABAQUS/Explicit	Integração explícita Utiliza pequenos intervalos de tempo em cada fase de simulação Pode apresentar instabilidade durante o processamento
Tipos de problemas	Lineares Não-lineares simples Com contato* Preferencialmente para cargas estáveis e fixas	Lineares Preferencialmente não-lineares Com contato*, principalmente os complexos e com várias condições Preferencialmente para cargas de impacto, pulsantes ou de alta velocidade
* Quanto mais complexo é o contato, mais cálculos repetitivos são realizados pelo processador ABAQUS/Standard, e mais tempo e espaço em disco são necessários, sendo recomendado o ABAQUS/Explicit.		

Como o ABAQUS é um programa aberto para a análise de qualquer tipo de estrutura, o desenvolvimento de um modelo apropriado a cada aplicação é essencial para simular o comportamento dos pavimentos de concreto de forma realista. Antes de dar início à utilização do programa, são necessários estudos preliminares, para determinar os aspectos do modelo que deverão ser considerados, como, por exemplo, as condições de contorno, o tipo e o tamanho da malha, entre outros. A acurácia da análise feita por elementos finitos depende do tamanho da malha. Para apresentar melhores resultados, a malha precisa ser suficientemente refinada, principalmente em torno do carregamento. Entretanto, quanto menores os elementos que compõem a malha, maior o tempo de processamento computacional.

Segundo Rangel (2017), no caso da modelagem da estrutura de pavimentos, o ABAQUS ganhou popularidade na década de 1990, ao fazer uso de elementos finitos em modelos 3D, simulando problemas que ocorrem nesses pavimentos. O programa apresenta como vantagem em comparação a outros que também utilizam o método dos

elementos finitos, o fato de possibilitar a simulação do contato entre camadas (apenas em modelagens 3D) e ser capaz de acoplar modelos constitutivos de terceiros, por meio da rotina UMAT - *user subroutine to define a material's mechanical behavior* , que permite ao usuário definir o comportamento mecânico de um material.

A Figura 8 mostra o formato geral da estrutura de um pavimento de concreto e os elementos que podem ser considerados na análise feita pelo ABAQUS, segundo Rahiminezhad e Zokaei (2016) que estudaram o efeito da velocidade dos veículos nas juntas dos pavimentos de concreto.

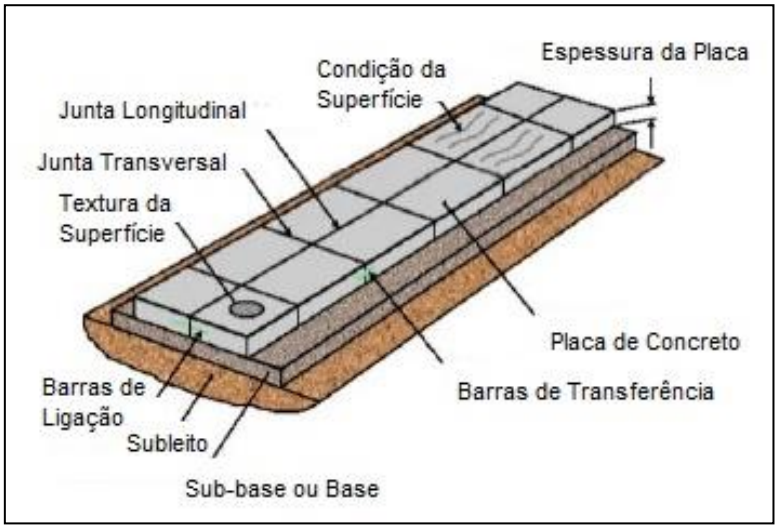

Figura 8: Estrutura do Pavimento de Concreto e seus principais componentes (RAHIMINEZHAD e ZOKAEI, 2016).

Sadeghi e Hesami (2017) e Jouybari e Shafabakhsh (2017) desenvolveram modelos em três dimensões usando o ABAQUS para prever o comportamento dos pavimentos de concreto submetidos ao efeito da carga de eixo móvel e analisar a eficiência da transferência de carga nas juntas. Ambos os modelos mostraram boa correlação com o campo, ao compararem os resultados obtidos para carregamento cíclico com a resposta apresentada por Sargand e Beegle (1998) para uma seção de pavimento instrumentada, localizada em Ohio, nos Estados Unidos.

O ABAQUS será usado na presente pesquisa para prever o comportamento estrutural dos pavimentos de concreto quando submetidos simultaneamente às cargas provenientes do tráfego e ao empenamento térmico. Para obter respostas adequadas, é essencial o desenvolvimento de um modelo adequado, e todos os parâmetros precisaram ser determinados especificamente para esta modelagem, o que compõe a maior

contribuição desta dissertação.

2.5 PISTAS INSTRUMENTADAS

Para conhecer o comportamento dos pavimentos em campo, são feitas aferições das tensões, deformações e temperatura em alguns trechos experimentais, usando instrumentos de medição, como, por exemplo, *strain gauges*, células de pressão e termopares, inseridos na estrutura do pavimento. Essas aferições em escala real são muito importantes, visto que permitem a calibração de modelos numéricos para o cálculo de tensões e deformações, ajudando no desenvolvimento de métodos de dimensionamento eficientes.

Segundo Silva (2001), uma das maneiras de aumentar a credibilidade dos métodos mecanísticos é fazendo a instrumentação de pavimentos em trechos rodoviários em serviço e em pistas experimentais. Além disso, a instrumentação também pode ajudar no desenvolvimento de novos projetos e uso de materiais alternativos, estimar o desempenho de um pavimento em função do carregamento e condições ambientais e melhorar os métodos de dimensionamento existentes.

Balbo *et al.* (2004) afirmam que a validação de um método de dimensionamento de pavimentos se faz, primeiramente, pela calibração das respostas estruturais fornecidas pelas equações de cálculo, tendo em vista as respostas estruturais físicas ou mecânicas obtidas em pista. Portanto, a instrumentação de pistas experimentais é considerada uma atividade fundamental na evolução tecnológica de critérios de projeto, visto que, por meio delas, são possíveis tais comparações.

Na presente pesquisa, os resultados obtidos em instrumentações existentes na literatura foram usados para calibrar o modelo de elementos finitos tridimensional desenvolvido. Assim, a seguir são descritos os pavimentos instrumentados adotados neste estudo para comparação com a análise numérica.

2.5.1 Pista de ensaios de Ohio

A pista de ensaios de Ohio, conhecida como *Ohio Test Road*, foi construída em 1994 por uma parceria entre o Departamento de Transportes de Ohio e a Administração Federal de Rodovias, como parte do Programa Estratégico de Pesquisa em Rodovias (SHRP). Trata-se de uma grande rodovia de ensaios, abrangendo quatro experimentos

dos Estudos Específicos de Pavimentos (SPS): SPS-1, SPS-2, SPS-8 e SPS-9. O projeto possui quase 5 km de comprimento e está localizado na US 23, a aproximadamente 40 km ao norte de Columbus, no condado de Delaware, em Ohio, nos Estados Unidos. A Figura 9 mostra uma visão geral das pistas.

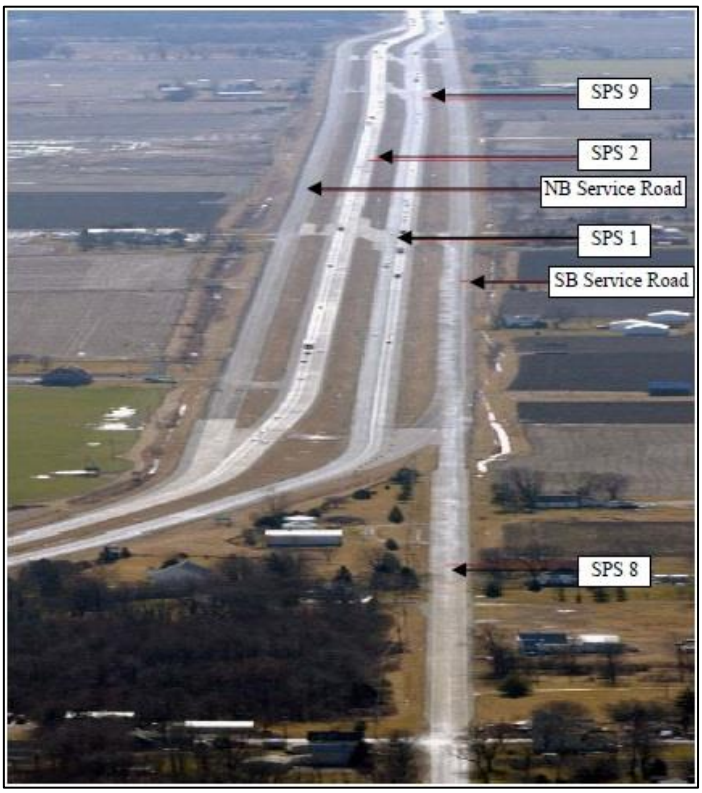

Figura 9: Vista aérea da pista de ensaios de Ohio (SARGAND, 1994).

As pistas de ensaios foram divididas em 38 seções, com comprimentos apropriados para realizar os seguintes experimentos SPS:

- SPS-1 - Estudo Estratégico de Fatores Estruturais para Pavimentos Flexíveis;
- SPS-2 - Estudo Estratégico de Fatores Estruturais de Pavimentos Rígidos;
- SPS-8 - Estudo de Efeitos Ambientais na Ausência de Tráfego Pesado (concreto de cimento Portland e concreto asfáltico);
- SPS-9 - Estudos de Verificação de Campo do Programa de Asfalto.

Para verificar o comportamento dos pavimentos com as variações climáticas e as cargas dinâmicas do tráfego, 33 seções foram instrumentadas. Em 18 seções foram instalados instrumentos para medir os efeitos das variações climáticas e a resposta do pavimento às cargas do tráfego; em 15 seções foram instalados instrumentos apenas para medir os efeitos das variações climáticas e 5 seções não foram instrumentadas.

Sargand (1994) faz uma descrição completa dos procedimentos empregados na instalação dos sensores. Foram usados transdutores de pressão, *strain gauges*, células de pressão e *Linear Variable Differential Transformer* ou transdutor diferencial linear variável (LVDT), para medir deformação, pressão, deslocamento e a abertura das juntas. Também foram utilizados instrumentos para medir a temperatura e a umidade na placa de concreto e uma estação meteorológica no local.

Na presente pesquisa, foram usados os dados do SPS-2 para a calibração do modelo de elementos finitos tridimensional desenvolvido para a previsão do comportamento dos pavimentos de concreto com barras de transferência nas juntas. A seção era composta por placas de concreto com 4,57 m de comprimento e 3,60 m de largura, assentes sobre sub-base e subleito. Nas juntas, existiam barras de transferência de aço, com 0,46 m de comprimento e 0,04 m de diâmetro.

Segundo Sargand e Beegle (1998), para verificar os efeitos das cargas do tráfego, foram realizadas medições de campo resultantes do carregamento de um caminhão basculante com eixo tandem duplo na traseira, trafegando a 77 km/h. A seção instrumentada continha *strain gauges* para uso em concreto, colocados a 2,50 cm do topo e a 2,50 cm do fundo da placa, e uma célula de pressão Modelo 3610, fabricada pela Geokon, posicionada ao longo do trajeto da roda do caminhão, para registrar a pressão dinâmica no fundo da placa de concreto. Sargand (1994) informa que a coleta de dados foi realizada por um MEGADAC 5108AC. O sistema era capaz de monitorar 80 canais, para obter dados dos *strain gauges* e das células de pressão.

2.5.2 Pavimento experimental da USP

Segundo Balbo *et al.* (2000), o pavimento experimental de concreto simples da Universidade de São Paulo (USP) foi construído em 1999, pelo Laboratório de Mecânica de Pavimentos da Escola Politécnica da USP, no estacionamento do edifício do Departamento de Engenharia Civil. O objetivo principal da instrumentação foi a coleta de dados referentes aos efeitos térmicos sobre as placas de concreto.

A pista era composta por cinco seções de ensaios, totalizando 15 placas de concreto. Cada seção, com diferentes características, era composta por três placas. A Figura 10 mostra o posicionamento das seções e as dimensões das placas.

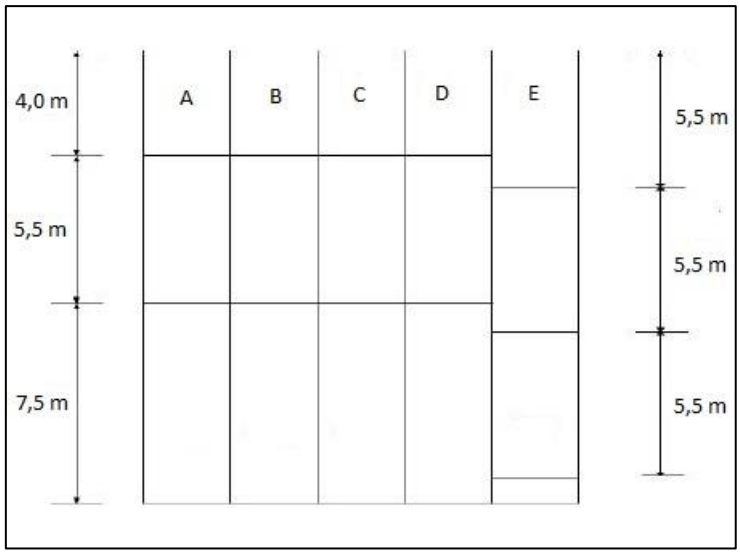

Figura 10: Posicionamento das seções na pista experimental da USP (BALBO *et al.*, 2000).

A seção E, que foi a adotada para a calibração do modelo desenvolvido na presente pesquisa, era composta por três placas, cada uma com 5,50 m de comprimento, 3,50 m de largura e 0,25 m de espessura, assentes sobre sub-base de Brita Graduada Simples (BGS) com 0,10 m de espessura e subleito argiloso de aterro com k = 42 MPa/m. Entre a placa e a sub-base foi instalada uma lona plástica, para impedir a aderência entre as camadas. Há uma junta com barras de transferência de cargas e uma junta sem tais dispositivos. O concreto empregado apresentava resistência à tração na flexão média de 5,3 MPa e módulo de elasticidade de aproximadamente 26 GPa.

Para a aquisição dos dados almejados, foram utilizados na instrumentação medidores de deformação e de temperatura. Para medir a deformação, foram usados *strain gauges* específicos para imersão em concreto fresco, com módulo de deformação semelhante ao do concreto (28 GPa), resistência de 120 Ω e *gauge factor* de 2,0. Para medir a temperatura, foram instalados termopares do tipo PT-100, com faixa de utilização de –250 a 600 ºC e proteção do filamento com cápsula cerâmica.

Os *strain gauges* foram posicionados próximos aos locais onde ocorreriam as maiores deformações. A determinação desses locais foi feita por meio de simulações numéricas das deformações usando o programa de elementos finitos FEACONS 4.1 SI, assumindo a ação de gradientes térmicos e cargas rodoviárias, localizadas no centro e na junta transversal da placa. Como as placas do pavimento não eram aderidas à sub-base, a linha neutra foi considerada à meia altura da placa e os *strain gauges* foram instalados no fundo da placa.

Os termopares foram instaladas próximos aos *strain gauges*, em várias posições (centro, meio da borda longitudinal, canto e meio da junta transversal) para possibilitar a avaliação da homogeneidade dos gradientes térmicos e em cinco alturas diferentes para possibilitar avaliação da linearidade dos gradientes térmicos ao longo da espessura da placa. A Figura 11 mostra a posição dos instrumentos na seção E.

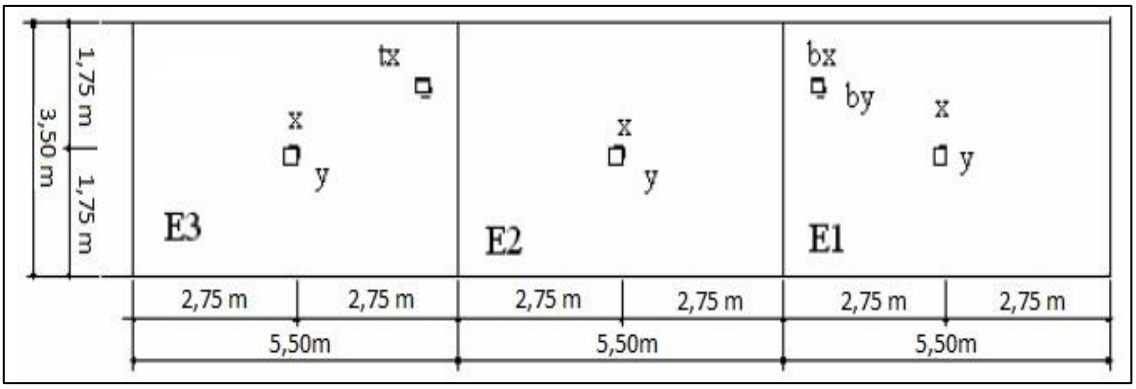

Figura 11: Posicionamento dos instrumentos na seção E da pista experimental da USP (BALBO *et al.*, 2004).

O condicionador de sinais usado para captar as informações tinha capacidade para receber simultaneamente dados de 10 *strain gauges* e de 22 termopares, o que implicou em leituras semanais sucessivas de um bloco ou conjunto de instrumentos, o que foi realizado em intervalos de 15 minutos. Foram realizadas coletas de informações em períodos sucessivos de 24 horas, sete dias por semana.

Segundo Balbo *et al.* (2004), as provas de carga ocorreram no dia 11 de novembro de 2000, por volta de 6 horas da manhã, quando o diferencial térmico medido era nulo. Foi usado um caminhão caçamba com eixo traseiro pesando 83,6 kN e pressão nos pneus de 638 kPa, movendo-se a 3,3 km/h. A borda externa da roda do eixo traseiro foi posicionada a 0,68 m da borda longitudinal da placa.

Maiores informações sobre a pista podem ser encontradas em Balbo *et al.* (2000), que descrevem como foi realizada a instrumentação da pista experimental da USP e em Balbo *et al.* (2004), que descrevem uma calibração de tensões em pavimentos de concreto baseando-se em medidas feitas em pistas experimentais, entre elas esta a pista da USP.

2.5.3 Pista experimental do IPR/DNER

A pista circular experimental do IPR/DNER começou a ser construída em 1975,

no Centro Rodoviário em Parada de Lucas, no km 163 da Rodovia Presidente Dutra, no Rio de Janeiro. Diversos estudos foram realizados na pista, até que, em 1997, o DNER desenvolveu uma pesquisa sobre o recapeamento de pavimentos flexíveis com concreto do tipo *whitetopping*, para confeccionar um manual. Junto a este projeto, foram feitos os estudos de Silva (2001) sobre o comportamento funcional e estrutural da pista circular experimental com revestimento em *whitetopping*.

A pista experimental dispõe de um trem de prova de 33 m de diâmetro, composto por três subestruturas treliçadas. Cada conjunto de rodas duplas recebe uma carga de aproximadamente 57 kN e a estrutura pesa 171kN. O conjunto de rodas duplas possuía dois pneus, inflados a 0,74 MPa. A velocidade média de operação do trem de prova foi de 40 km/h. Nesta velocidade, são aplicados ao pavimento, pelos três conjuntos de rodas, aproximadamente 1.500 carregamentos por hora. A Figura 12 mostra uma visão da pista experimental.

Figura 12: Vista da pista experimental do IPR/DNER (SILVA, 2001).

O reforço em *withetopping* foi construído sobre camada asfáltica deteriorada, sub-base de brita graduada e subleito de argila. A pista foi dividida em 25 placas com 3,6 m de comprimento externo, 2,8 m interno e 3 m de largura. Em metade da pista foi usado concreto com fibras metálicas e na outra metade, concreto sem fibras.

Segundo Silva (2001), a instrumentação da pista tinha como objetivo determinar o desempenho do reforço do tipo *whitetopping* em termos de vida de fadiga e deformações plásticas excessivas. Foram instalados 6 *strain gauges* de resistência de 120 Ω e sensibilidade de 7×10^{-6}m/m, fabricados pela KYOWA, imersos no concreto, para medir as deformações atuantes a cerca de 2 cm acima da camada asfáltica, o mais

próximo possível do fundo da placa de concreto e no centro da faixa de rolamento do carrossel. Três sensores foram instalados em forma de roseta, para determinação da direção e do valor das tensões principais naquele ponto e os demais na direção longitudinal à pista.

Além disso, foram instaladas duas células de carga, fabricadas pela empresa KRATOS, com sensibilidade de 0,001 kgf/cm^2, para medir os esforços exercidos pela placa de concreto na superfície da camada asfáltica e no centro da faixa de rolamento do carrossel. As células foram dimensionadas para suportar carga até 5,6 tf.

O sistema de aquisição de dados era composto por um condicionador de sinais, gerenciado por computador, com seis canais, da marca KYOWA, que amplificava e filtrava os sinais provenientes dos sensores. Foram usados também um conversor analógico/digital com oito canais da marca NATIONAL e o *software* NIDAQ, específicos para digitalização e aquisição de sinais analógicos. Durante a realização das medições, os resultados podiam ser monitorados por meio de gráficos disponíveis nas telas de um computador Pentium, com processador de 200 MHz .

Para a medição da temperatura do ar e das placas de concreto, na pista experimental do IPR/DNER foram instalados termopares do tipo T, para uso até 100°C. Foram três a 1,5 cm, 7,5 cm e 15 cm de profundidade na borda e cinco a 1,5 cm, 4 cm, 7,5 cm, 10 cm e 15cm de profundidade no interior da placa nº 20, localizada na parte com concreto sem fibras. Foram instalados também um termopar a 1,5 cm de profundidade do concreto com fibra e outro na superfície do concreto asfáltico da pista, além de um termopar no abrigo de meteorologia, para medir a temperatura do ar.

O aparelho utilizado para aquisição dos dados foi um modelo 34970A da HP acompanhado do programa HP *BenchLink Data Logger Software*, que permitia visualizar a análise das medições na tela do computador. As temperaturas foram monitoradas geralmente em intervalos de 15 ou 10 minutos, em ciclos de 24 horas.

As informações completas sobre a pista circular experimental do IPR/DNER podem ser encontradas na tese de doutorado de Silva (2001).

3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Para analisar o comportamento estrutural dos pavimentos de concreto submetidos às cargas provenientes do tráfego e ao empenamento térmico, foi desenvolvido um modelo em três dimensões, no programa computacional ABAQUS que faz uso do método dos elementos finitos para verificar as tensões e as deformações em qualquer tipo de estrutura. Todos os parâmetros usados na modelagem precisaram ser selecionados buscando se aproximar ao máximo da condição real de um pavimento de concreto, para obter respostas precisas e assim possibilitar uma melhor compreensão do desempenho deste tipo de pavimento. No desenvolvimento deste modelo foram testados diversos parâmetros e formas de customização e os que apresentaram melhores resultados, foram selecionados.

A janela principal do ABAQUS é composta principalmente pelas barras de tarefas chamadas aqui de menu principal, menu secundário e menu de módulos e pela janela de exibição, como mostra a Figura 13.

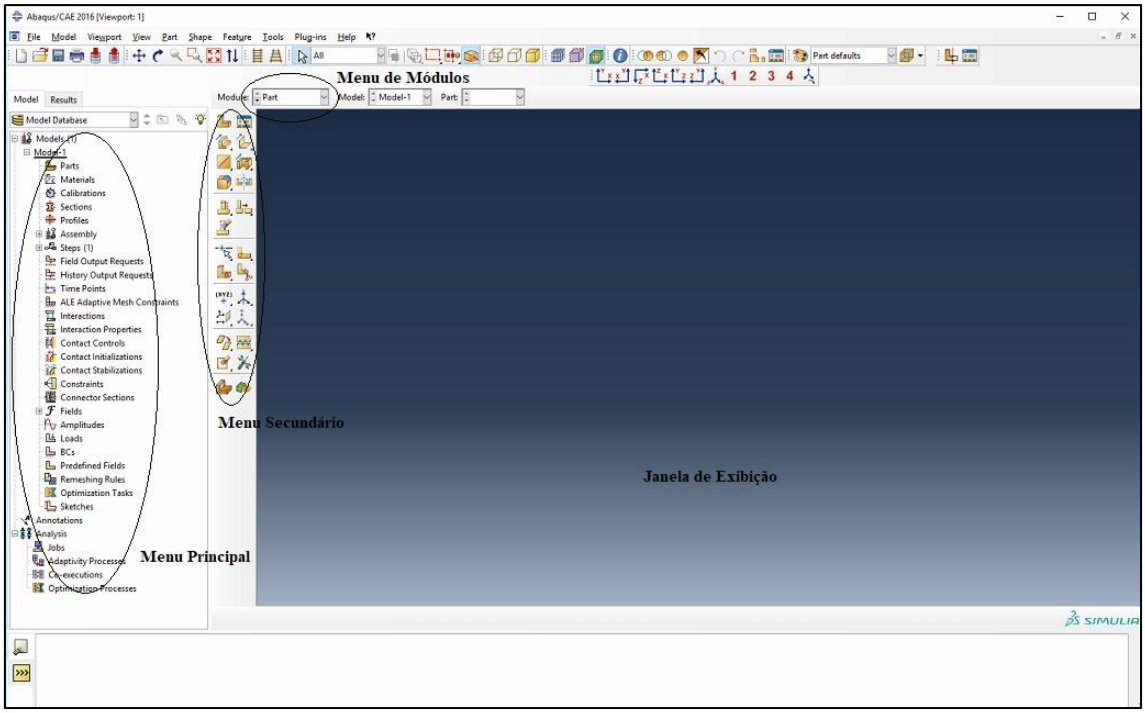

Figura 13: Janela inicial e menu principal do ABAQUS.

O modelo desenvolvido é composto por uma placa e duas meias-placas (para poder reduzir o tempo de processamento, sem deixar de considerar a transferência de

carga), assentes sobre sub-base e subleito, com ou sem barras de transferência nas juntas. Os pavimentos reais são compostos por uma quantidade maior de placas localizadas lado a lado, entretanto, devido ao longo tempo necessário para o processamento dos dados, optou-se por esta premissa (modelagem de placa e duas meias-placas). O modelo pode ser composto por placa e camadas de quaisquer dimensões e espessuras e outras camadas também podem ser inseridas.

Inicialmente na modelagem, foram desenhadas as partes que irão compor o modelo (placa, meia-placa, sub-base, subleito e barra de transferência). Os desenhos são feitos no módulo *Part*, usando o ícone *Create Part* do menu secundário. Cada camada foi nomeada e os ítens *3D*, *deformable*, *solid* e *extrusion* foram marcados, como mostra a Figura 14. No ABAQUS é o usuário que determina quais unidades de medida serão adotadas. Portanto, é necessário ter atenção no desenvolvimento de todo o modelo, para evitar erros nos resultados.

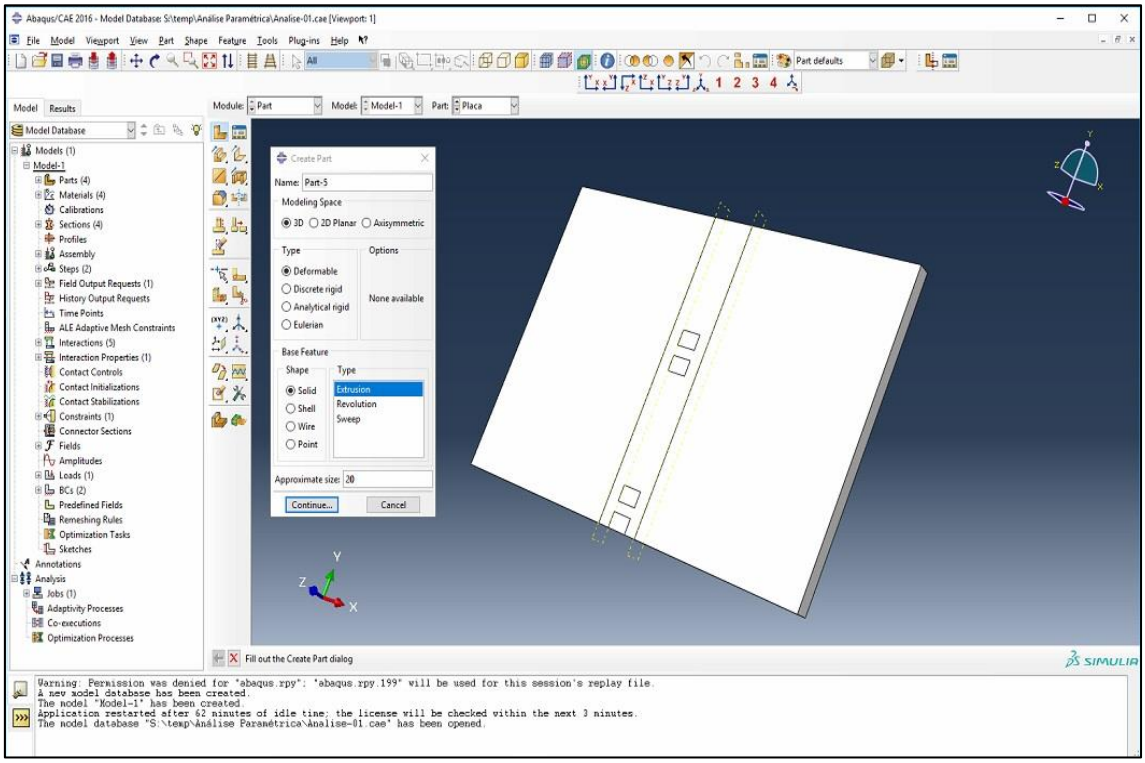

Figura 14: Exemplo de desenho no módulo *Part*.

Na superfície da placa, foi desenhada a área de carregamento, usando o ícone *Partition Face: Sketch*. É importante também, criar partições ao redor da área de carregamento em todas as camadas, para facilitar na hora de gerar a malha de elementos finitos. A Figura 14 mostra estas partições e a área de carregamento. As partições

podem ser feitas criando *Datum Planes* e usando o ícone *Create Partition*, tipo *Cell* e método *Use Datum Plane*. Na sub-base e no subleito também foram criadas partições na direção das juntas, entre a placa e a meia-placa.

Nos pavimentos compostos por barras de transferência nas juntas, foi necessário extrair da placa a área ocupada pelas barras, usando o ícone *Create Cut: Circular Hole* do menu secundário. Também foi necessário criar partições ao redor do local onde as barras foram depois instaladas, como mostra a Figura 15, para facilitar a geração da malha de elementos finitos.

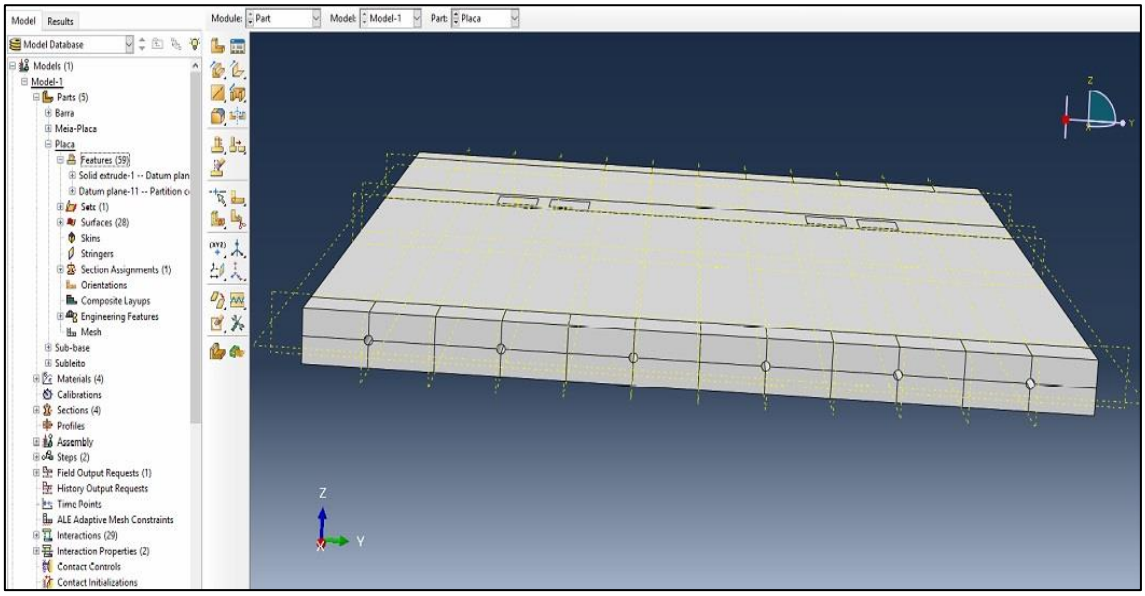

Figura 15: Desenho do local onde as barras de transferência serão instaladas e as partições ao redor.

Ainda no módulo *Part*, foram criadas as superfícies das camadas, que serão necessárias posteriormente, para acrescentar interação entre elas. No menu principal, basta clicar em cada uma das *Parts* criadas, depois em *Surfaces* e marcar no próprio desenho a superfície desejada. Para este modelo foram criadas superfícies para as laterais e para o fundo da placa e da meia-placa, para o topo e para o fundo da sub-base e para o topo do subleito. O topo da sub-base foi dividido em três superfícies, uma referente à área da placa e as outras duas, iguais a área das meias-placas, como mostra a Figura 16. Para as barras de transferência, foram adotadas quatro superfícies diferentes. Na placa e na meia-placa, em cada local onde há contato com as barra de transferência, foram criadas duas superfícies, conforme identificado na Figura 17.

A seguir foram criadas as propriedades para cada material que compõe o pavimento. Para isso, o menu de módulos foi mudado de *Part* para *Property*, e,

automaticamente, todo o menu secundário também mudou. No presente modelo, todos os materiais foram considerados elástico lineares, portanto no ícone *Create Matereal*, após nomear cada material, foram inseridos o valor do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson clicando em *Mechanical*, *Elasticity* e *Elastic*. Além disso, para analisar os efeitos do empenamento térmico da placa de concreto foi necessário acrescentar, ao criar o material concreto, as propriedades de expansão (*Mechanical/Expansion*), densidade (*General/Density*) e condutividade (*Thermal/Conductivity*).

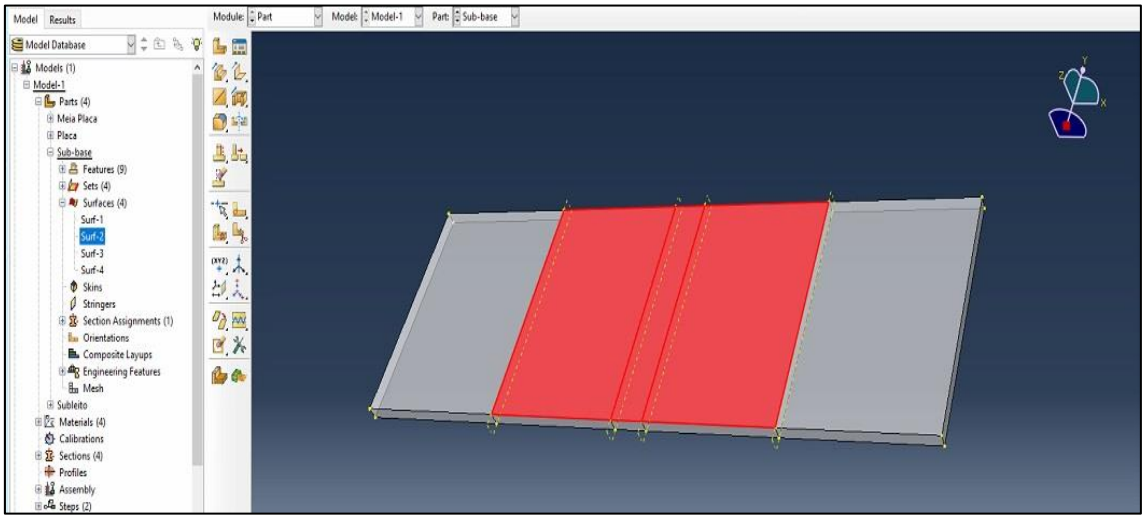

Figura 16: Superfícies da sub-base.

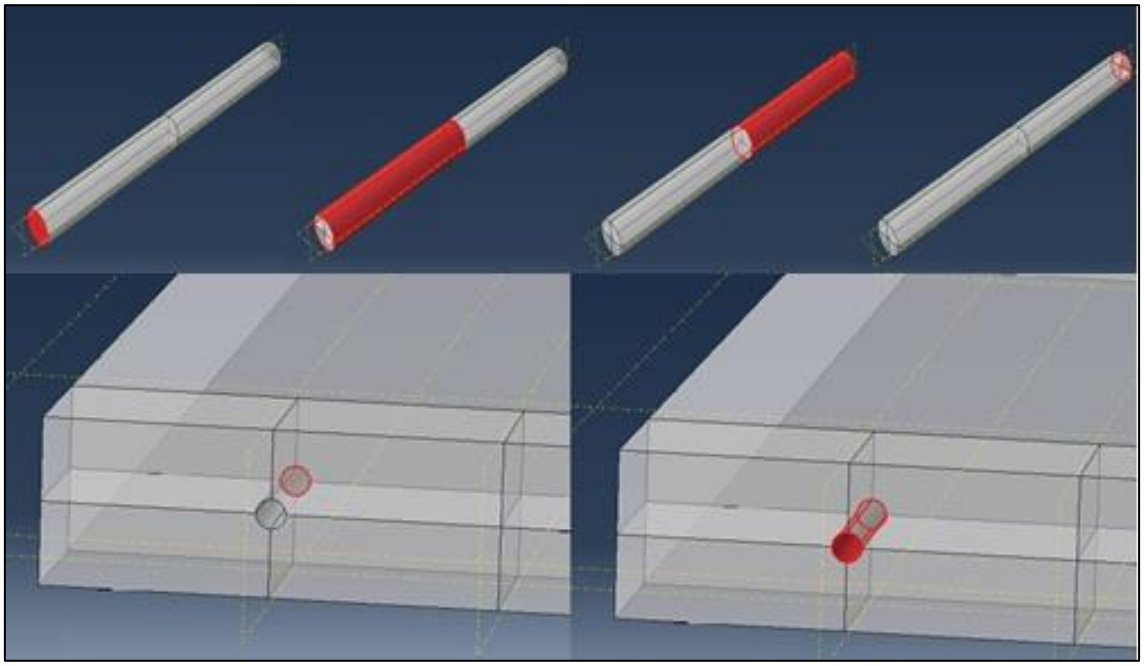

Figura 17: Superfícies das barras de transferência e do local onde serão instaladas na placa e na meia-placa.

Em seguida foi criada uma seção sólida homogênea para cada tipo de material, usando o ícone *Create Section* do menu secundário. Usando o ícone *Assign Section*, também localizado no menu secundário, as seções foram atribuídas à placa, à meia-placa, à sub-base, ao subleito e à barra de transferência, dando assim propriedades a essas partes que compõem o modelo desenvolvido e implementado no Abaqus.

Com as partes criadas e com as propriedades definidas, a próxima etapa foi montar a estrutura do modelo. O menu de módulos foi trocado para *Assembly*. No ícone *Create Instance* do menu secundário, cada parte foi inserida e colocada na posição correta, usando os ícones *Translate Instance* e *Rotate Instance*. A meia-placa foi inserida duas vezes e uma delas foi rotacionada para que o local onde foram inseridas as barras de transferência ficasse correto, na direção da placa. Também foram inseridas várias barras de transferência, de acordo com o espaçamento determinado por norma ou conforme a análise feita.

Além disso, é importante destacar que, após alguns testes, foi verificada a necessidade de deixar um espaço de 1,00 cm nas juntas, entre a placa e as meias-placas, para que a placa empenasse nas análises com variação de temperatura entre o topo e o fundo. Entretanto, esta premissa adotada na modelagem, difere do que de fato ocorre em campo, pois nas juntas, normalmente, apenas cerca de um terço da espessura da placa é serrada e nos outros dois terços induz-se uma fissura causada pela retração plástica, que possui espessura inferior a 1,00 cm e que não pôde ser representada de forma mais realista, por aumentar significativamente o tempo de processamento do modelo. A Figura 18 mostra como ficou o modelo montado e destaca o espaçamento entre as juntas e a Figura 19 mostra as barras de transferência posicionadas na placa.

Depois de montar a estrutura do pavimento na *Assembly*, a etapa subsequente foi criar uma fase na qual ocorre os carregamentos aos quais o pavimento foi submetido, e para isso, o menu de módulos foi mudado para o módulo *Step*. O ABAQUS já determina um *step* ou fase inicial, que representa o modelo antes do carregamento. Para criar o *step* de carregamento foi usado o ícone *Create Step*, no menu secundário e dentre várias opções, foi verificado após testes que o mais adequado foi o procedimento do tipo *coupled temp-displacement*, com resposta de curso estável (*stead-state*) e período de aplicação da carga igual a 1 segundo.

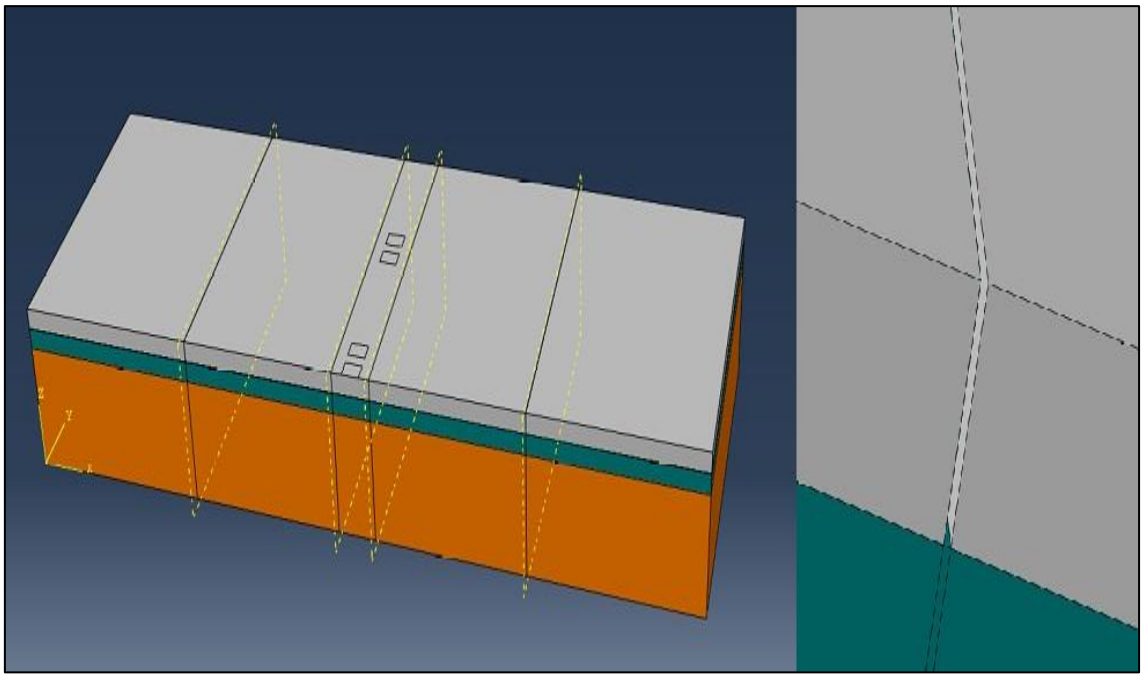

Figura 18: Modelo montado na *Assembly* e espaçamento entre as juntas.

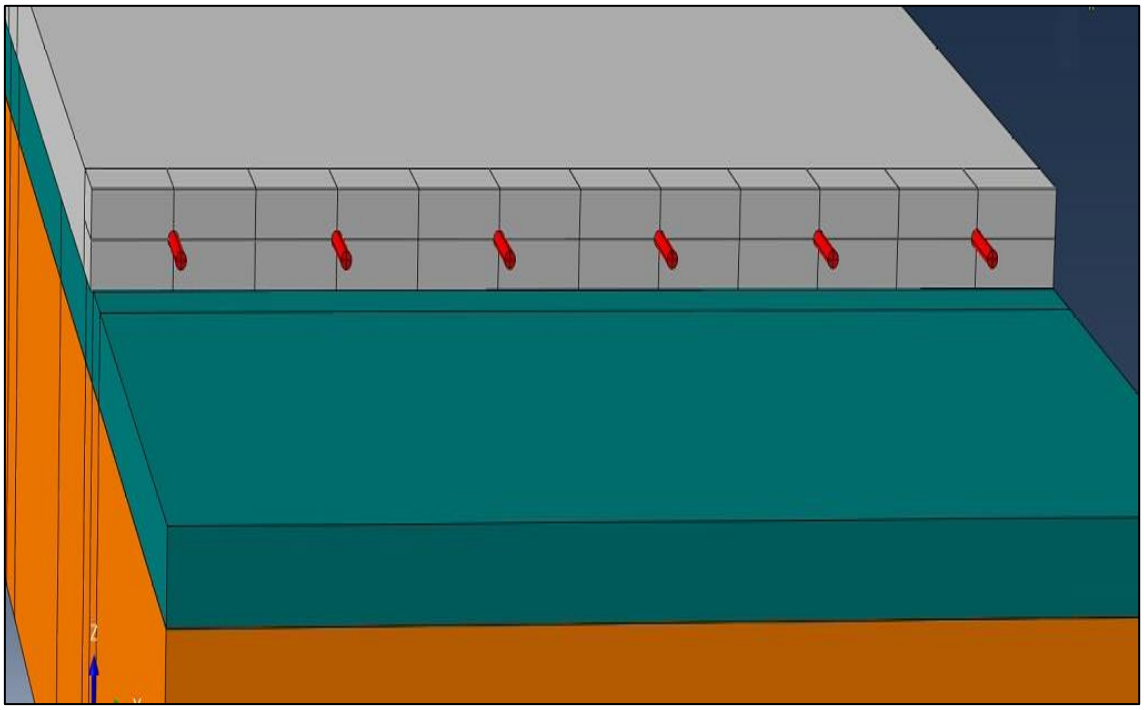

Figura 19: Barras de transferência posicionadas na placa.

O ABAQUS aplica o carregamento aos poucos, por incrementos, dividindo a carga pelo tempo total de aplicação. Foram realizados testes variando a quantidade e o tamanho desses incrementos, a fim de obter convergência na análise. Com isso, verificou-se a necessidade de usar um número máximo de incrementos de $1x10^{9}$, com tamanho inicial de 0,01, mínimo de $1x10^{-15}$ e máximo de 1.

No menu secundário nos ícones *Create Field Output* e *Create History Output* é possível determinar quais parâmetros serão calculados na análise. Neste estudo foram determinadas as tensões e as deformações, portanto só estas opções foram marcadas, para não aumentar o tempo de processamento, além do necessário. Destaca-se que vários fatores afetam o tempo de processamento, sendo o principal, as configurações do computador, que foi uma das maiores dificuldades encontrada no desenvolvimento da presente pesquisa.

Como o modelo desenvolvido na presente pesquisa é tridimensional, para realizar as simulações computacionais foi usada uma *workstation silix*® com 8 núcleos, 32 GB de memória RAM, HD SSD 120 GB e 1 TB SATA3 e placa de vídeo Quadro Pascal P400 2G 256 CUDA, do Laboratório de Informática do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. Destaca-se que a memória RAM de 32 GB foi essencial para reduzir o tempo de processamento, que, ainda assim, foi de cerca de 8 horas para cada simulação.

Após a criação do *step* de carregamento, foram determinadas as interfaces de contato existentes entre as partes que compõem o pavimento, para isso foi selecionada a opção *Interaction* no menu de módulos. Nesta etapa, primeiramente são criadas as propriedades da iteração, usando o ícone *Create Interaction Property* e inserindo os itens *Tangential Behavior* (contato tangencial) com atrito de 0.5 e *Normal Behavior* (contato normal).

Após diversas analises e comparações entre os resultados obtidos, optou-se por adotar no modelo desenvolvido na presente pesquisa, um contato de superfície com superfície, na interface entre a placa e a sua camada de apoio e na junta do pavimento, foi usado o ícone *Create Interaction* e selecionado entre os tipos de contato, o *surface-to-surface contact*. Na sequencia, dentre as superfícies determinadas anteriormente no módulo *Part*, foi escolhida a superfície mestre e a superfície escrava.

O contato entre o subleito e a sub-base foi considerado aderido, por não influir de forma expressiva nos resultados que se desejava obter com o modelo da presente pesquisa (tensões e deformações no fundo da placa) e reduzir o tempo de processamento. Para criar a aderência entre essas camadas, deve ser usado o ícone *Create Constraint*, tipo *Tie* e em seguida devem ser selecionadas as superfícies mestre e escrava. Para outras análises mais direcionadas para sub-base e subleito, esta interface

também pode possuir contato do tipo *surface-to-surface*.

Nos casos em que são usadas barras de transferência, é necessário determinar quatro contatos individualmente para cada uma das barras, como mostra a Figura 20. Em dois deles, no fundo e na metade direita da barra, o contato adotado foi *surface-to-surface* com comportamento normal e tangencial com atrito de 0.5 e nos outros dois, no fundo e na metade esquerda da barra, a barra foi aderida ao concreto (usando a *Constraint Tie*), para simular o que ocorre nos pavimentos reais, em que um dos lados da barra é revestido com graxa ou óleo lubrificante, para não grudar no concreto enquanto o outro lado fica aderido.

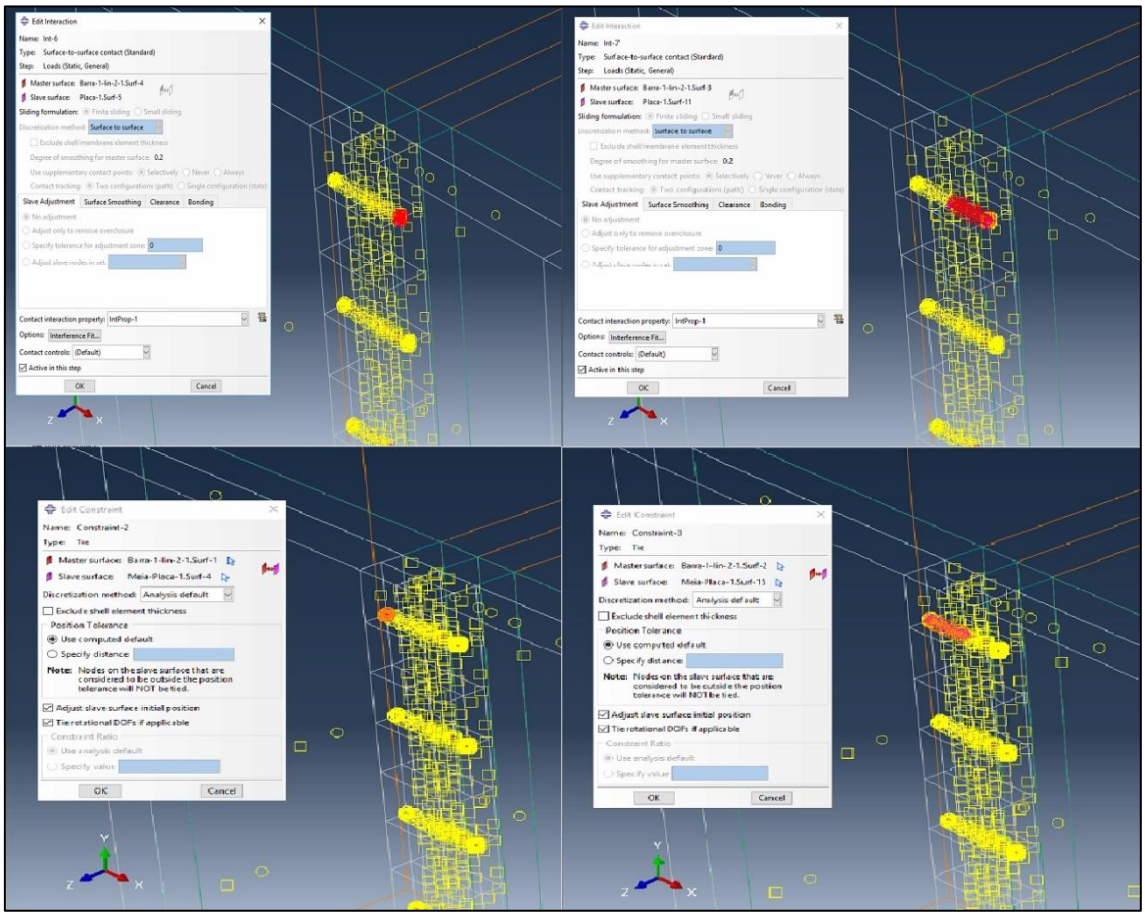

Figura 20: Interações entre a barra de transferência e a placa e a meia-placa de concreto.

Com as interações estabelecidas, a próxima etapa foi criar o carregamento e as condições de contorno, no menu de módulos *Load*. A carga proveniente do tráfego foi representada por um carregamento mecânico estático, do tipo pressão, aplicado na placa de concreto conforme as dimensões da área de contato pneu-pavimento, podendo variar de acordo com os tipos de veículos, a quantidade de eixos e o valor do carregamento.

Para simular este carregamento foi usado o ícone *Create Load*, no menu secundário e escolhida a categoria *Mechanical* (mecânico) e o tipo *Pressure* (pressão). Em seguida foi selecionado no desenho da estrutura criada, o local do carregamento desenhado na placa no início do desenvolvimento do modelo e por fim foi estabelecida a pressão de contato.

As condições de contorno adotadas para o modelo proposto, após estudos e testes, foram: subleito engastado, laterais transversais das meias-placas e todas as laterais da sub-base e do subleito impedidas de se moverem nas direções X e Y e de rotacionar na direção Z. A placa de concreto deve continuar com as laterais livres para poder encolher e expandir de acordo com as variações de temperatura. No item *Create Boundary Condition*, do menu secundário, constam estas opções. A Figura 21 mostra o carregamento proveniente do tráfego sendo aplicado e as condições de contorno determinadas para o modelo proposto.

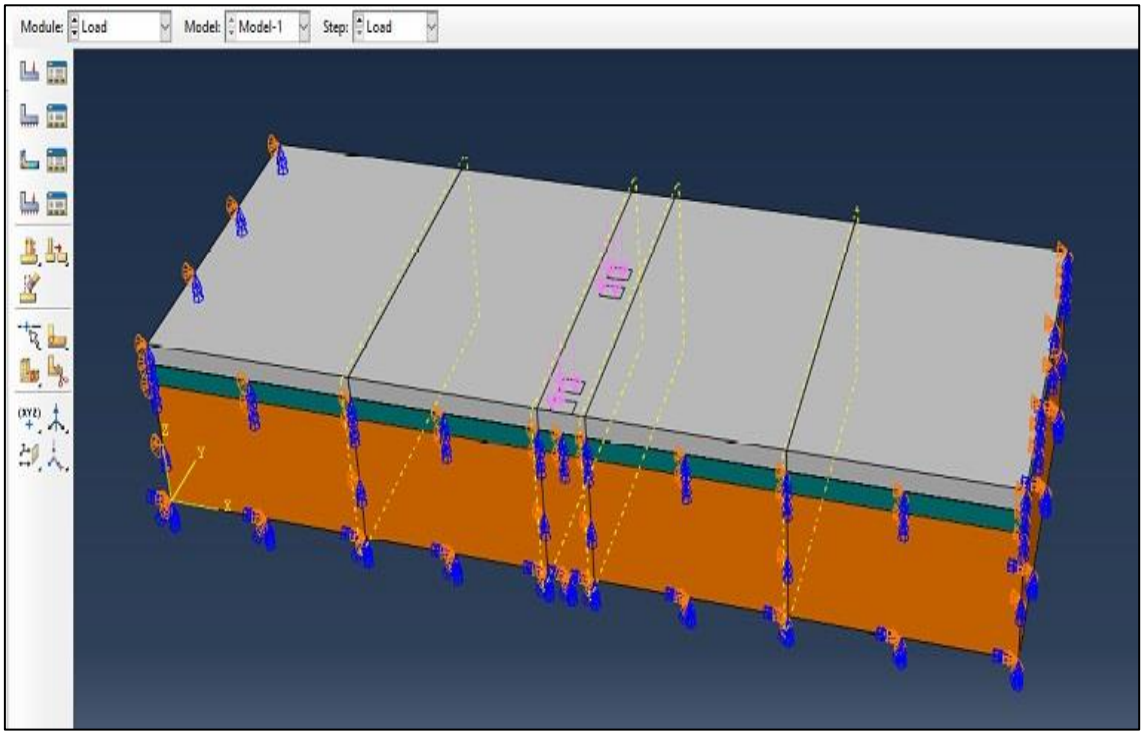

Figura 21: Carregamento proveniente do tráfego e condições de contorno.

Para analisar o empenamento térmico da placa de concreto foi preciso inserir condições de contorno de temperatura no topo e no fundo da placa de concreto, usando o item *Create Boundary Condition*, categoria *other* e tipo *Temperature*. A área onde a condição de contorno foi aplicada foi selecionada no desenho e a magnitude da temperatura foi estabelecida. Destaca-se que foram feitos vários tipos de análise de

temperatura antes de tomar a decisão e este foi o que mais se aproximou do comportamento e dos valores obtidos com as equações analíticas.

A próxima etapa no desenvolvimento do modelo foi determinar a malha de elementos finitos usando uma análise de convergência para definir a dimensão apropriada dos elementos. Após realizar alguns testes e verificar os resultados, como mostra a Figura 22, optou-se por usar uma malha mais refinada, com 0,05 m, na região do carregamento e nas juntas, pontos de maior interesse para os resultados, buscando otimizar assim o tempo de processamento, mantendo a confiabilidade das respostas. Na espessura da placa e da sub-base também foi adotado o uso de malha com espaçamento de 0,05 m e no subleito com 0,30 m.

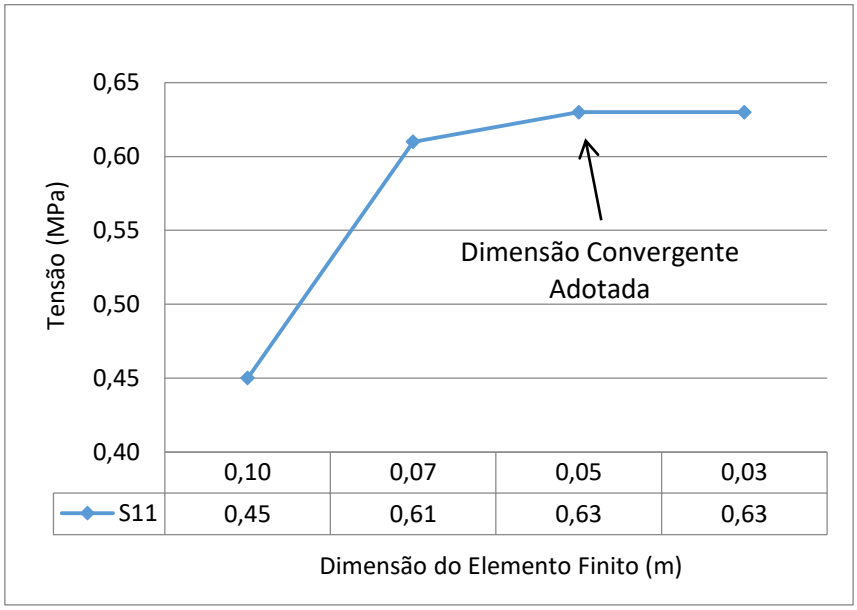

Figura 22: Análise de convergência de malha.

Optou-se pelo uso de elementos em forma de hexaedros, pela técnica *sweep*, do tipo C3D20RT (*20-node thermally coupled brick, triquadratic displacement, trilinear temperature, reduced integration*) em todas as partes que compõem o modelo (placa, meia-placa, sub-base, subleito e barra de transferência), pois nas análises considerando o empenamento térmico é necessário usar elementos *Coupled Temperature-Displacement* e verificou-se que os quadráticos obtiveram respostas mais realistas que os lineares.

Para aplicar a malha de elementos finitos há no menu de módulos o item *Mesh*. A malha foi adicionada separadamente a cada uma das partes que compõem o modelo.

No menu secundário foi usado o item *Assing Mesh Controls* para definir o tipo de malha, e para o modelo proposto foi determinado o uso de *Hex, Sweep, Medial Axis*. Em seguida foi usado o item *Assign Element Type*, para determinar o tipo de elemento, sendo estabelecido o uso do *Standard, Coupled Temperature Displacement* e *Quadratic*. Usando o ícone *Seed Edges* foram adicionadas as dimensões desejadas para a malha em cada uma das partes. Depois de adicionadas, basta clicar em *Mesh Part* que a malha é gerada.

A Figura 23 mostra um modelo completo com malha, a Figura 24 a malha de uma placa, no local onde as barras de transferência são inseridas e a Figura 25 a malha de uma barra de transferência. Destaca-se que para obter esta malha na barra de transferência foi necessário dividi-la em quatro, com duas partições no centro, usando *Datum Planes*.

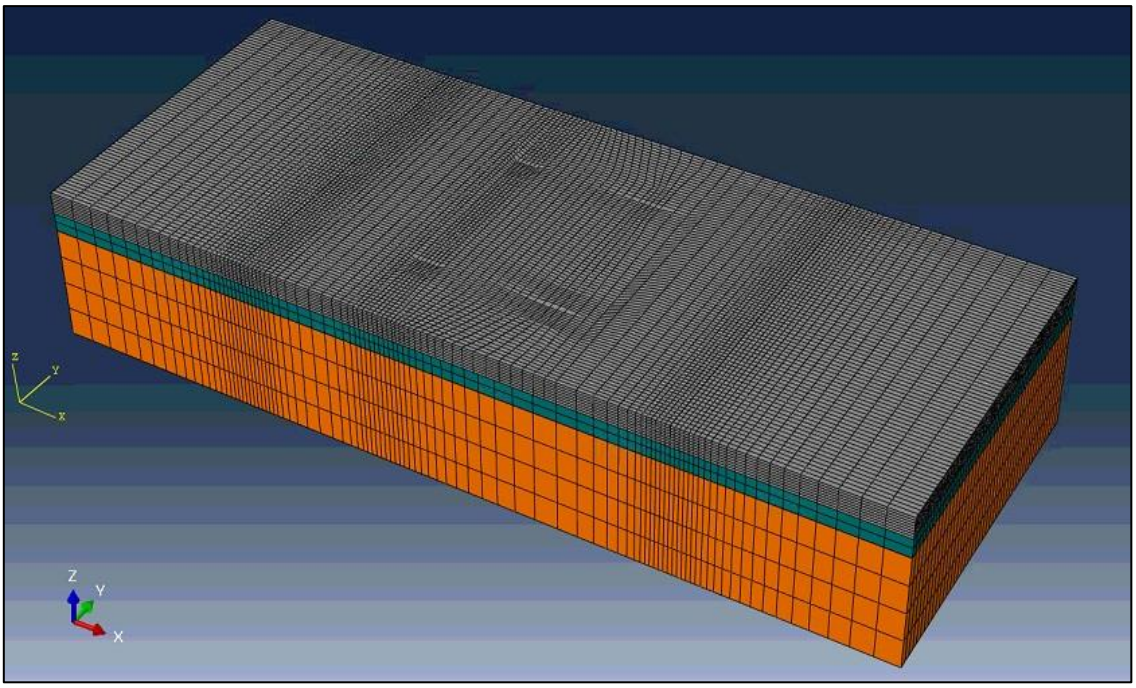

Figura 23: Modelo desenvolvido na presente pesquisa com a malha de elementos finitos.

A última etapa antes do processamento foi criar um *Job*, ou seja, uma tarefa. Depois de todo o modelo pronto, foi selecionado o item *Job* no menu de modelos e na barra secundária o ícone *Create Job*. Para iniciar a análise basta clicar em *Submite*, quando a análise for concluída, aparecerá *Completed* e então para ver os resultados é só clicar em *Results* que automaticamente o menu de modelos passará para o item *Visualization*.

Assim que o módulo *Visualization* é acionado, aparecem os resultados gráficos gerados pelo ABAQUS, conforme mostra a Figura 26. Ao clicar em *Plot Countorns on Deformed Shape*, no menu secundário, aparece a estrutura deformada e clicando em *Commom Options* é possível mudar a escala da deformação. Para gerar os relatórios há a opção *Report*, na barra de tarefas da parte superior da tela.

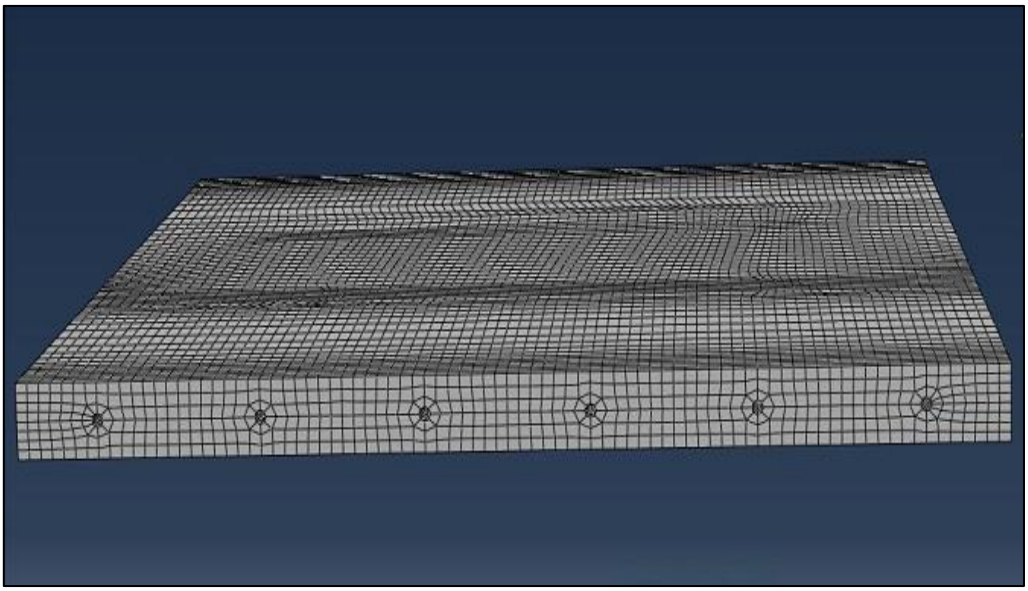

Figura 24: Malha de elementos finitos na placa de concreto, mostrando o local onde as barras de transferência serão inseridas.

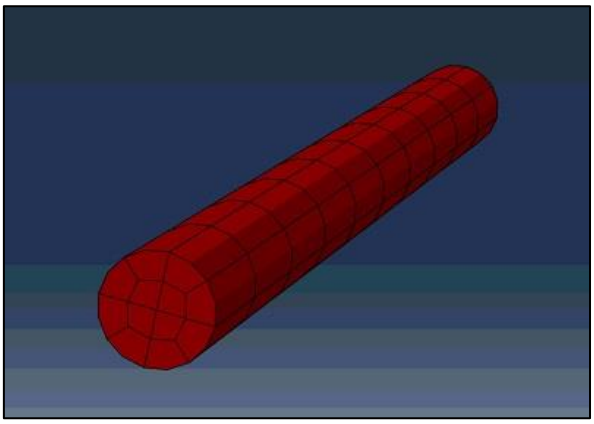

Figura 25: Malha de elementos finitos na barra de transferência.

O ABAQUS pode gerar relatório referente a todos os elementos da malha, para todas as variáveis que foram estabelecidas no módulo *Step*, nos ícones *History* e *Field Output* (tensões e deformações no caso). Na presente pesquisa foram realizadas mais de 50 análises e diversos testes. Portanto, foram gerados relatórios apenas das tensões em X, Y e Z e das deformações em X, Y e Z, no fundo da placa de concreto, no centro da borda longitudinal, na direção do carregamento, conforme mostra a Figura 27, pois um

relatório completo de todo o modelo apresenta extensão enorme.

Para gerar este tipo de relatório foi usado o ítem *Report* e na sequencia *Report Field Output*. Em *Variable* foram marcadas as opções S11, S22, S33, E11, E22 e E33 e em *Setup* foi determinado o local onde o arquivo foi salvo. A Figura 28 mostra o exemplo de um dos relatórios gerados. Os hexaedros quadráticos com 20 nós geram resultados em 8 pontos de interação, para a presente pesquisa foram utilizados os resultados obtidos no ponto número 8.

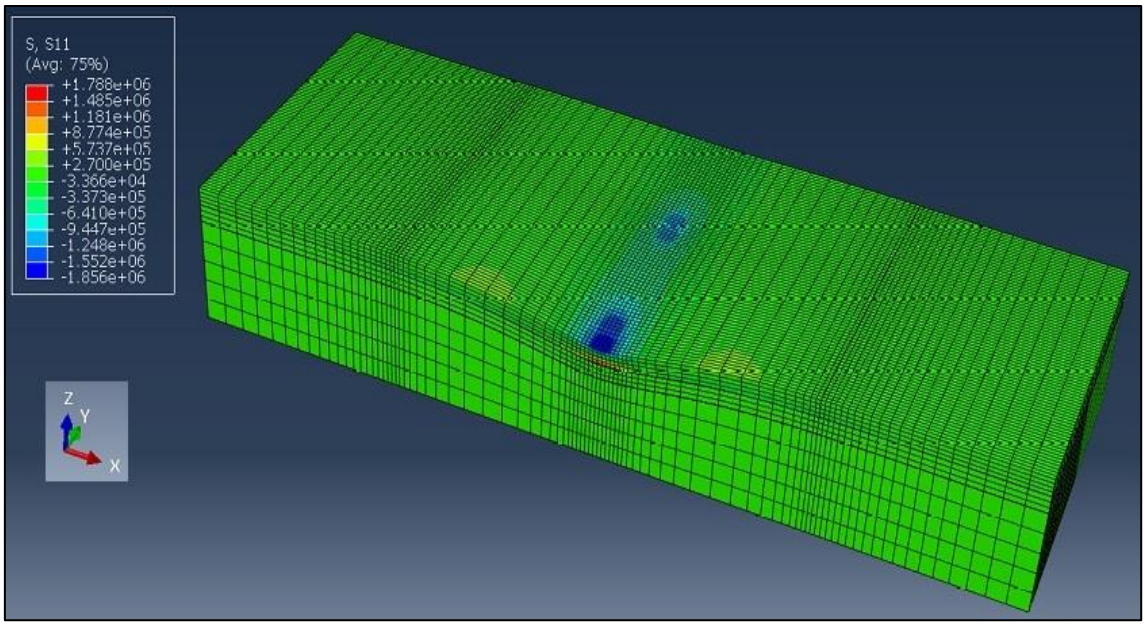

Figura 26: Resultados gráficos gerados pelo ABAQUS.

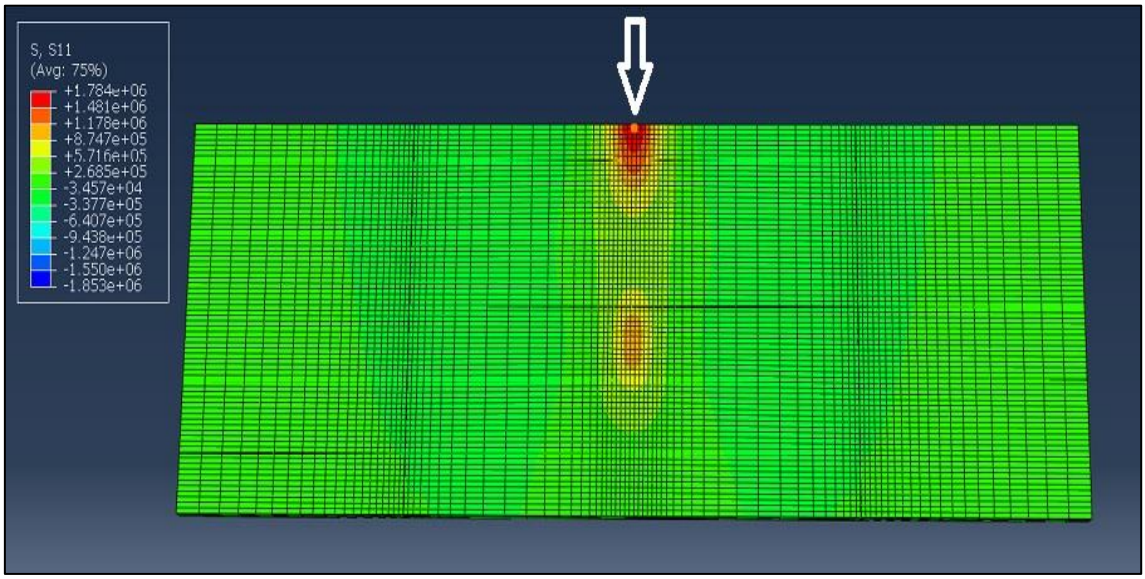

Figura 27: Local no qual foram obtidos os resultados que constam nos relatórios da presente pesquisa.

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Tue Feb 26 14:38:50 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Analise-56.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.0771E-06	-4.52168E-06	-8.63818E-06	1.00590E+06	-1.02791E+03	-108.415E+03
12813	2	34.5896E-06	-4.42434E-06	-8.31325E-06	1.02449E+06	6.73654E+03	-94.7132E+03
12813	3	34.0771E-06	-4.52165E-06	-8.63815E-06	1.00590E+06	-1.02701E+03	-108.414E+03
12813	4	34.5896E-06	-4.42425E-06	-8.31318E-06	1.02449E+06	6.73973E+03	-94.7106E+03
12813	5	52.1364E-06	-7.27938E-06	-10.0583E-06	1.55461E+06	4.63017E+03	-67.8634E+03
12813	6	52.6975E-06	-6.84101E-06	-9.74150E-06	1.57660E+06	23.4237E+03	-52.2413E+03
12813	7	52.1364E-06	-7.27932E-06	-10.0583E-06	1.55461E+06	4.63242E+03	-67.8619E+03
12813	8	52.6974E-06	-6.84079E-06	-9.74145E-06	1.57660E+06	23.4306E+03	-52.2390E+03
Minimum		34.0771E-06	-7.27938E-06	-10.0583E-06	1.00590E+06	-1.02791E+03	-108.415E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.6975E-06	-4.42425E-06	-8.31318E-06	1.57660E+06	23.4306E+03	-52.2390E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		347.001E-06	-46.1324E-06	-73.5023E-06	10.3232E+06	67.5382E+03	-646.458E+03

Figura 28: Exemplo de relatório gerado pelo Abaqus e usado na presente pesquisa.

4 CALIBRAÇÃO DO MODELO

A calibração dos resultados é uma questão fundamental, já que se trata de uma investigação da acurácia do modelo numérico usado para simular o comportamento real do pavimento. Para verificar se de fato o modelo desenvolvido fornece informações compatíveis com a realidade, os resultados para tensões e deformações obtidos na modelagem, com cargas provenientes do tráfego, foram comparados com resultados medidos em campo, em três pistas instrumentadas, descritas na literatura. Os resultados obtidos para o empenamento térmico da placa de concreto foram comparados com resultados de soluções analíticas.

Para a análise do carregamento proveniente do tráfego, foram modeladas uma pista de ensaios construída em Ohio, nos Estados Unidos, para pesquisa dos efeitos das variações de temperatura e das cargas do tráfego nos pavimentos de concreto, estudada por Sargand (1994), e um pavimento experimental construído no campus da USP, em São Paulo, para estudo dos efeitos das variações térmicas nos pavimentos de concreto, realizado por Balbo *et al.* (2000), descritas no capítulo 2.

Para a análise das cargas térmicas e das cargas provenientes do tráfego, inclusive quando elas agem simultaneamente, foi realizada a modelagem da pista experimental do IPR/DNER, construída no Rio de Janeiro para os estudos de *whitetopping* realizados por Silva (2001), apresentada no capítulo 2.

4.1 MODELO DA PISTA DE ENSAIOS DE OHIO

O modelo usado no ABAQUS correspondente à pista de ensaios de Ohio, referente à seção SPS-2, foi composto por placa de concreto com 4,57 m de comprimento e 3,60 m de largura e duas meias-placas com 2,25 m de comprimento e 3,60 m de largura, assentes sobre sub-base e subleito com 9,00 m de comprimento e 3,60 m de largura. Nas juntas, existem seis barras de transferência de aço, com 0,46 m de comprimento e 0,04 m de diâmetro, com 0,56 m de espaçamento entre elas. A Figura 29 mostra a espessura das camadas do modelo, correspondentes às dimensões reais de campo.

Para que a modelagem obtenha respostas precisas, é importante adotar propriedades para os materiais que compõem o modelo de acordo com os materiais

correspondentes usados em campo. No modelo referente à pista de ensaios de Ohio, foram adotadas propriedades de acordo com os estudos descritos por Sargand e Beegle (1998). A Tabela 5 mostra essas propriedades.

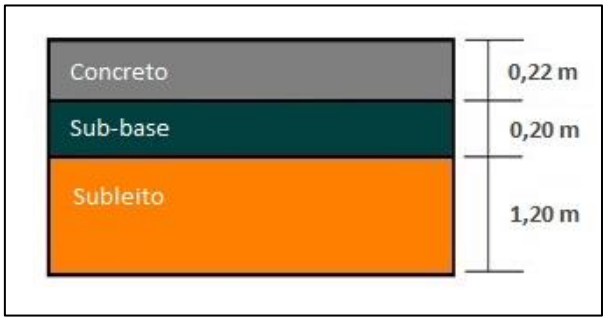

Figura 29: Espessura das camadas que compõem o modelo da pista de Ohio simulado na presente pesquisa.

Tabela 5: Propriedades dos materiais da pista de ensaios de Ohio segundo Sargand e Beegle (1998) usadas na modelagem da presente pesquisa.

Material	**Módulo de Elasticidade (MPa)**	**Coeficiente de Poisson**
Concreto	34.450	0,18
Sub-base	176	0,40
Subleito	63	0,45
Aço	203.850	0,30

Para o carregamento proveniente do tráfego, foi representado o eixo tandem duplo traseiro de um caminhão basculante carregado, aplicando 160 kN, com área de contato de dimensões conforme mostra a Figura 30, também de acordo com os estudos realizados na pista.

Foram analisadas duas condições de aderência entre a placa e a sub-base, a condição aderida e a condição não aderida, para ver qual se aproximaria mais dos resultados obtidos nas medições de campo, visto que nos estudos sobre a construção da pista não foi relatado o uso de membrana plástica para impedir a aderência entre as camadas e este é um fator muito importante para o desempenho do pavimento.

Na instrumentação realizada na pista de ensaios de Ohio, foram determinadas as deformações em X, usando *strain gauges*, colocados a 2,50 cm da parte superior e da

parte inferior da placa de concreto e a tensão em Z usando uma célula de pressão localizada no fundo da placa, ambos ao longo do trajeto do caminhão. A Figura 31 mostra a posição na qual os *strain gauges* e a célula de pressão foram instalados na placa. Com o modelo desenvolvido no ABAQUS foram determinadas as tensões e as deformações nesses mesmos pontos.

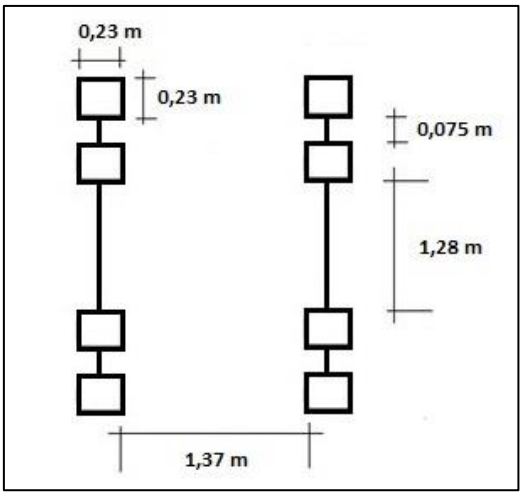

Figura 30: Dimensões do carregamento usado na pista de ensaios de Ohio na presente pesquisa.

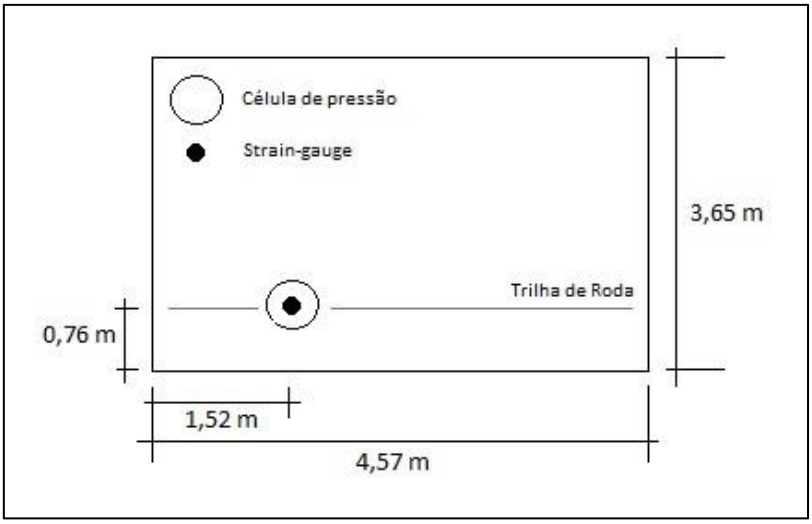

Figura 31: Posições dos strain gauges e da célula de pressão instalados na pista de ensaios de Ohio.

Na Tabela 6, é possível verificar os resultados medidos em campo, os resultados obtidos no modelo desenvolvido para placa e sub-base, aderidas e não aderidas, e a relação entre os resultados de campo e os do modelo. A Figura 32 mostra o resultado ilustrativo gerado pelo programa, para a deformação em X no topo da placa, no modelo com placa e sub-base consideradas não aderidas. A cor azul representa compressão e a vermelha tração.

Tabela 6: Resultados de tensões e deformações obtidas em campo na pista de ensaios de Ohio, com o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre os resultados do campo e os do modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Tensões e Deformação	**Resultados de Campo (Sargand e Beegle, 1998)**	**Resultados do Modelo**		**Relação Campo/Modelo**	
		Camada não aderida	**Camada aderida**	**Camada não aderida**	**Camada aderida**
ε_x topo (m/m)	$-21{,}0 \times 10^{-6}$	$-20{,}73 \times 10^{-6}$	$-19{,}93 \times 10^{-6}$	1,01	1,05
ε_x fundo (m/m)	$24{,}5 \times 10^{-6}$	$19{,}41 \times 10^{-6}$	$17{,}18 \times 10^{-6}$	1,26	1,43
σ_z (MPa)	-0,014	-0,017	-0,018	0,82	0,78

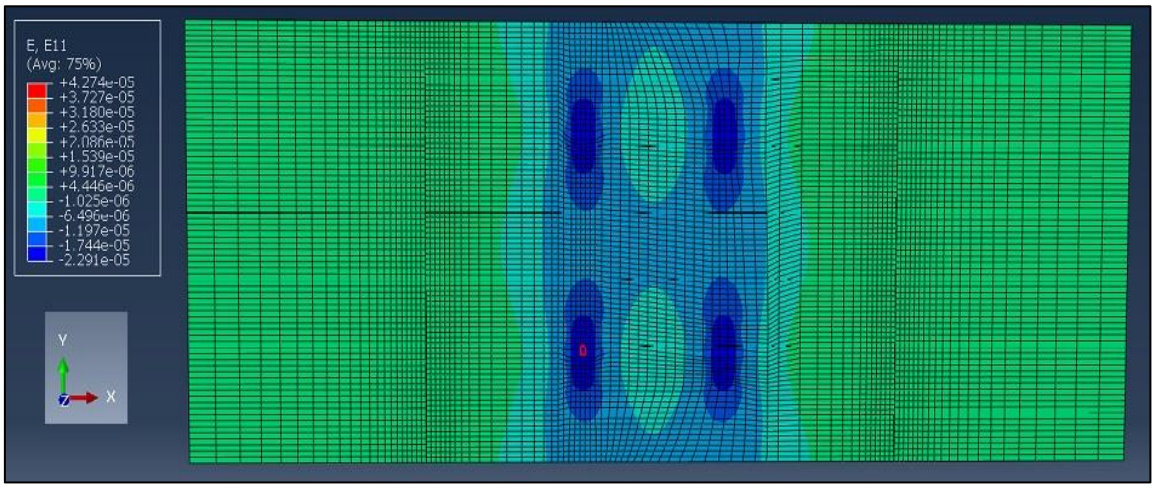

Figura 32: Ilustração dos resultados gráficos de deformação em X no topo da placa, com sub-base não aderida, da pista de Ohio simulada na presente pesquisa.

Analisando os resultados, é possível verificar que o modelo desenvolvido na presente pesquisa representou bem as condições de campo, pois as respostas obtidas ficaram próximas das medidas, um pouco inferiores no caso das deformações e um pouco superiores no caso das tensões, tanto para a condição de placa e sub-base aderidas, quanto para a condição não aderidas, mas mais próximas na condição não aderida.

Na análise com placa e sub-base aderidas, os resultados simulados foram inferiores aos da análise na condição não aderida, pois quando as camadas se encontram coladas, há uma redução nas tensões e nas deformações devido ao deslocamento da

linha neutra na placa para uma posição mais próxima ao fundo.

No modelo foram determinadas as deformações no fundo da placa e em campo as deformações foram medidas à 2,5 cm do fundo, portanto é natural que haja uma diferença nos valores. Existem também, mais fatores que interferem na variação dos resultados, como as premissas adotadas no desenvolvimento do modelo, ou seja, a simulação de apenas uma placa entre duas meias-placas e o espaçamento de 1,00 cm nas juntas. Além disso, há a heterogeneidade dos materiais, que não foi considerada, e os diversos aspectos que afetam a precisão de leitura dos instrumentos instalados em campo.

4.2 MODELO DO PAVIMENTO EXPERIMENTAL DA USP

O modelo simulado referente à seção E do pavimento experimental da USP foi composto de placa de concreto com 5,50 m de comprimento e 3,50 m de largura e duas meias-placas com 2,75 m de comprimento e 3,50 m de largura, assentes sobre sub-base de brita graduada e subleito de argila, com 11,0 m de comprimento e 3,50 m de largura. Não foram adicionadas barras de transferência nas juntas. A Figura 33 mostra a espessura das camadas simuladas.

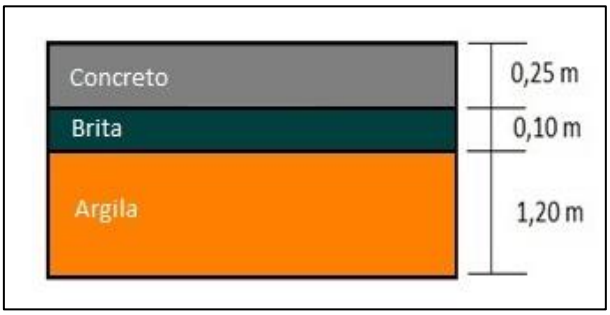

Figura 33: Espessura das camadas que compõem o modelo do pavimento da USP simulado na presente pesquisa.

As propriedades adotadas para o concreto seguiram o descrito por Balbo *et al.* (2004). Entretanto, nesta referência foram relatadas apenas informações de que a camada de sub-base era composta por brita graduada simples e o subleito por solo argiloso de aterro com módulo de reação do subleito (k) na ordem de 45 MPa/m. Como neste estudo os modelos são compostos por camadas elásticas, foi necessário estimar o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson para a camada de sub-base e para o subleito. Apesar de o mais correto ser a realização de ensaios para obter os valores reais,

foram adotados valores recomendados pela IP-DE-P00/001 do DER de São Paulo. A Tabela 7 mostra as propriedades de cada camada de material que compõe o modelo simulado na presente dissertação.

Tabela 7: Propriedades dos materiais do pavimento experimental da USP usados na modelagem da presente pesquisa.

Material	**Módulo de Elasticidade (MPa)**	**Coeficiente de Poisson**
Concreto	26.000	0,20
Brita Graduada	300	0,35
Argila	150	0,45

Para representar o carregamento devido ao contato pneu-pavimento, foi reproduzido o eixo simples traseiro de um caminhão caçamba, com rodas duplas, pesando 83,6 kN e com pressão de contato de 638 kPa. Como não foram fornecidas na referência as medidas de contato pneu-pavimento e nem do eixo do veículo, foram adotadas as dimensões conforme a Figura 34, que se enquadram nas especificações do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006). Este carregamento ocorreu por volta das 6 horas da manhã, horário em que o diferencial térmico medido era nulo.

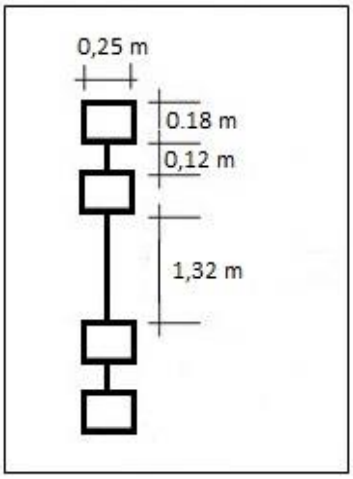

Figura 34: Dimensões do carregamento usado no pavimento experimental da USP na presente pesquisa.

Na modelagem foram analisadas duas condições de aderência entre a placa e a sub-base: a condição aderida e a condição não aderida. Entretanto, em campo foi instalada uma lona plástica entre a placa e a sub-base granular, portanto a condição não

aderida que é a condição real do pavimento neste caso.

Nesta análise, foram determinadas as deformações em quatro pontos, denominados ε_{1x}, ε_{1y}, ε_{1bx} e ε_{1by}, localizados na placa E_1, conforme mostrado na Figura 11, para comparar os resultados obtidos no modelo desenvolvido no ABAQUS com os medidos em campo, de acordo com Balbo *et al.* (2004). Na presente modelagem, foram realizadas simulações colocando a carga estática a 0,68 m da borda da placa, na direção de cada um dos pontos de medição, simulando o carregamento de um caminhão, conforme ocorreu em campo.

A Figura 35 mostra as posições nas quais os *strain gauges* foram instalados em campo para medir deformações nas direções X e Y na placa de concreto, a 2 cm do fundo. Na Tabela 8, é possível verificar os resultados medidos em campo, os obtidos no modelo da presente dissertação para placa e sub-base, aderidas e não aderidas, e a relação entre os resultados de campo e os do modelo. A Figura 36 mostra o resultado ilustrativo gerado pelo ABAQUS, para as deformações em Y no ponto ε_{1by}, para placa e sub-base consideradas não aderidas.

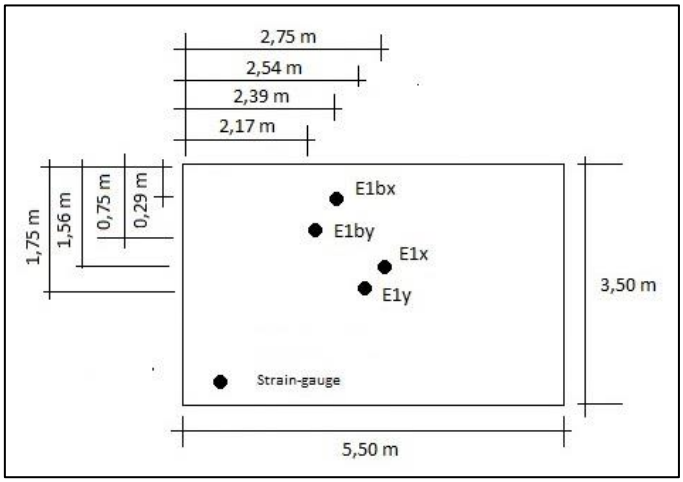

Figura 35: Posições dos *strain gauges* instalados em campo para medir deformações nas direções X e Y na placa de concreto no pavimento experimental da USP.

Com os resultados, foi verificado que, nas duas condições de aderência entre placa e sub-base, a deformação obtida no modelo proposto foi maior que a de campo em ε_{1y}, ε_{1bx} e ε_{1by}. Apenas em ε_{1x} o resultado do modelo foi menor, provavelmente devido ao comprimento do eixo, que pode ter sido menor que o usado em campo, o que fez com que o carregamento da roda ficasse mais longe do ponto onde o sensor foi instalado.

Apesar destas diferenças, considera-se que os resultados modelados apresentaram ordem de grandeza compatível com as medidas, visto que para a realização desta modelagem não havia todas as informações necessárias.

Tabela 8: Resultados de deformações obtidas em campo no pavimento experimental da USP, no modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre os resultados do campo e os do modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Deformação (m/m)	**Resultados de Campo (Balbo *et al*, 2004)**	**Resultados do Modelo**		**Relação Campo/Modelo**	
		Camada não aderida	**Camada aderida**	**Camada não aderida**	**Camada aderida**
ε_{1x}	$13{,}02 \times 10^{-6}$	$10{,}85 \times 10^{-6}$	$9{,}63 \times 10^{-6}$	1,20	1,35
ε_{1y}	$-3{,}32 \times 10^{-6}$	$-6{,}29 \times 10^{-6}$	$-6{,}98 \times 10^{-6}$	0,53	0,48
ε_{1bx}	$6{,}26 \times 10^{-6}$	$13{,}29 \times 10^{-6}$	$8{,}65 \times 10^{-6}$	0,47	0,72
ε_{1by}	$4{,}65 \times 10^{-6}$	$10{,}53 \times 10^{-6}$	$9{,}05 \times 10^{-6}$	0,44	0,51

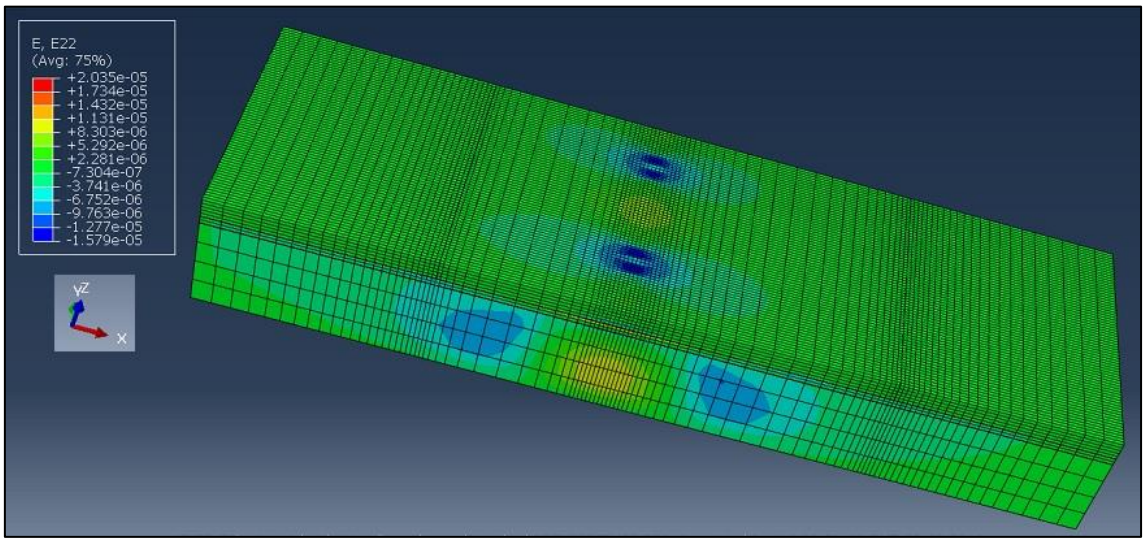

Figura 36: Ilustração dos resultados gráficos de deformações em Y no ponto ε_{1by}, para placa e sub-base consideradas não aderidas, no modelo da presente pesquisa.

Com esta análise, é possível destacar a importância de ter dados de entrada precisos, para adquirir respostas mais adequadas na modelagem. Muitas vezes não se tem acesso a todos esses dados e, nesses casos, é preciso levar em consideração uma variação maior entre o resultado do modelo e o de campo.

Assim como aconteceu na modelagem anterior, os resultados para ambas as condições de aderência entre placa e sub-base ficaram próximos. Os resultados obtidos no modelo para o caso de camadas não aderidas, que representa a condição encontrada em campo, ficaram mais próximos dos resultados medidos para ε_{1x} e ε_{1y}.

4.3 MODELO DA PISTA EXPERIMENTAL DO IPR/DNER

O modelo simulado referente à pista experimental do IPR/DNER foi composto por placa de concreto com 3,60 m de comprimento e 3,00 m de largura e duas meias-placas com 1,80 m de comprimento e 3,00 m de largura, assentes sobre camada de concreto asfáltico, sub-base de brita graduada e subleito de argila, com 7,20 m de comprimento e 3,00 m de largura. Não há barras de transferência nas juntas. A Figura 37 mostra a espessura das camadas do modelo simulado.

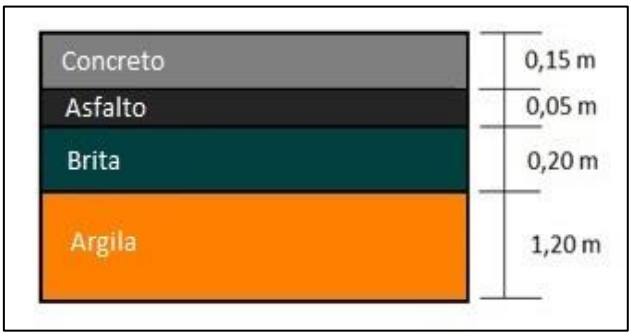

Figura 37: Espessura das camadas que compõem o modelo da pista do IPR/DNER simulado na presente pesquisa.

Para as propriedades dos materiais, foram adotados valores para o módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, conforme ensaios realizados por Silva (2001). No caso da condutividade, do peso específico e da expansão, que são propriedades necessárias para modelar o empenamento térmico da placa de concreto, foram adotados os mesmos valores usados pela autora citada para o cálculo da solução analítica feito por ela. A Tabela 9 mostra essas propriedades.

Nesta análise, simulou-se o carregamento proveniente do tráfego, por meio de um conjunto de rodas duplas com carga de 57,5 kN e pressão de contato de 435,6 kPa, aplicado no centro da placa de concreto, conforme foi feito pelo simulador de tráfego do IPR/DNER. Silva (2001) verificou a área real de contato pneu-pavimento imprimindo os pneus em uma cartolina e chegou às dimensões mostradas na Figura 38, que foram as adotadas.

Tabela 9: Propriedades dos materiais da pista experimental do IPR/DNER segundo Silva (2001), usadas na modelagem da presente pesquisa.

Material	**Módulo de Elasticidade (MPa)**	**Coeficiente de Poisson**	**Peso Específico kg/m³**	**Condutividade W/mºC**	**Expansão 10^{-6} / ºC**
Concreto	33.700	0,20	2.400	2,75	8
Concreto Asfáltico	2730	0,25	2.100	0,00	0
Brita Graduada	90	0,35	1.400	0,00	0
Argila	193	0,45	2.100	0,00	0

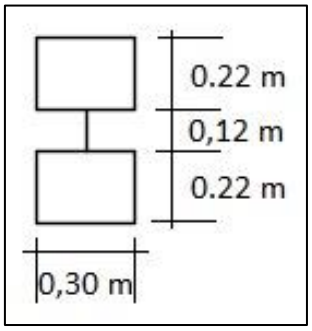

Figura 38: Dimensões do carregamento usado na pista experimental do IPR/DNER na presente pesquisa.

Na modelagem foram verificadas duas condições de aderência entre a placa e a sua camada de suporte: a condição aderida e a condição não aderida. Em campo não foi utilizada membrana plásticas entre a placa de concreto e a camada de concreto asfáltico, mas Silva (2001) extraiu seis corpos de prova da pista e verificou que três deles apresentavam concreto aderido ao asfalto e três não apresentavam aderência, mostrando que parte da pista se encontrava aderida e parte não estava aderida.

Para verificar a ação das cargas provenientes do tráfego, foram determinadas as tensões e deformações no centro da placa de concreto, no fundo (no contato com a camada asfáltica), para comparar os resultados obtidos com os medidos em campo nos estudos sobre *whitetopping* realizados por Silva (2001).

Usando um simulador de tráfego do tipo carrossel, a autora obteve em campo, com o uso de *strain gauges* e célula de carga, instalados no centro da placa, os resultados de ε_x e ε_y a 2,00 cm do fundo e σ_z no fundo da placa e calculou com equações

os valores de σ_x e σ_y. A Tabela 10 mostra estes resultados e os obtidos na modelagem com o ABAQUS para placa e sub-base aderidas e não aderidas, além da razão entre os resultados do campo e do modelo.

Tabela 10: Resultados de tensões e deformações obtidos em campo na pista do IPR/DNER, para carga proveniente do tráfego, no modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre os resultados do campo e os do modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Tensões e Deformação	**Resultados de Campo (Silva, 2001)**	**Resultados do Modelo ABAQUS**		**Relação Campo/Modelo**	
		Camada não aderida	**Camada aderida**	**Camada não aderida**	**Camada aderida**
ε_x (m/m)	$37{,}80 \times 10^{-6}$	$40{,}73 \times 10^{-6}$	$33{,}68 \times 10^{-6}$	0,93	1,12
ε_y (m/m)	$18{,}04 \times 10^{-6}$	$25{,}43 \times 10^{-6}$	$19{,}45 \times 10^{-6}$	0,71	0,93
ε_z (m/m)	-	$-17{,}52 \times 10^{-6}$	$-14{,}30 \times 10^{-6}$	-	-
σ_x (MPa)	1,45	1,60	1,31	0,91	1,11
σ_y (MPa)	0,90	1,17	0,91	0,77	0,99
σ_z (MPa)	-0,041	-0,037	-0,038	1,11	1,08

Ao comparar os resultados obtidos no modelo proposto com os de campo, é possível verificar que eles são próximos de forma geral. Na condição placa e sub-base não aderidas, os valores ficaram um pouco maiores que os de campo, exceto para σ_z, que ficou menor. Já na condição aderida, os valores de ε_x, σ_x e σ_z foram um pouco inferiores, enquanto ε_y e σ_y foram um pouco superiores.

Extraindo os corpos de prova da pista, Silva (2001) verificou que parte se encontrava aderida e parte não estava aderida, portanto, não há como dizer qual situação melhor representa este pavimento, visto que, apesar de os resultados da condição aderida terem ficado um pouco mais próximos dos resultados de campo, houve pouca diferença e na realidade as duas situações de fato ocorreram no campo.

Outro fator que pode ter influenciado na diferença entre os resultados do modelo e os de campo é o fato de que no modelo foi aplicada uma carga estática, diferente do carregamento dos veículos em movimento, que ocorre em campo.

Quando o carregamento do tráfego é aplicado em uma placa com encurvamento térmico, as tensões induzidas podem ser substancialmente maiores do que aquelas obtidas quando a placa está em contato pleno com a camada inferior. Assim sendo, foi introduzida no modelo a análise das tensões e das deformações causadas pelo empenamento térmico da placa de concreto devido às variações de temperatura que ocorrem ao longo do dia. Considerou-se linear a taxa de variação de temperatura entre o topo e o fundo da placa.

Para a verificação da eficiência do modelo neste tipo de análise, foram modeladas duas situações, uma diferença de temperatura positiva e outra negativa, sendo Δt = 12,8ºC e Δt = -3,9ºC, conforme resultados obtidos em medições de campo realizadas na pista experimental do IPR/DNER, para placa e sub-base consideradas não aderidas. Segundo Silva (2001), nos meses de verão, quando são esperadas as maiores diferenças de temperatura entre o topo e o fundo da placa durante o dia, a diferença máxima registrada com o uso de termopares instalados na placa de concreto foi de 12,8°C e, neste mesmo dia, a diferença mínima registrada foi de −3,9°C.

Os resultados obtidos na modelagem foram comparados com os calculados pela autora citada usando as equações 2.24 e 2.25 de Bradbury, conforme descrito na sequência, para determinar as tensões na borda e no centro da placa, causadas pelo empenamento térmico. Sendo:

- *L* o comprimento da placa e *l* o raio de rigidez relativa, então *Lx/l* =7,54 e *Ly/l*=6,28, usando o gráfico da Figura 5,
- Cx e Cy os fatores de correção, nos quais Cx é a tensão devido à flexão na direção x e Cy a tensão devido à flexão na direção y, então Cx = 1,05 e Cy = 0,96;
- $\alpha t = 8x10^{-6}$/ºC, o coeficiente de expansão térmica;
- E = 33.700 MPa o módulo de elasticidade;
- υ = 0,20 o coeficiente de Poisson.

Para Δt = 12,8ºC:

$$\sigma_b = \frac{CE\alpha_t\Delta_t}{2} = 1{,}81MPa$$

$$\sigma_i = \frac{E\alpha_t \Delta t}{2}\left(\frac{C_x + \upsilon C_y}{1-\upsilon^2}\right) = 2.23MPa$$

Para Δt = -3,9ºC:

$$\sigma_b = \frac{CE\alpha_t \Delta_t}{2} = -0{,}55MPa$$

$$\sigma_i = \frac{E\alpha_t \Delta t}{2}\left(\frac{C_x + \upsilon C_y}{1-\upsilon^2}\right) = -0{,}68MPa$$

A Tabela 11 mostra os resultados calculados com as equações analíticas de Bradbury, os resultados obtidos com o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre solução analítica e modelo, para Δt = 12,8ºC e Δt = -3,9ºC.

Tabela 11: Resultados de tensões na pista do IPR/DNER para as cargas térmicas, com placa e sub-base não aderidas, obtidos com as equações de Bradbury, com o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre eles.

Tensões (MPa)	**Δt=12,8 ºC**			**Δt= -3,9ºC**		
	Bradbury	**Modelo ABAQUS**	**Relação Bradbury/ Modelo**	**Bradbury**	**Modelo ABAQUS**	**Relação Bradbury/ Modelo**
σ_b	1,81	1,37	1,32	-0,55	-0,51	1,08
σ_i	2,23	1,83	1,22	-0,68	-0,60	1,13

A partir da análise da Tabela 11, é possível observar que os resultados do modelo desenvolvido na presente pesquisa ficaram um pouco inferiores aos calculados pela solução analítica. Essa diferença pode ser justificada pelo fato de que a solução de Bradbury não considera que as placas estão lado a lado umas das outras, o que faz com que o empenamento seja mais restrito na modelagem do que a placa totalmente livre como é considerada por Bradbury (1938).

Para verificar a eficiência do modelo na análise das tensões provenientes do tráfego e do empenamento térmico agindo simultaneamente, como também não haviam dados de medições de campo, foi realizada a comparação dos resultados obtidos com

resultados encontrados na superposição das análises pelas equações analíticas de Westergaard e de Bradbury feita por Silva (2001).

As tensões devido ao carregamento na borda e no interior da placa usando a análise de Westergaard, conforme as equações 2.10 e 2,07, respectivamente, estão descritas a seguir. Considerando:

- P = 57,50 kN,
- h = 0,15 m,
- K = 190 MPa/m2,
- a = 0,237 m,
- l = 0,47745 m e
- b = 0,237 m.

$$\sigma_b = \frac{3(1+\upsilon)P}{\pi(3+\upsilon)h^2}\left[\ln\left(\frac{Eh^3}{100ka^4}\right)+1{,}84-\frac{4\upsilon}{3}+\frac{1-\upsilon}{2}+\frac{1{,}18(1+2\upsilon)a}{l}\right]=3{,}14MPa$$

$$\sigma_i = \frac{3(1+\upsilon)P}{2\pi h^2}\left(\ln\frac{l}{b}+0{,}6159\right)=1{,}95MPa$$

As Tabelas 12 e 13 mostram os resultados da solução analítica de Westergaard e de Bradbury, a superposição deles, os resultados do modelo desenvolvido no ABAQUS e a relação entre a superposição e o modelo desenvolvido na presente dissertação, para Δt = 12,8ºC e Δt = -3,9ºC, respectivamente.

Tabela 12: Resultados de tensões para placa e sub-base não aderidas, usando a solução de Westergaard e de Bradbury, a superposição delas, o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre a superposição e os resultados do modelo, para Δt=12,8ºC.

Δt =12,8ºC					
Tensões (MPa)	**Westergaard**	**Bradbury**	**Superposição**	**Modelo ABAQUS**	**Relação Superposição/ Modelo**
σ borda	3,14	1,81	4,95	3,69	1,34
σ interior	1,95	2,23	4,18	3,37	1,24

Tabela 13: Resultados de tensões para placa e sub-base não aderidas, usando a solução de Westergaard e de Bradbury, a superposição delas, o modelo desenvolvido na presente pesquisa e a relação entre a superposição e o os resultados do modelo, para Δt=-3,9ºC.

Δt = -3,9ºC					
Tensões (MPa)	**Westergaard**	**Bradbury**	**Superposição**	**Modelo ABAQUS**	**Relação Superposição/ Modelo**
σ borda	3,14	-0,55	2,59	1,78	1,45
σ interior	1,95	-0,68	1,27	1,43	0,88

Assim como aconteceu na análise apenas com o empenamento térmico, ao considerar o carregamento do tráfego agindo simultaneamente ao empenamento térmico, foram obtidos com o modelo proposto resultados próximos aos da superposição das soluções analíticas de Westergaard e Bradbury, entretanto, um pouco inferiores (exceto para a tensão no interior da placa com Δt = -3,9ºC). Como as soluções analíticas não consideram que a placa está lado a lado com outras placas e que há transferência de carga nas juntas e o modelo desenvolvido considera esses fatores, era esperado que os resultados do modelo numérico não fossem exatamente iguais aos dos modelos analíticos, mas as respostas obtidas foram adequadas, mostrando a eficiência do modelo desenvolvido na presente pesquisa.

4.4 COMPARAÇÃO COM MODELAGEM REALIZADA NO ILSL2

Silva (2001) e Balbo *et al.* (2004), em seus estudos sobre a pista experimental do IPR/DNER e o pavimento experimental da USP, respectivamente, além de realizarem a instrumentação das placas de concreto, também fizeram análises numéricas usando o programa de elementos finitos ILSL2 para verificar as tensões e as deformações provenientes do tráfego. A Tabela 14 mostra os resultados obtidos em campo no pavimento da USP, na modelagem com o ILSL2 e na modelagem com o ABAQUS, para placa de concreto e sub-base consideradas aderidas e não aderidas. A Tabela 15 apresenta a mesma comparação com os dados da pista experimental do IPR/DNER.

Os resultados obtidos na modelagem com o ABAQUS para carregamento

proveniente do tráfego ficaram mais próximos dos resultados de campo do que os obtidos com o ILSL2, para ambos os casos de aderência, na análise da pista experimental do IPR/DNER. No caso da pista da USP, tantos os resultados do modelo desenvolvido na presente pesquisa, quanto do ILSL2 ficaram próximos dos de campo, mas não tanto quanto na análise da pista do IPR/DNER, para a qual havia mais dados de entrada disponíveis.

Tabela 14: Resultados do pavimento da USP obtidos em campo, com a modelagem no ILSL2 e no ABAQUS.

Deformação (m/m)	**Resultados de Campo (Balbo *et al.*, 2004)**	**Modelagem com ILSL2 (Balbo *et al.*, 2004)**	**Modelagem com ABAQUS (este estudo)**	
			Camada não aderida	**Camada aderida**
ε_{1x}	$13{,}02 \times 10^{-6}$	$27{,}48 \times 10^{-6}$	$10{,}85 \times 10^{-6}$	$9{,}63 \times 10^{-6}$
ε_{1y}	$-3{,}32 \times 10^{-6}$	$-9{,}74 \times 10^{-6}$	$-6{,}29 \times 10^{-6}$	$-6{,}98 \times 10^{-6}$
ε_{1bx}	$6{,}26 \times 10^{-6}$	$9{,}96 \times 10^{-6}$	$13{,}29 \times 10^{-6}$	$8{,}65 \times 10^{-6}$
ε_{1by}	$4{,}65 \times 10^{-6}$	$9{,}08 \times 10^{-6}$	$10{,}53 \times 10^{-6}$	$9{,}05 \times 10^{-6}$

Tabela 15: Resultados da pista IPR/DNER obtidos em campo, com a modelagem no ILSL2 e no ABAQUS.

	Resultados de Campo (Silva, 2001)	**Modelagem com ILSL2 (Silva, 2001)**		**Modelagem com ABAQUS (este estudo)**	
		Camada não aderida	**Camada aderida**	**Camada não aderida**	**Camada aderida**
ε_x (m/m)	$37{,}80 \times 10^{-6}$	$55{,}5 \times 10^{-6}$	$48{,}0 \times 10^{-6}$	$40{,}73 \times 10^{-6}$	$33{,}68 \times 10^{-6}$
ε_y (m/m)	$18{,}04 \times 10^{-6}$	$38{,}8 \times 10^{-6}$	$37{,}8 \times 10^{-6}$	$25{,}43 \times 10^{-6}$	$19{,}45 \times 10^{-6}$
σ_x (MPa)	1,45	2,22	1,92	1,60	1,31
σ_y (MPa)	0,90	1,75	1,52	1,17	0,91

No estudo da pista experimental do IPR/DNER, Silva (2001) também analisou com o ILSL2 o carregamento proveniente do tráfego e o empenamento térmico ocorrendo simultaneamente, para Δt = 12,8ºC e Δt = -3,9ºC. A Tabela 16 mostra os resultados obtidos com a superposição das soluções analíticas de Westergaard e de Bradbury, com a análise usando o ILSL2 e na análise com o ABAQUS.

Tabela 16: Resultados de carregamento do tráfego e de empenamento térmico agindo simultaneamente, obtidos por superposição das equações de Westergaard e de Bradbury, com o ILSL2 e com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Tensões (MPa)	**Δt = 12,8 ºC**			**Δt = -3,9ºC**		
	Superposição	**ILSL2**	**Modelo ABAQUS**	**Superposição**	**ILSL2**	**Modelo ABAQUS**
σ borda	4,95	5,20	3,69	2,59	1,37	1,78
σ interior	4,18	4,28	3,37	1,27	2,80	1,43

Ao comparar os resultados, é possível verificar que eles ficaram na mesma ordem de grandeza, sendo que os do modelo desenvolvido na presente pesquisa ficaram um pouco inferiores no caso de Δt positivo, provavelmente por considerar placas lado a lado e a transferência de carga nas juntas. Entretanto, é possível ver que as respostas estão coerentes e que o modelo consegue prever as tensões e as deformações que ocorrem nos pavimentos de concreto devido às ações do tráfego e ao empenamento térmico da placa de concreto, numa ordem de grandeza coerente com resultados medidos ou calculados por outros métodos.

5 ANÁLISE PARAMÉTRICA

Com o modelo de elementos finitos tridimensional desenvolvido na presente pesquisa e calibrado por comparação com outros autores, foi realizada uma análise paramétrica para identificar e quantificar a influência de alguns dos diversos fatores que afetam as tensões e as deformações que ocorrem na estrutura dos pavimentos de concreto. Foram estudadas a espessura e o módulo de elasticidade da placa de concreto e da sub-base, o comprimento da placa, o atrito entre a placa e a sub-base e os gradientes de temperatura.

Para realizar a análise paramétrica, foi modelado um pavimento composto por placa de concreto com 5,00 m de comprimento e 3,60 m de largura e duas meias-placas, assentes sobre sub-base granular e subleito argiloso, com as espessuras iniciais conforme indica a Figura 39 e as propriedades iniciais dos materiais conforme a Tabela 17.

Figura 39: Espessura das camadas que compõem o pavimento usado na análise paramétrica da presente pesquisa.

Tabela 17: Propriedades iniciais dos materiais do pavimento usado na análise paramétrica da presente pesquisa.

Material	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coeficiente de Poisson
Concreto	30.000	0,15
Brita Graduada	200	0,25
Argila	75	0,40

Tendo como base este pavimento inicial, foram realizadas simulações, variando

em cada uma delas, um dos parâmetros descritos pela Tabela 18, para identificar quais destes fatores mais influenciam nas tensões e nas deformações que ocorrem no fundo da placa de concreto, no centro da borda longitudinal, causadas pelo carregamento do tráfego.

Nas análises da espessura da sub-base cimentada foi adotado módulo de elasticidade igual a 5 GPa e coeficiente de Poisson igual a 0,20.

Tabela 18: Fatores que foram variados na análise paramétrica da presente pesquisa.

Parâmetros	**Variações**		
Espessura da Placa	0,15 m	0,20 m	0,25 m
Espessura da Sub-base Granular	0,15 m	0,20 m	0,25 m
Espessura da Sub-base Cimentada - Aderida	0,15 m	0,20 m	0,25 m
Espessura da Sub-base Cimentada - Não Aderida	0,15 m	0,20 m	0,25 m
Módulo de Elasticidade do Concreto	20 GPa	25 GPa	30 GPa
Módulo de Elasticidade da Sub-base Granular	150 MPa	200 MPa	300 MPa
Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada - Aderida	5 GPa	10 GPa	15 GPa
Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada - Não Aderida	5 GPa	10 GPa	15 GPa
Comprimento da Placa	4 m	5 m	6 m
Atrito entre a Placa e a Sub-Base	0,1	0,5	1,0
Gradiente de Temperatura Positivo	0°C/mm	0,050°C/mm	0,075°C/mm
Gradiente de Temperatura Negativo	0°C/mm	0,050°C/mm	0,075°C/mm

Assim como no modelo calibrado na presente pesquisa, adotou-se interfaces de contato não aderidas com comportamento normal e tangencial com atrito de 0,5 entre a placa e a sua camada de apoio e entre a placa e a meia-placa, nas juntas. A interface de

contato entre a sub-base e o subleito foi considerada aderida. Não foram adotadas barras de transferência nas juntas.

Para determinar em qual local o carregamento seria aplicado foram testados carregamentos no centro, no canto e na borda longitudinal da placa. Assim como nos estudos realizados pela PCA (1984) verificou-se que em pavimentos sem barras de transferência nas juntas, as tensões e as deformações que ocorriam na borda longitunal eram maiores. Portanto, este foi o local determinado para aplicar o carregamento proveniente do tráfego.

Decidiu-se por adotar para esta simulação a análise de um eixo simples com rodas duplas, aplicando 80 kN, como o eixo padrão rodoviário adotado para pavimentos asfálticos, com área de carregamento conforme mostra a Figura 40.

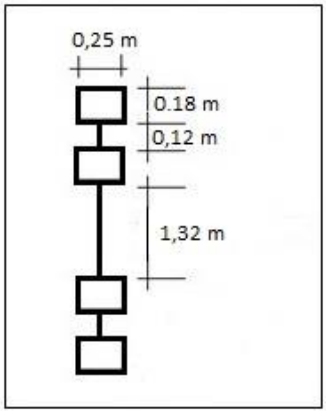

Figura 40: Dimensões do carregamento usado na análise paramétrica da presente pesquisa.

As Figuras 41, 42, 43 e 44 mostram, respectivamente, os resultados obtidos com a modelagem numérica, variando a espessura da placa, da sub-base granular ou da sub-base cimentada, considerada aderida e não aderida à placa de concreto. Com o aumento da espessura da placa, as tensões e as deformações nos eixos X, Y e Z diminuíram de forma significativa. Em X, onde ocorrem as maiores tensões e deformações, portanto as mais determinantes para o desempenho do pavimento, houve aumento de 42% nas tensões ao mudar a espessura da placa de 20 cm para 15 cm (redução de 25% da espessura) e uma redução de 35% passando de 20 cm para 25 cm (aumento de 25% na espessura).

Gondim (2008) verificou em seus estudos paramétricos usando o programa computacional KENSLABS que ao aumentar a espessura da placa de 20 cm para 30 cm

(50%) houve redução de cerca de 40% nas tensões em X, no fundo da placa de concreto. Segundo Rodolfo e Balbo (2000) as tensões variam em função da espessura da placa conforme uma curva logarítmica, diminuindo conforme a espessura aumenta.

Assim, é possível concluir que a espessura da placa é um fator determinante para o comportamento das tensões e das deformações que ocorrem na própria estrutura. Aumentando a sua espessura, as tensões e as deformações diminuem de forma significativa, reduzindo os danos por fadiga e tornando a vida útil do pavimento maior.

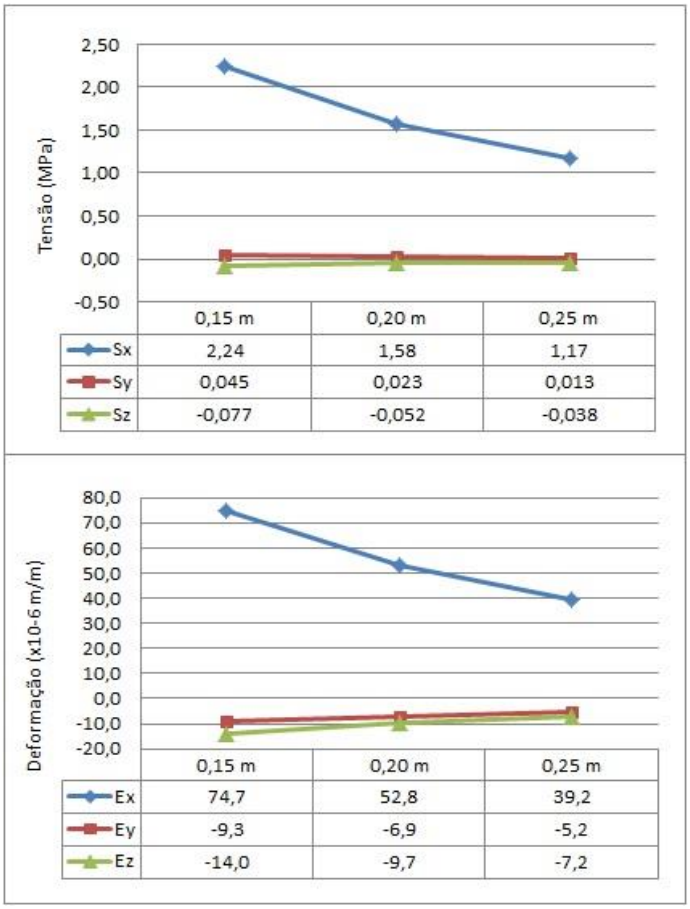

Figura 41: Resultados da análise de variação da espessura da placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Segundo Pereira *et al.* (2018) a espessura da placa de concreto é a principal incógnita dos métodos de dimensionamento. O esperado é que os pavimentos com placas mais espessas apresentem melhor desempenho do que aqueles com placas delgadas (o que de fato ocorreu nas análises da presente pesquisa). Entretanto, os autores concluíram que assim como a espessura, a uniformidade da construção também é um parâmetro relevante para o bom desempenho do pavimento, pois em seus estudos

constataram que em placas de espessura uniforme ocorria redução de defeitos na superfície da placa.

A espessura da placa de concreto e a resistência são parâmetros biunívocos e indissociáveis para o dimensionamento, tendo em vista que a abordagem de engenharia deve levar em conta a questão econômica. Um dimensionamento eficiente determinar a espessura da placa e a resistência do concreto de forma adequada, para que não sejam maiores que o necessário, fazendo com que a obra tenha custo de execução elevado e nem menores que o necessário, para que o pavimento não se deteriore precocemente.

Ao aumentar a espessura da sub-base granular, praticamente não houve variação nas tensões e nas deformações na placa de concreto. Entretanto, ao analisar a sub-base cimentada não aderida à placa, verificou-se uma redução de cerca de 20% na pior situação, que seria as tensões e as deformações em X na sub-base com 15 cm, chegando a 45% para a sub-base com 25 cm, comparando com os resultados obtidos para a sub-base granular. Com o aumento da espessura da sub-base cimentada não aderida de 15 cm para 20 cm, houve redução de cerca de 10% nas tensões e nas deformações em X.

Na análise da sub-base cimentada considerada aderida à placa de concreto, as tensões e as deformações em X diminuíram de forma significativa, para cerca de um sexto dos valores obtidos para a sub-base cimentada não aderida. Aumentando a espessura, as tensões e as deformações em X também diminuíram.

Segundo Pereira (2003) um dimensionamento considerando a placa de concreto aderida à sub-base cimentada, pode reduzir potencialmente a espessura do pavimento de concreto, por proporcionar comportamento monolítico. Em seus estudos, exemplos numéricos apontaram para a possibilidade de redução do consumo de concreto, com uma menor taxa de acréscimo de volume de CCR, mantendo-se, inalterados, os níveis de tensões críticas de tração na flexão. A aderência também é capaz de reduzir, segundo análises numéricas, as tensões induzidas nas placas pelo empenamento térmico.

Em síntese, com as análises da espessura da sub-base, verificou-se que quando foi adotada a sub-base cimentada não aderida à placa, as tensões e as deformações em X, diminuíram e esta redução foi proporcional ao aumento da espessura. No caso da sub-base cimentada aderida à placa, ocorreu uma redução expressiva nas tensões e nas deformações em X. Já a sub-base granular, não apresentou influência.

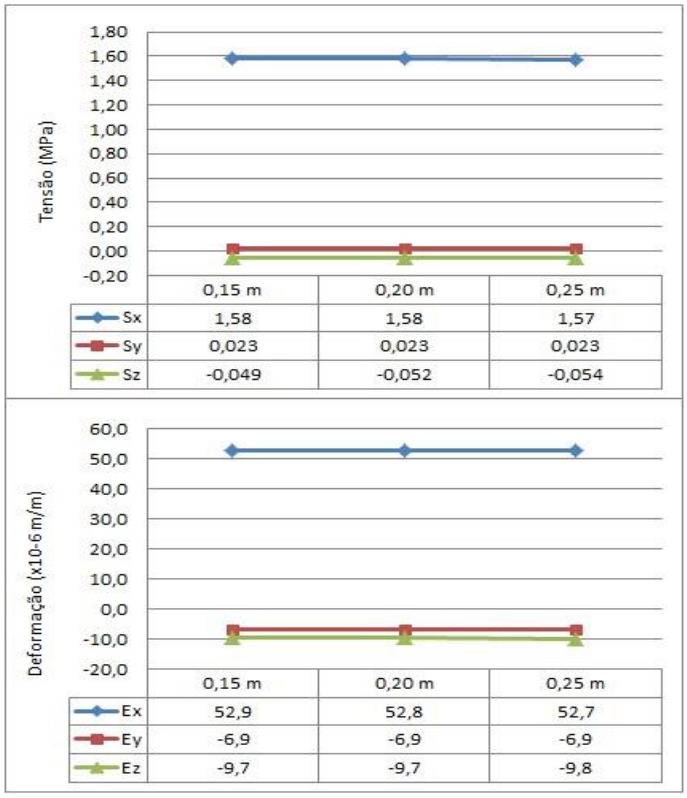

Figura 42: Resultados da análise de variação da espessura da sub-base granular com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

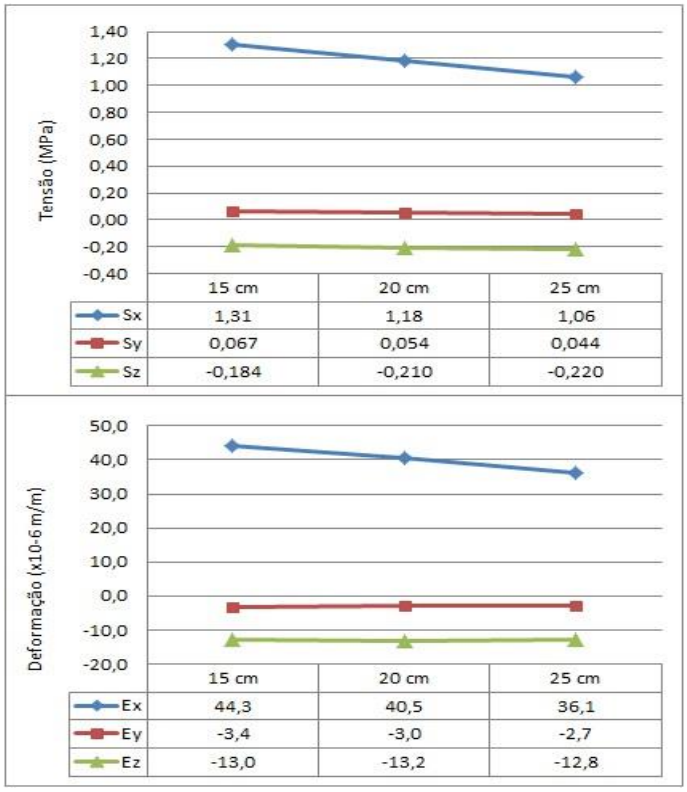

Figura 43: Resultados da análise de variação da espessura da sub-base cimentada não aderida à placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

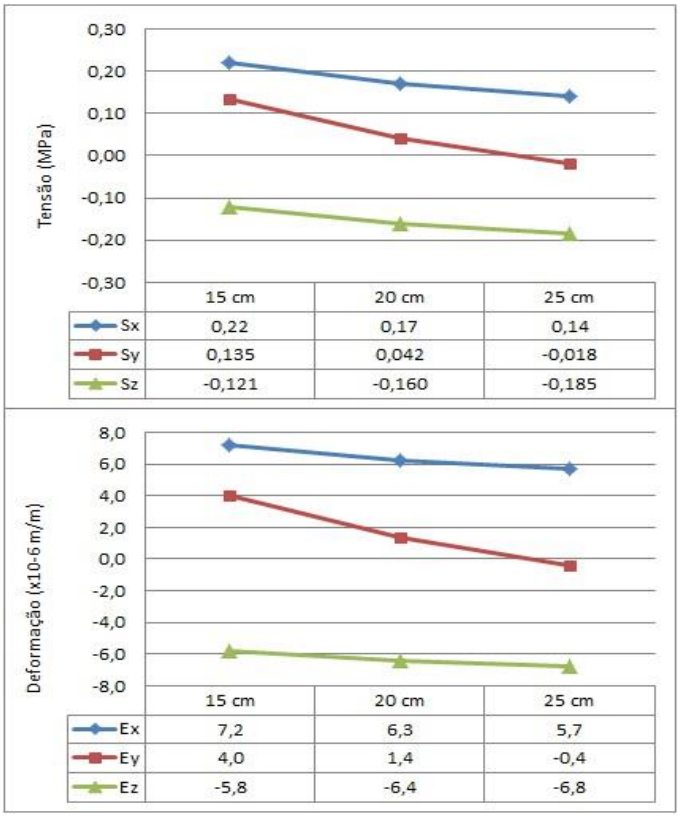

Figura 44: Resultados da análise de variação da espessura da sub-base cimentada aderida à placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

As Figuras 45, 46, 47 e 48 mostram os resultados obtidos para as tensões e as deformações variando-se o módulo de elasticidade do concreto, da sub-base granular e da sub-base cimentada, considerada aderida e não aderida à placa de concreto, respectivamente. Ao aumentar o módulo de elasticidade do concreto, as tensões em X aumentaram, as tensões em Y se mantiveram praticamente iguais e as tensões em Z diminuíram, assim como diminuíram as deformações em X, Y e Z. Destaca-se que as maiores tensões e deformações em Y não ocorreram no centro da borda longitudinal e estão entre as rodas e na região onde elas carregaram a placa de concreto mais ao centro, conforme ilustrado pela Figura 49, sendo a cor azul compressão e a vermelha tração.

Ao dobrar o módulo de elasticidade do concreto de 27,6 GPa para 55,2 GPa, mantendo o mesmo subleito, Gondim (2008) verificou com o KENSLABS que o valor das tensões em X aumentaram em cerca de 20%. Segundo a autora este aumento se deve ao fato de que a placa ficou mais rígida, repassando menos as tensões ao subleito. Segundo Balbo (2003) a teoria das placas diz que ao aumentar a rigidez das mesmas,

ocorre um expressivo aumento nas tensões no concreto. De fato, este foi o comportamento verificado nas análises da presente pesquisa, assim como nas de Gondim (2008).

O método da PCA de 1984, ao montar os ábacos usados para determinar as tensões, fixou o valor do módulo de elasticidade do concreto em 28 GPa aproximadamente, igual ao valor adotado nos ábacos de influência de Pickett e Ray (1951)[2]. Já o método da PMSP (2004) contempla concretos convencionais com módulo de elasticidade em torno de 30 GPa. Sendo assim, é importante destacar que adotando 28 GPa, como no caso do método da PCA e nos ábacos de influência, as tensões podem estar sendo subestimadas. Como atualmente existem concretos com módulo de elasticidade de até 35 GPa é importante que os métodos de dimensionamento considerem na análise um valor adequado, de preferência mais elevado, como 30 GPa ou 35 GPa, para não subestimar as tensões e assim aumentar o dano por fadiga.

Variando o módulo de elasticidade da sub-base granular, houve pouca mudança nas tensões e nas deformações que ocorrem no fundo da placa. Na análise do pavimento com a sub-base cimentada foram adotados valores que condizem com módulo de elasticidade de solo-cimento, BGTC e CCR.

Ao comparar os resultados obtidos no pavimento com sub-base granular com os resultados de sub-base cimentada não aderida, verificou-se que as tensões em X diminuíram e as tensões em Y e em Z aumentaram. Já as deformações em X e em Y diminuíram e em Z aumentaram. Ao aumentar o valor do módulo de elasticidade da sub-base não aderida, as tensões e as deformações em X diminuíram.

Conforme verificado anteriormente, ao considerar na análise a sub-base cimentada aderida à placa de concreto, as tensões e as deformações em X, Y e Z diminuíram. Com o aumento dos valores do módulo, as tensões em X diminuíram de forma expressiva e para 15 GPa passaram a ser de compressão. As tensões em Y aumentaram e também passaram a ser de compressão para 10 GPa e 15 GPa e as tensões em Z aumentaram. As deformações em X diminuíram mais do que a metade, as deformações em Y aumentaram e passaram a ser de compressão para 10 GPa e 15 GPa e as deformações em Z também aumentaram.

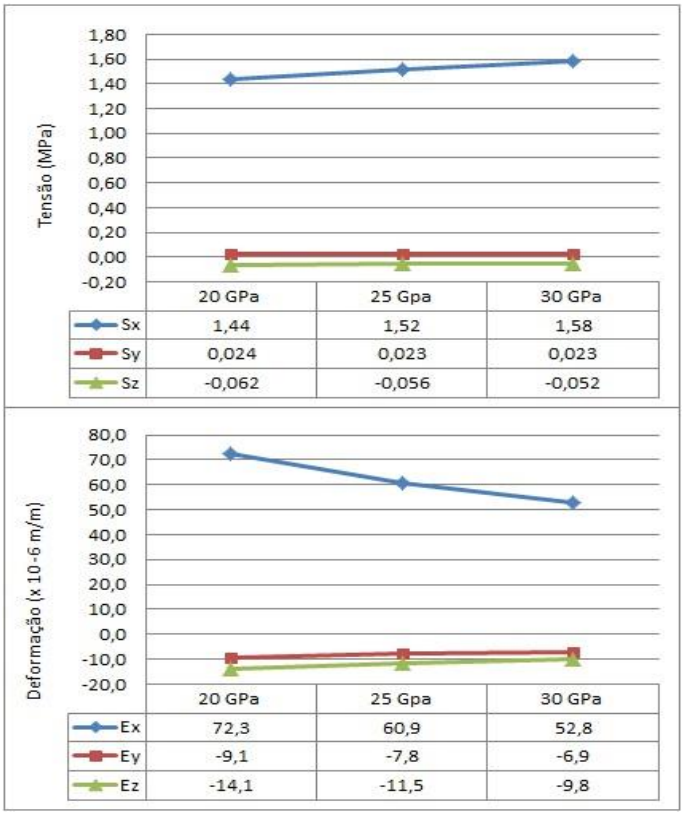

Figura 45: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade do concreto com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

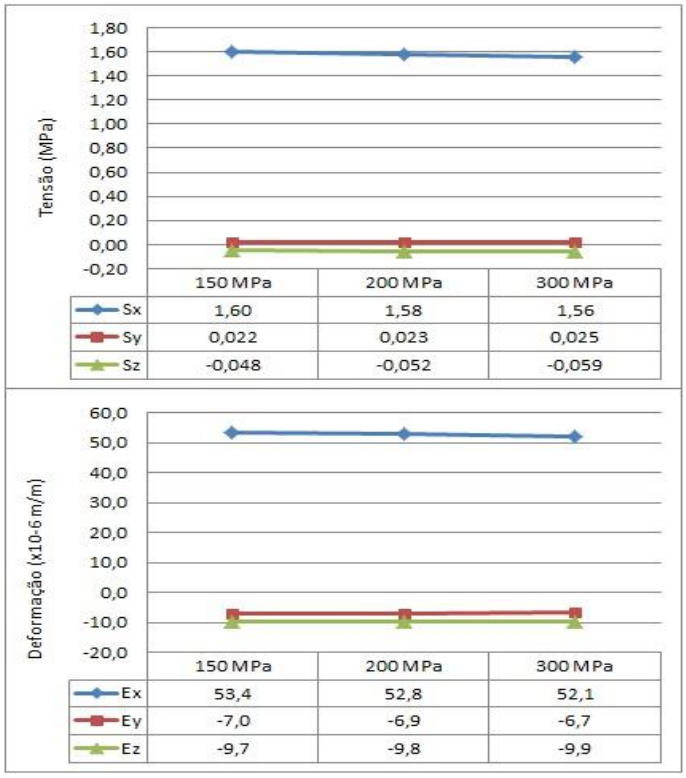

Figura 46: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade da sub-base granular com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

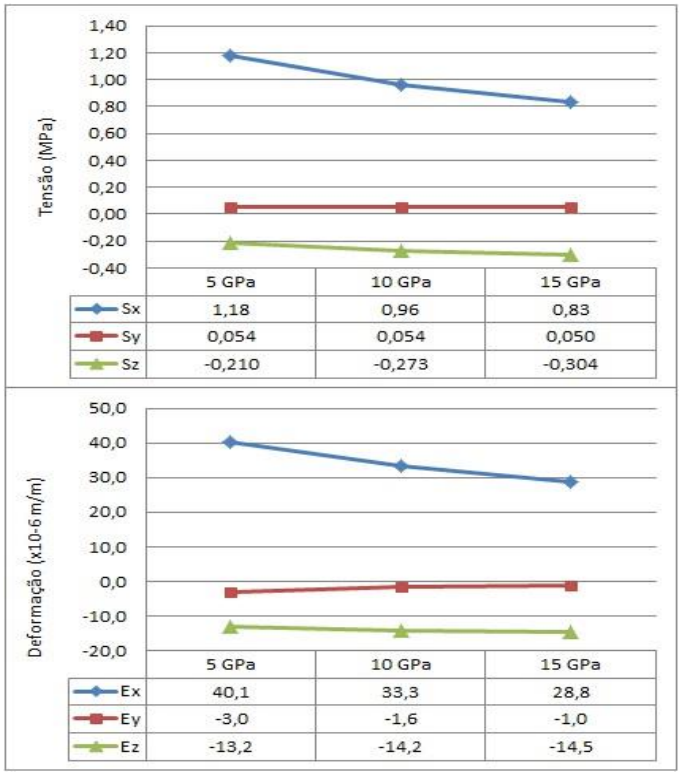

Figura 47: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade da sub-base cimentada não aderida à placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

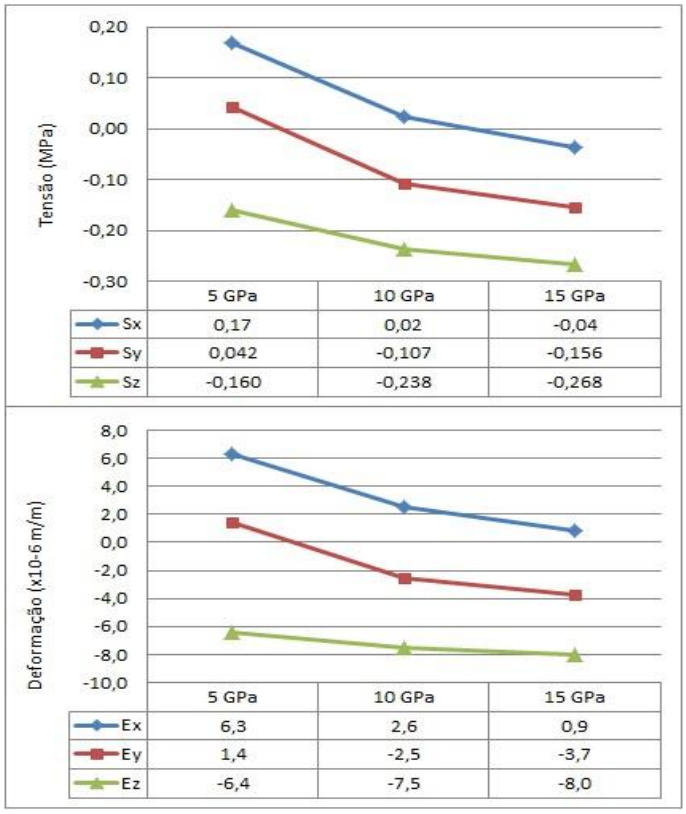

Figura 48: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade da sub-base cimentada aderida à placa com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

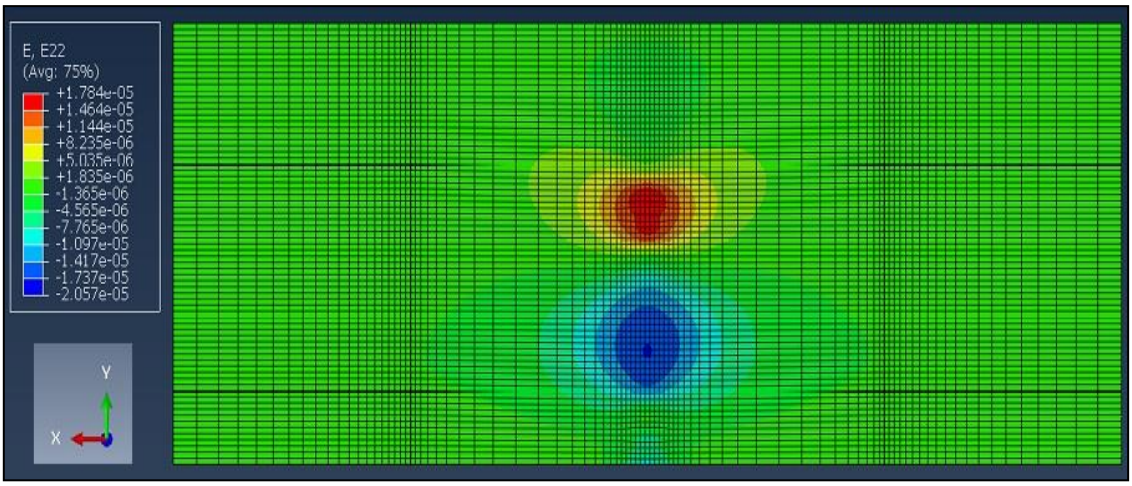

Figura 49: Ilustração dos resultados de deformação em Y na análise com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Com esta avaliação é possível concluir que o módulo de elasticidade do concreto tem papel importante no dimensionamento, pois se ele não for adotado de forma correta nas análises, as tensões podem ser subestimadas no dimensionamento e acelerar o processo de fadiga. Ao aumentar o módulo da sub-base cimentada, tanto na condição não aderida, quanto na condição aderida à placa, as tensões e as deformações diminuíram, possibilitando reduzir a espessura da placa se este fator for considerado corretamente no dimensionamento. A variação do módulo da sub-base granular praticamente não apresentou interferência.

Variando o comprimento da placa de concreto em 4 m, 5 m e 6 m, as análises mostraram que as tensões e as deformações no centro da borda longitudinal, calculadas no fundo da placa de concreto, causadas pelo carregamento proveniente do tráfego, praticamente não mudaram, conforme mostram os gráficos da Figura 50. Portanto, esses comprimentos não influenciaram de forma significativa.

Assim como mostraram os resultados obtidos na presente pesquisa, Gondim (2008) também verificou, que o aumento no comprimento da placa reduz muito pouco as tensões, em menos de 1% segundo a autora.

O atrito entre a placa e a sub-base foi analisado, conforme mostra a Figura 51. Com os resultados obtidos, é possível verificar que as tensões e as deformações provenientes apenas do carregamento do tráfego mudaram pouco com o aumento ou a redução do coeficiente de atrito. Portanto, é possível concluir que para as condições desta análise, este fator não apresentou grande influência.

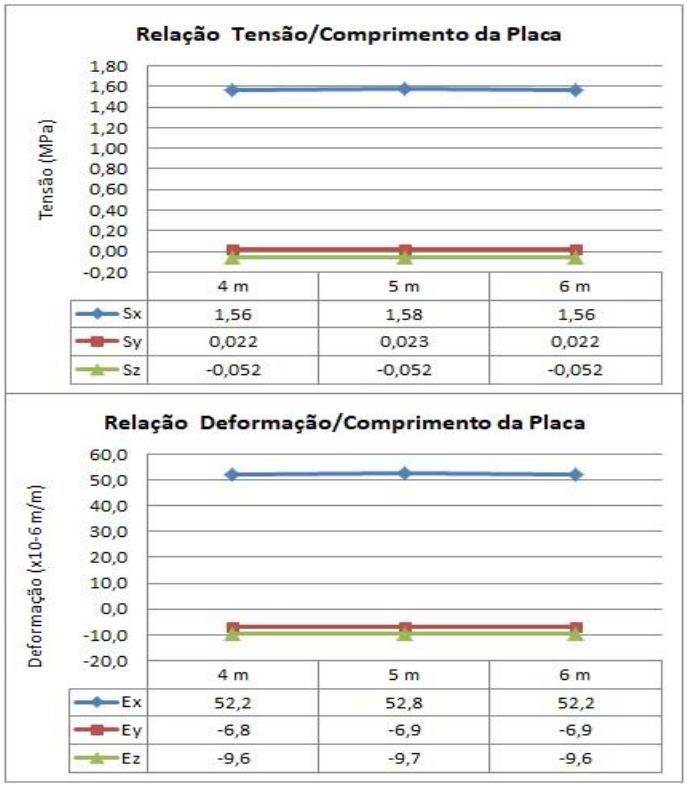

Figura 50: Resultados da análise de variação do comprimento da placa de concreto com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

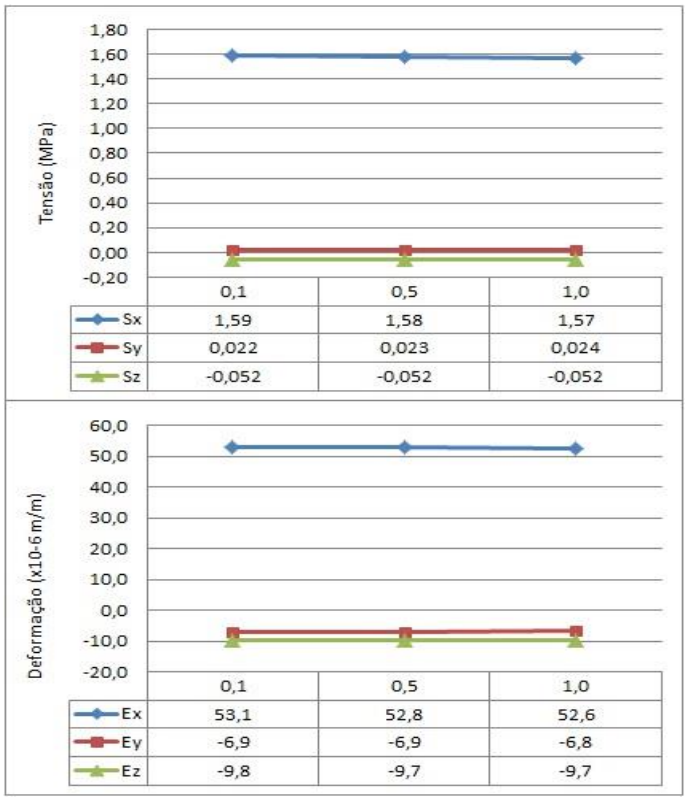

Figura 51: Resultados da análise de variação do atrito entre a placa e a sub-base com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Na sequência da presente pesquisa, o mesmo estudo foi feito para o carregamento devido às variações de temperatura e do tráfego agindo simultaneamente. Para verificar a influência das variações de temperatura entre o topo e o fundo do pavimento, agindo simultaneamente ao carregamento proveniente do tráfego, nas tensões e deformações que ocorrem no fundo da placa de concreto, no centro da borda longitudinal, foram consideradas mais algumas propriedades dos materiais, conforme descrito pela Tabela 19.

Tabela 19: Propriedades dos materiais para análise do empenamento térmico usadas no modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Material	**Peso Específico kg/m³**	**Condutividade W/mºC**	**Expansão 10^{-6} / ºC**
Concreto	2.400	2,75	8
Brita Graduada	1.400	0	0
Argila	2.100	0	0

Neste estudo, foram analisados os gradientes de temperatura 0ºC/mm, 0,050ºC/mm e 0,075ºC/mm, para a placa de 20 cm, sendo eles positivos, que ocorrem durante o dia, quando a superfície da placa está mais quente do que o fundo, e negativos, que ocorrem durante a noite, quando o fundo da placa está mais quente do que a superfície. Os resultados obtidos na modelagem estão descritos respectivamente nos gráficos das Figuras 52 e 53.

Analisando os gradientes de temperatura positivos, verificou-se que ao aumentar a diferença de temperatura entre o topo e o fundo da placa, as tensões e as deformações em X aumentaram de forma expressiva. As tensões em X cresceram cerca de 65%, ao serem comparados os resultados das análises com gradientes térmicos de 0ºC/mm e de 0,050ºC/mm e 100% ao comparar os resultados dos gradientes 0ºC/mm e 0,075ºC/mm. As deformações em X aumentaram mais de cinco vezes em ambos os casos. Já entre os gradientes de 0,050ºC/mm e de 0,075ºC/mm houve um aumento de cerca de 20% nas tensões em X e uma redução de 7% nas deformações em X.

Na análise dos gradientes de temperatura negativos, ao serem comparados os resultados das análises com gradientes térmicos de 0 ºC/mm e de 0,050 ºC/mm,

verificou-se que as tensões em X diminuíram de forma expressiva, para cerca de um quarto e as deformações aumentaram de forma significativa (mais do que cinco vezes em X). Já entre os gradientes de 0,050 ºC/mm e de 0,075 ºC/mm verificou-se uma redução nas tensões e nas deformações em X.

O gradiente de temperatura positivo aumenta de forma expressiva as tensões e as deformações na placa de concreto, pois o carregamento térmico age no mesmo sentido que as cargas provenientes do tráfego. Já o gradiente negativos reduz essas tensões por agir no sentido oposto às cargas do tráfego. Entretanto, as deformações aumentam de forma significativa em todas as direções.

Silva (2001) verificou nos seus estudos sobre *whitetopping*, que as tensões devido ao efeito combinado da carga externa e do gradiente térmico positivo podem chegar a ser 53% maiores do que a tensão devida apenas à carga externa. Gondim (2008) verificou em sua pesquisa usando o programa KENSLABS que o efeito dos gradientes térmicos nas tensões e nas deformações causadas pelo empenamento da placa, pode atingir magnitudes duas vezes maiores que aquelas encontradas quando da ação isolada de cargas rodoviárias.

Balbo e Rodolfo (2003) modelaram tensões em pavimentos de concreto com sub-base aderida e não aderida à placa e com diferenciais térmicos, usando modelos numérico-estatísticos. Para o caso de uma placa com 25 cm de espessura, os autores verificaram que um diferencial térmico de 10°C entre o topo e o fundo da placa de concreto (gradiente térmico igual a 0,040 ºC/mm), gerou tensões cerca de 100% superiores àquelas causadas isoladamente pela carga do tráfego.

Os resultados obtidos na presente modelagem e nas demais pesquisas citadas mostram o quão expressivos são os efeitos dos gradientes térmicos nos pavimentos de concreto e evidenciam a necessidade de considerá-los no dimensionamento. Quando este importante fator não é considerado, conforme ocorre no método da PCA (1984), ele pode causar a ruptura precoce do pavimento por fadiga.

Além disso, com os estudos citados é possível ver que o argumento da PCA (1984) sobre incertezas ou imprecisões na determinação dos efeitos das variações térmicas, deve ser completamente ignorado, pois já existem diversos estudos a respeito dos gradientes térmicos, inclusive em climas tropicais.

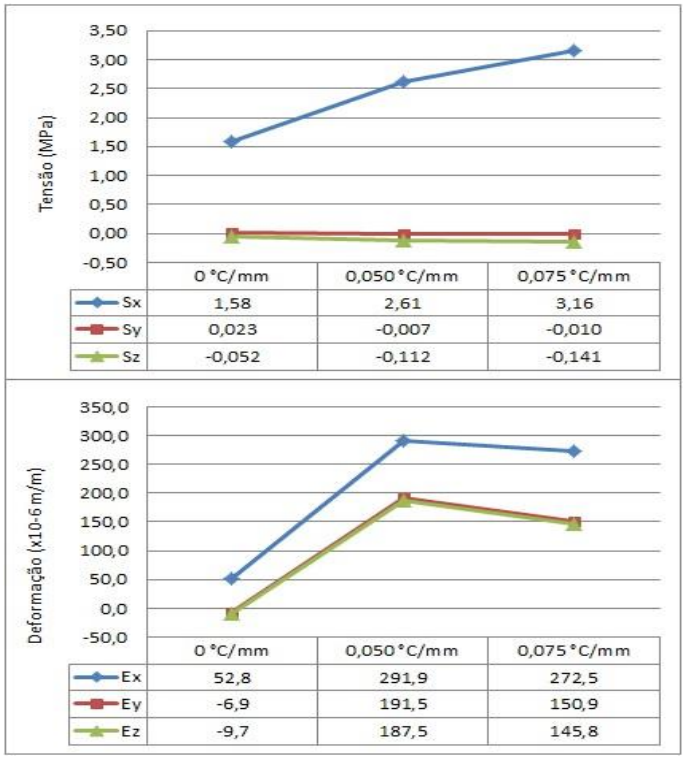

Figura 52: Resultados da análise de variação do gradiente de temperatura positivo com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

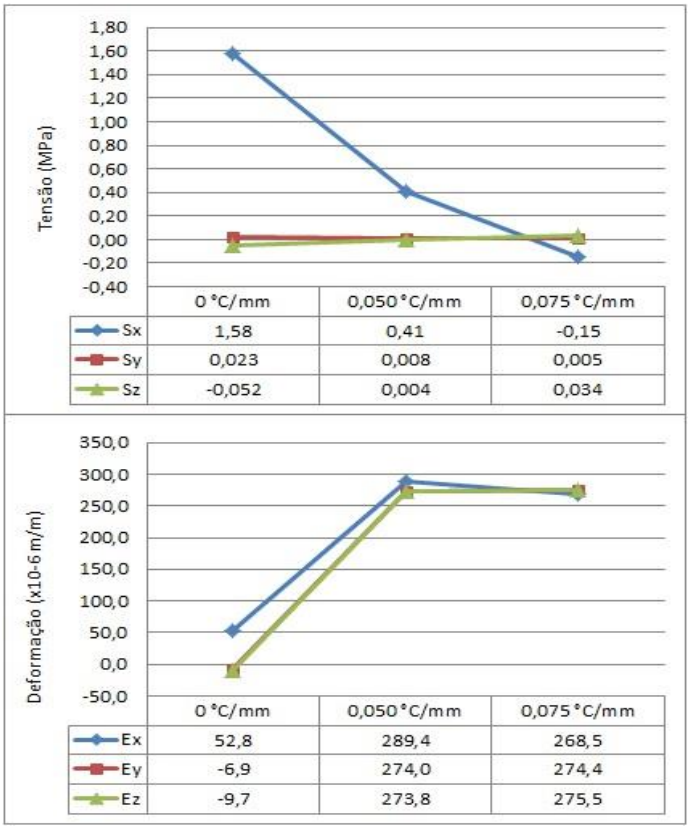

Figura 53: Resultados da análise de variação do gradiente de temperatura negativo com o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

A seguir, foram realizadas algumas análises adicionais, variando fatores indicados na Tabela 20, para verificar a influência destes nas tensões e nas deformações que ocorrem no fundo da placa de concreto, no centro da borda longitudinal, causadas pelo carregamento térmico e do tráfego agindo simultaneamente, conforme acontece nos pavimentos reais. Foram analisadas as diferenças de temperatura de -10 ºC e de +10ºC entre o topo e o fundo da placa, ou seja, uma diferença de temperatura positiva e outra negativa.

Tabela 20: Fatores que variaram na análise paramétrica para estudo do empenamento térmico e das cargas do tráfego agindo simultaneamente.

Parâmetro	**Variações**		
Espessura da Placa	0,15 m	0,20 m	0,25 m
Módulo de Elasticidade do Concreto	20 GPa	25 GPa	30 GPa
Comprimento da Placa	4 m	5 m	6 m
Atrito entre a Placa e a Sub-base	0,1	0,5	1,0
Coeficiente de Expansão Térmica	2×10^{-6}	8×10^{-6}	15×10^{-6}

As Figuras 54 e 55 mostram os resultados obtidos na modelagem mudando a espessura da placa. Ao fazer esta variação, os gradientes de temperatura também mudam. Para as placas de 0,15 m, 0,20 m e 0,25 m, os gradientes são de 0,067ºC/mm, 0,050ºC/mm e 0,040ºC/mm, respectivamente. As Figuras 56 e 57 mostram os resultados ilustrativos gerados pelo ABAQUS para a tensão em X, na placa de 0,20 m, para gradientes de temperatura positivo e negativo, respectivamente, sendo a cor azul compressão e a vermelha, tração.

Com os resultados obtidos, verificou-se que, ao aumentar a espessura da placa, diminuindo o gradiente térmico, as tensões e as deformações em X foram reduzidas de forma significativa, tanto na análise com o gradiente positivo, quanto na análise com o gradiente negativo. Destaca-se que as tensões em X são bem maiores no caso do gradiente positivo. Ao aumentar a espessura da placa de 15 cm para 20 cm, as tensões em X são reduzidas em cerca de 24% e de 20 cm para 25 cm, são reduzidas em 21%.

Assim como na análise apenas das cargas provenientes do tráfego, a espessura da placa se mostrou um fator bastante importante para a redução das tensões e deformações na placa de concreto, sendo essencial no dimensionamento a determinação da espessura adequada para obter a vida útil desejada.

Ao analisar o módulo de elasticidade do concreto, verificou-se que para o gradiente positivo, ao aumentar seus valores, as tensões em X aumentaram e as tensões em Y e em Z se mantiveram iguais. Entretanto, as deformações em X diminuíram e as deformações em Y e Z se mantiveram praticamente iguais. No caso do gradiente negativo, ao aumentar os valores do módulo de elasticidade, as tensões e as deformações em X diminuíram e em Y e em Z se mantiveram iguais. As Figuras 58 e 59 mostram os gráficos com os resultados das modelagens.

Com este estudo, é possível verificar que assim como na análise apenas do carregamento do tráfego, o módulo de elasticidade do concreto se mostrou um fator importante, que merece atenção no processo de dimensionamento, pois influencia de forma direta no desempenho desse tipo de pavimento. Conforme já verificado anteriormente, um módulo de elasticidade mais elevado gera maiores tensões para uma mesma espessura de placa e se não considerado de forma correta nas análises estruturais do pavimento, pode fazer com que a vida de fadiga seja subestimada.

Analisando os resultados obtidos com a modelagem, ao variar o comprimento da placa de concreto em 4 m, 5 m e 6 m, com gradientes de temperatura positivo e negativo, conforme os resultados das Figura 60 e 61, verifica-se que para o gradiente positivo houve pouca mudança nas tensões e deformações. Entretanto, no caso do gradiente negativo, a redução das tensões em X foi bastante significativa. Assim, é possível concluir que estes comprimentos de placa não apresentam grande influência nas tensões e deformações que ocorrem no pavimento, pois a situação mais desfavorável acontece quando ocorrem os gradientes positivos e nestes casos houve pouca mudança nas tensões.

Rodolfo e Balbo (2000) modelaram tensões em pavimentos de concreto submetidos a gradientes térmicos e cargas rodoviárias com o programa ILSL2 e observaram que o aumento do comprimento das placas pouco influenciou nos resultados das tensões.

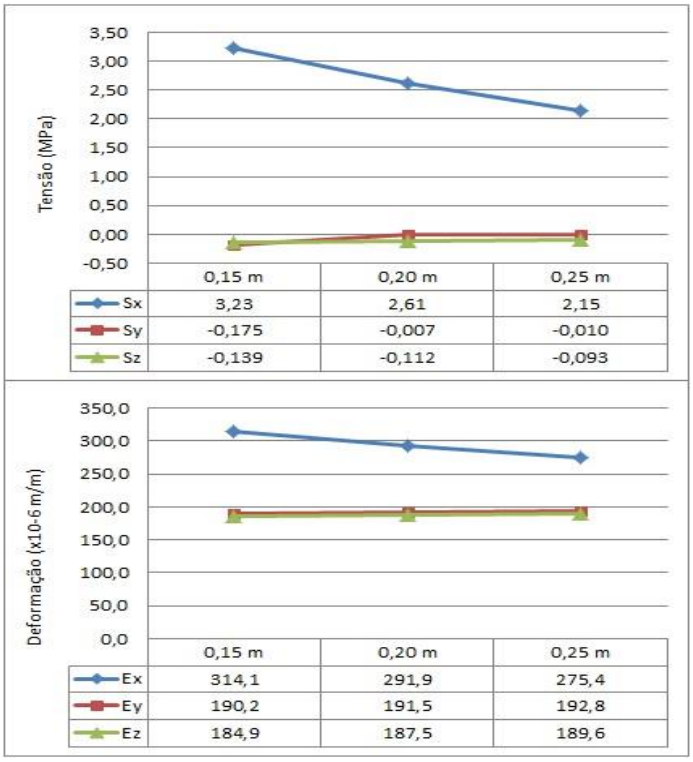

Figura 54: Resultados da análise de variação de espessura da placa, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

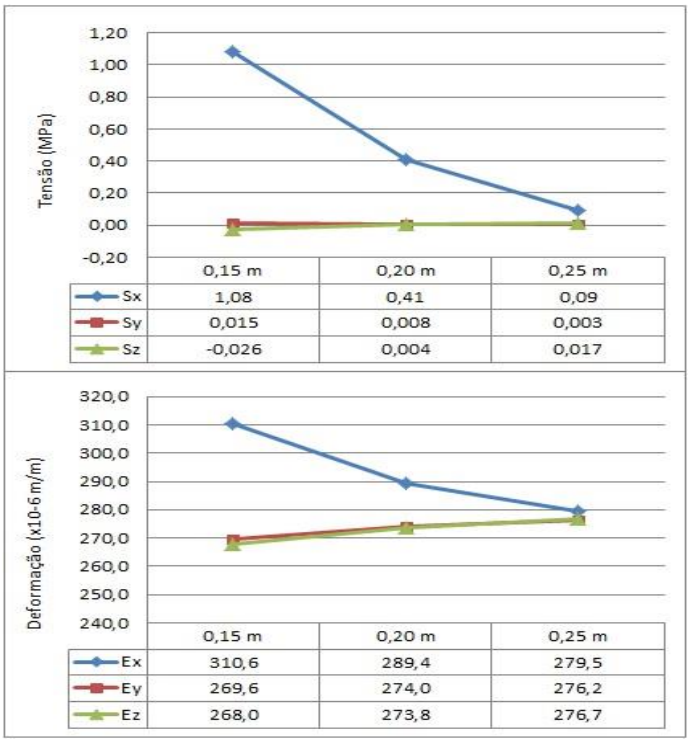

Figura 55: Resultados da análise de variação de espessura da placa, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

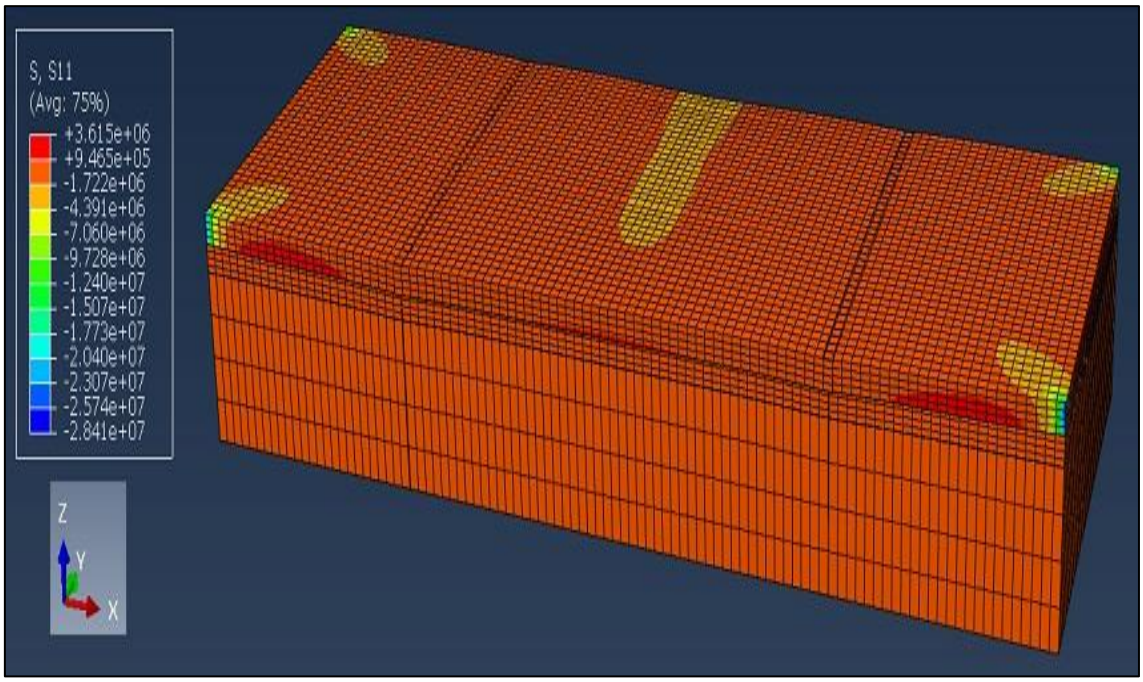

Figura 56: Resultados ilustrativos para tensão em X, na placa de 0,20 m, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

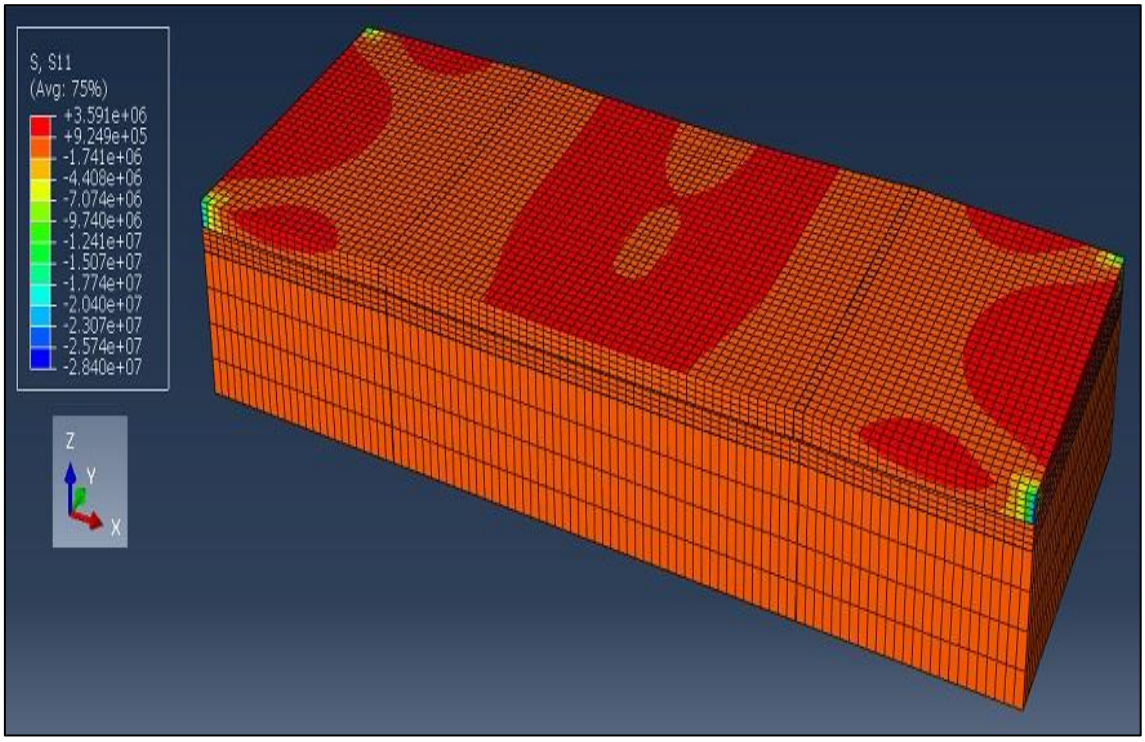

Figura 57: Resultados ilustrativos para tensão em X, na placa de 0,20 m, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

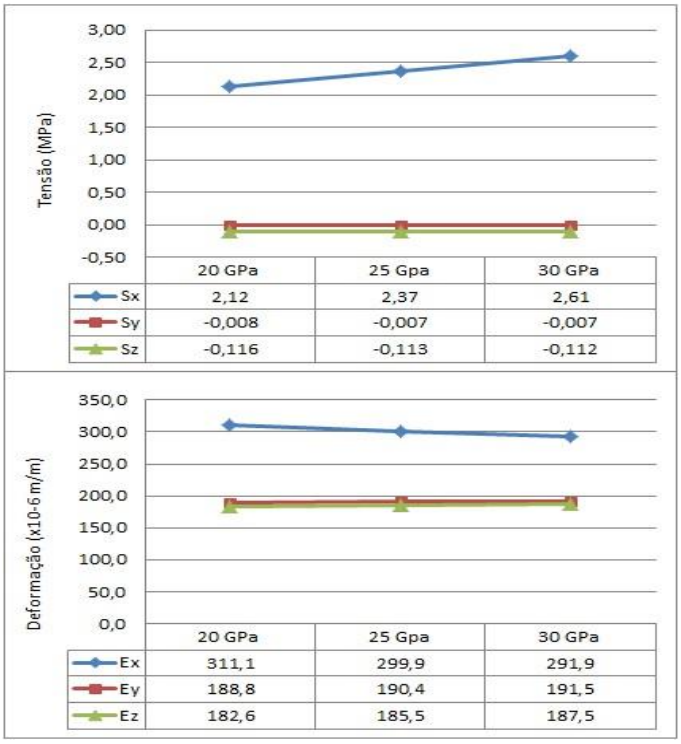

Figura 58: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade do concreto, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

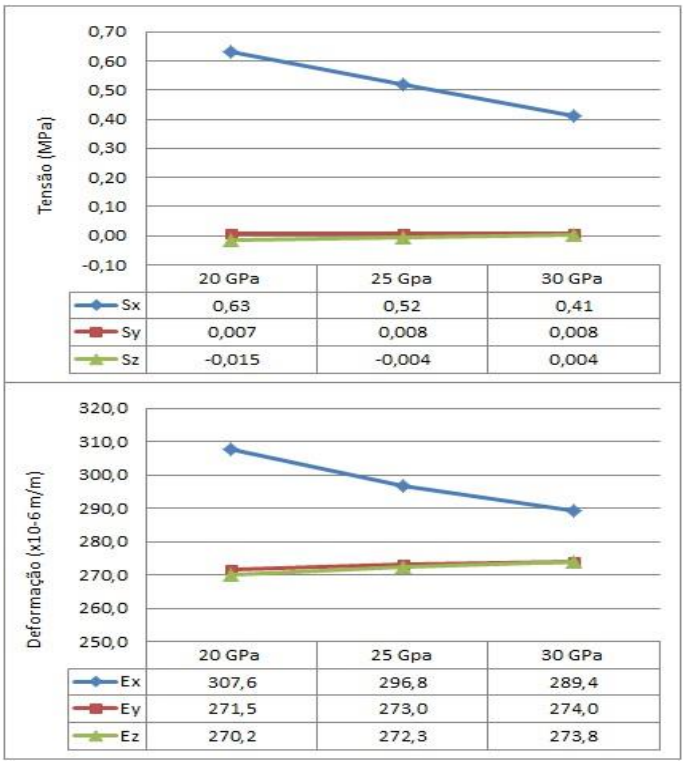

Figura 59: Resultados da análise de variação do módulo de elasticidade do concreto, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

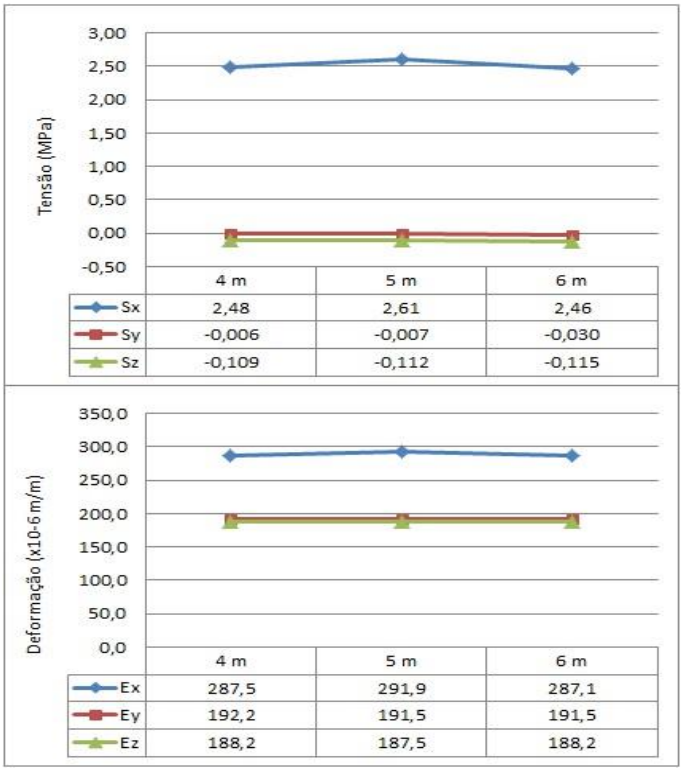

Figura 60: Resultados da análise de variação do comprimento da placa, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

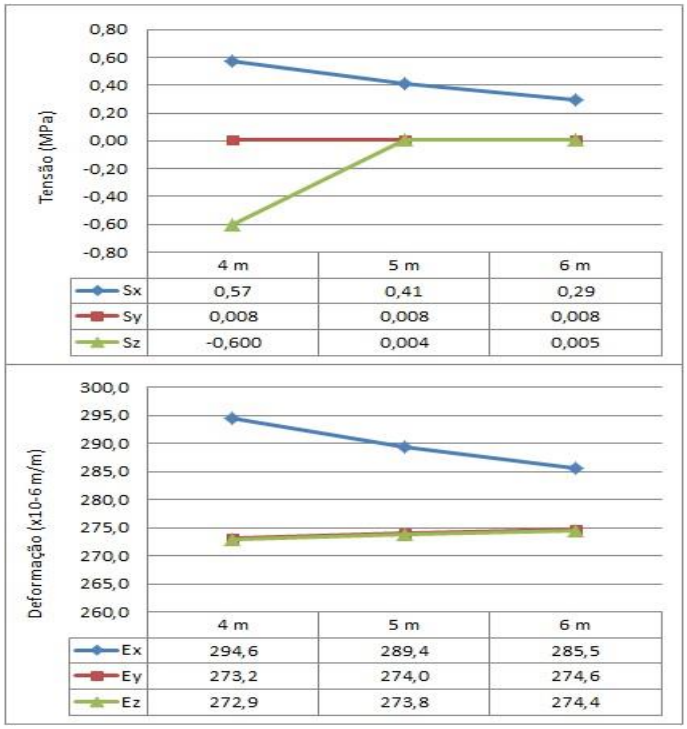

Figura 61: Resultados da análise de variação do comprimento da placa, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

As Figuras 62 e 63 mostram os resultados obtidos para as tensões e as deformações variando o coeficiente de atrito entre a placa e a sub-base. Analisando os gráficos, é possível verificar que houve pouca mudança nos resultados ao aumentar ou diminuir este coeficiente. Portanto, é possível concluir que o atrito afeta as tensões e as deformações, mas não de forma expressiva.

O coeficiente de expansão térmica é a medida da expansão ou contração de um material com a temperatura. Segundo a Federal Highway Administration (2016) o coeficiente de expansão térmica do concreto varia principalmente entre $8x10^{-6}$ e $12x10^{-6}$ e é determinado de acordo com os materiais que o compõem. Como o agregado compõe a maior parte do concreto, o tipo de agregado tem o maior efeito sobre o coeficiente de expansão térmica do concreto. A Tabela 21 mostra os coeficientes de expansão térmica do concreto, para cada tipo de agregado. Ao variar o coeficiente de expansão térmica, conforme mostram as Figuras 64 e 65, verificaram-se mudanças grandes nos resultados. Assim sendo, é essencial o uso do coeficiente adequado nas análises em que o carregamento devido ao empenamento térmico da placa de concreto for considerado.

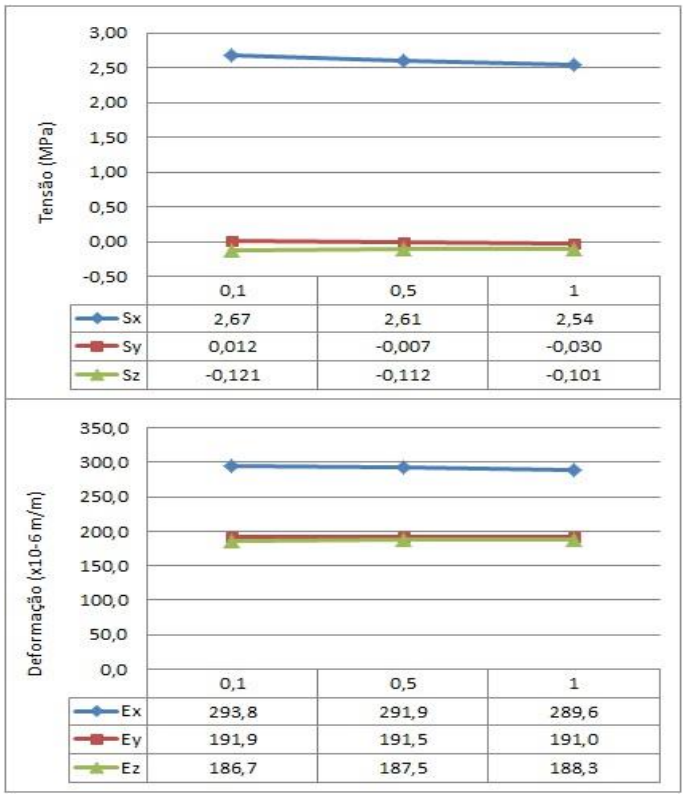

Figura 62: Resultados da análise de variação do coeficiente de atrito entre a placa e a sub-base, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

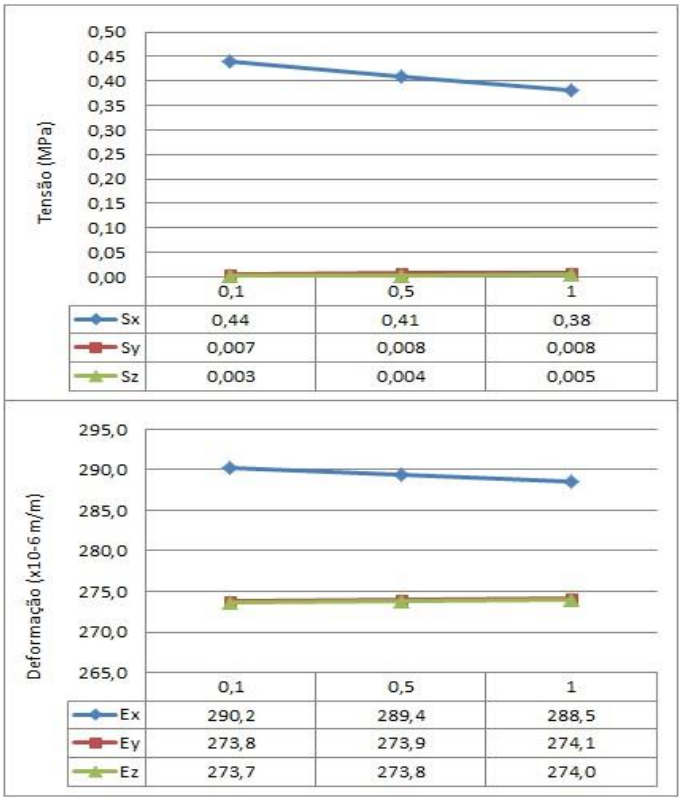

Figura 63: Resultados da análise de variação do coeficiente de atrito entre a placa e a sub-base, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Tabela 21: Coeficientes de expansão térmica do concreto de acordo com o tipo de agregado (FHWA, 2016).

Agregado	**Coeficiente de Expansão Térmica (10^{-6} /ºC)**
Granito	7-9
Basalto	6-8
Calcário	6
Arenito	11-12
Quartzo	11-13
Mármore	4-7

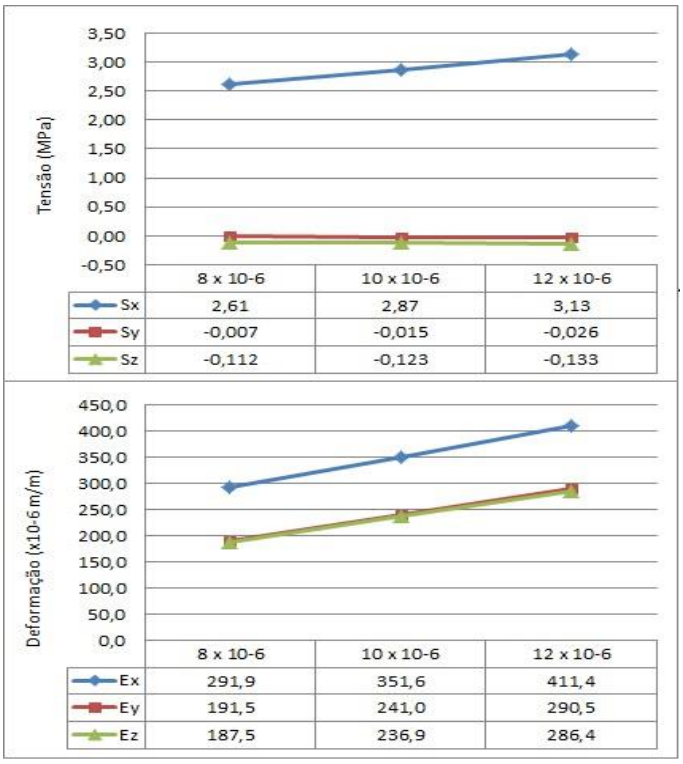

Figura 64: Resultados da análise de variação do coeficiente de expansão térmico do concreto, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura positivo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

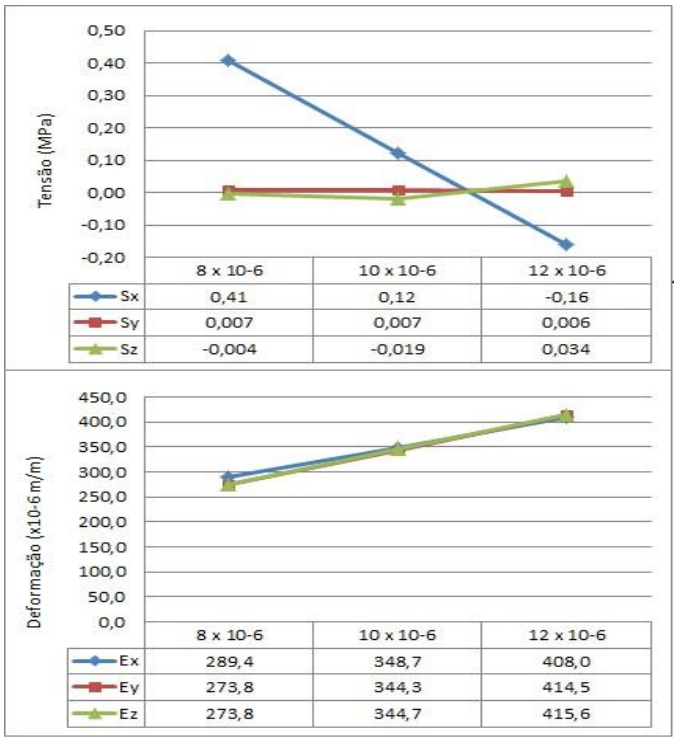

Figura 65: Resultados da análise de variação do coeficiente de expansão térmico do concreto, para carregamento do tráfego e empenamento térmico, com gradiente de temperatura negativo, usando o modelo desenvolvido na presente pesquisa.

Para facilitar o entendimento e a identificação da influência dos fatores nas tensões e deformações que ocorrem na estrutura dos pavimentos de concreto, foi feita uma tabela gráfica, conforme demonstrado na Figura 66, resumindo o que foi visto nesta análise paramétrica, ou seja, mostrando como as tensões e as deformações em X se comportam ao aumentar o valor de cada parâmetro. A seta para cima indica que elas aumentam, a seta para baixo que elas diminuem e a seta para a direita que não há mudança significativa. Como exemplo, ao aumentar a espessura da placa de concreto, as tensões e as deformações aumentam.

Analisando os resultados da modelagem, os gráficos e a tabela resumo é possível verificar que o empenamento térmico da placa de concreto é o fator que mais influencia nas tensões e nas deformações que ocorrem no fundo da placa de concreto, podendo aumentá-las em até 100%. Portanto, é primordial para um dimensionamento eficiente considerar tal fator.

As espessuras da placa e da sub-base cimentada também se mostraram importantes, assim como o módulo de elasticidade do concreto e da sub-base cimentada.

Quando a placa está aderida à sub-base ocorre uma redução expressiva nas tensões e nas deformações, se corretamente considerado no dimensionamento, pode permitir que a espessura da placa seja reduzida, mas é preciso garantir que esta aderência realmente ocorra no campo.

Além disso, é também muito importante que as análises que considerem os gradientes térmicos façam uso do coeficiente de expansão térmico apropriado, de acordo com o tipo de agregado que será usado na produção do concreto.

O Anexo I apresenta os relatórios com os resultados obtidos nas modelagens numéricas realizadas na presente pesquisa para a análise paramétrica, usando o *software* ABAQUS.

FATORES	TENSÕES	DEFORMAÇÕES
Espessura da Placa de Concreto	↓	↓
Espessura da Sub-base Granular	→	→
Espessura da Sub-base Cimentada Não Aderida	↓	↓
Espessura da Sub-base Cimentada Aderida	↓	↓
Módulo de Elasticidade do Concreto	↑	↓
Módulo de Elasticidade da Sub-base Granular	→	→
Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada Não Aderida	↓	↓
Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada Aderida	↓	↓
Comprimento da Placa	→	→
Atrito entre a Placa e a Sub-base	→	→
Gradiente de Temperatura Positivo (+)	↑	↑
Gradiente de Temperatura Negativo (-)	↓	↑
Espessura da Placa de Concreto - Gradiente Positivo	↓	↓
Espessura da Placa de Concreto - Gradiente Negativo	↓	↓
Módulo de Elasticidade do Concreto - Gradiente Positivo	↑	↓
Módulo de Elasticidade do Concreto - Gradiente Negativo	↓	↓
Comprimento da Placa - Gradiente Positivo	→	→
Comprimento da Placa - Gradiente Negativo	↓	↓
Atrito entre a Placa e a Sub-base - Gradiente Positivo	→	→
Atrito entre a Placa e a Sub-base - Gradiente Negativo	→	→
Coef. De Expansão Térmica - Gradiente Positivo	↑	↑
Coef. De Expansão Térmica - Gradiente Negativo	↓	↑

Figura 66: Comportamento das tensões e das deformações com a análise de variações de vários fatores usando o modelo proposto na presente pesquisa.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

6.1 CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, foi desenvolvido um modelo numérico tridimensional no programa computacional ABAQUS para analisar o comportamento estrutural dos pavimentos de concreto simples quando submetidos às cargas provenientes do tráfego e ao empenamento térmico.

Para verificar a eficiência do modelo, os resultados obtidos para cargas provenientes do tráfego foram comparados com resultados medidos em campo, em pistas instrumentadas. Foram modeladas a pista de ensaios de Ohio, o pavimento experimental da USP e a pista experimental do IPR/DNER. Os resultados obtidos para o empenamento térmico da placa de concreto foram comparados com resultados de soluções analíticas. Além disso, foi feita a comparação de alguns resultados obtidos usando o modelo proposto com resultados do programa ILSL2. As verificações mostraram que o modelo desenvolvido consegue obter respostas adequadas para as tensões e deformações causadas pelo tráfego e pelo empenamento térmico da placa de concreto.

Com o modelo desenvolvido na presente pesquisa, foi realizada uma análise paramétrica para identificar e entender melhor a influência de alguns dos diversos fatores que podem afetar as tensões e as deformações que ocorrem na estrutura dos pavimentos. Algumas conclusões desta análise são:

- A espessura da placa foi um dos fatores mais importantes: ao aumentar ou reduzir a sua espessura, as tensões e deformações mudaram de forma significativa;
- A espessura da sub-base granular não apresentou influência. A sub-base cimentada permite boa redução nas tensões e nas deformações. Quando a sub-base cimentada está aderida à placa de concreto essas tensões e deformações diminuem de forma expressiva. Portanto, verificou-se que a adoção de sub-base cimentada é uma vantagem para os projetos de pavimentos de concreto e que a aderência entre placa e sub-base também pode trazer benefícios, reduzindo a espessura da placa;

- As análises do módulo de elasticidade mostraram que quanto maior o módulo do concreto, maiores são as tensões no fundo da placa, portanto deve-se atentar ao valor de módulo adotado no dimensionamento para não subestimar essas tensões;
- A variação do módulo da sub-base granular praticamente não apresentou interferência. O aumento do módulo da sub-base cimentada diminuiu as tensões e as deformações, para sub-base aderida à placa esta redução foi muito expressiva.
- Variando-se o comprimento da placa de concreto em 4 m, 5 m e 6 m, as tensões e deformações causadas pelo carregamento proveniente do tráfego praticamente não mudaram. O mesmo aconteceu com o atrito entre a placa e a sub-base.
- Ao analisar os gradientes de temperatura agindo simultaneamente às cargas do tráfego, verificou-se para gradiente positivo um aumento de até 100% nas tensões e as deformações chegaram a ficar cinco vezes maiores. Já os gradientes negativos reduziram de forma significativa as tensões, mas as deformações aumentaram de forma expressiva, assim como ocorreu com os gradientes positivos. Portanto, ficou evidente que o empenamento térmico é um dos fatores mais importantes para um dimensionamento eficiente, sendo um risco não fazer tal consideração.

Quando se fez análise conjunta do carregamento térmico e do tráfego agindo simultaneamente, concluiu-se que:

- Ao aumentar a espessura da placa, as tensões e as deformações foram reduzidas de forma significativa, tanto na análise com o gradiente positivo, quanto com o gradiente negativo.
- Com o aumento do módulo de elasticidade do concreto as tensões aumentaram e as deformações diminuíram nas análises com gradiente positivo e, nas análises com gradiente negativo ambas diminuíram.
- O comprimento da placa e o coeficiente de atrito entre placa e sub-base não causaram variações expressivas nas tensões e nas deformações.
- O coeficiente de expansão térmico causou grandes mudanças, mostrando que é essencial o uso de um coeficiente adequado nas análises em que o carregamento térmico for considerado.

Como o DNIT ainda adota o método da PCA (1984) e este método não leva em consideração fatores importantes para o bom desempenho do pavimento, como o empenamento térmico, que se mostrou importantíssimo, buscou-se com esta pesquisa destacar a influência expressiva de alguns fatores, nas tensões e deformações que ocorrem na placa de concreto, para que possam ter destaque em futuros estudos para o desenvolvimento de novos métodos de dimensionamento.

O modelo tridimensional desenvolvido se mostrou eficiente e apresenta qualidades como poder verificar o comportamento dos pavimentos de concreto quando submetidos às cargas do tráfego e ao empenamento térmico simultaneamente, com maior riqueza de detalhes, como, por exemplo, ao verificar o atrito horizontal na interface entre as diferentes camadas e as tensões que ocorrem no contato entre as barras de transferência e o concreto. Mas, em contrapartida, há a dificuldade do longo tempo de processamento e a necessidade de usar computadores potentes para reduzir parcialmente este tempo.

O ABAQUS se mostrou eficiente nas análises e o programa oferece diversas funções que possibilitam que o modelo desenvolvido possa ser melhorado, passando a considerar fatores como o carregamento cíclico e os gradientes de temperatura não lineares. Há a desvantagem de se tratar de um software pago e, portanto, nem todos podem ter acesso. Entretanto, destaca-se que a customização desenvolvida na presente pesquisa pode ser adotada em outros programas de elementos finitos.

Por fim, a autora, que trabalha em uma concreteira, aponta a importância de treinar e conscientizar os responsáveis pela fabricação do concreto e pela execução do pavimento, sobre a importância de realizar em campo o que foi especificado em projeto. Destaca-se a importância da realização dos ensaios de acompanhamento, principalmente o ensaio de módulo de elasticidade que ainda é muito pouco difundido nas obras.

6.2 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Realizar a instrumentação de uma placa de concreto para medir as tensões e as deformações causadas pelo empenamento térmico e assim poder calibrar modelos de elementos finitos sem precisar usar equações analíticas.
- Aprimorar o modelo de elementos finitos para que ele possa considerar nas análises o carregamento cíclico e os gradientes de temperatura não lineares, para

poder verificar as diferenças encontradas ao comparar com resultados de carregamento estático e gradientes de temperatura lineares, que foram adotados no presente modelo.

- Verificar como seria possível incluir em futuros métodos de dimensionamento a possibilidade de considerar a sub-base aderida à placa de concreto, para reduzir as tensões e deformações e assim, poder diminuir a espessura da placa, desde que se garanta esta aderência na construção.
- Estudar o coeficiente de expansão térmica do concreto, para usar resultados mais fundamentados nas análises do empenamento térmico.
- Analisar a influência dos eixos tandem duplos, triplos e especiais nas tensões e deformações que ocorrem na placa de concreto e nas juntas;
- Realizar análises referentes à transferência de carga nas juntas, para verificar o comportamento das tensões e deformações nas interfaces entre as barras de transferência e o concreto.
- Verificar a influência das barras de transferência instaladas nas juntas, no empenamento térmico da placa de concreto.
- Verificar a influência de fatores como o diâmetro, o espaçamento e a posição angular das barras na transferência de carga nas juntas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAQUS. *Guide Version 6.16 - Computer Software for Interactive Finite Element Analysis*. Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. Pawtucket, Rhode Island, EUA, 2016.

BALBO, J. T.; SEVERI, A. A.; RODOLFO, M. P.; PEREIRA, D. S. "Pesquisa dos efeitos do clima sobre pavimentos de concreto – Instrumentação da Pista Experimental na USP". *XIV Congresso de pesquisa e ensino em transporte - ANPET*, Gramado, RS, 2000.

BALBO, J. T. e RODOLFO, M. P. "Modelagem de tensões em pavimentos de concreto com base aderida e diferenciais térmicos" *XVII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

BALBO, J. T.; RODOLFO, M. P.; PEREIRA, D. S.; SEVERI, A. A. "Calibração de tensões em pavimentos de concreto simples com base em medidas físicas em pista experimentais". *XVIII Congresso de pesquisa e ensino em transporte - ANPET*, Florianópolis, SC, 2004.

CERVO, T. C. *Estudo da resistência à fadiga de concretos de cimento Portland para pavimentação*. Tese (doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2004.

DER. IP-DE-P00/001 - *Projeto de Pavimentação*. SP / DER. São Paulo, SP, 2006.

DNIT. IPR 714 - *Manual de pavimentos rígidos*. RJ / DNIT. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

DNIT. IPR 723 - *Manual de estudos de tráfego*. - Rio de Janeiro, RJ, 2006.

FHWA (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION), *Thermal Coefficient Of Portland Cement Concrete*. Federal Highway Administration Research and Technology, New Jersey, EUA, 2016.

FURLAN, F. A. C. *Métodos locais de integração explícito e implícito aplicados ao método dos elementos finitos de alta ordem*. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2011.

GONDIM, Y. C. *Dimensionamento de pavimentos de concreto utilizando o programa computacional Kenslabs 2004 e comparação com o método da PCA 1984*. Dissertação (mestrado). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, 2008.

HUANG, I. H. *Pavements analyses and design*. 2. ed. Prentice – Hall, Inc., New Jersey, EUA, 2004.

IOANNIDES, A.M.; THOMPSON, M. R.; BARENBERG, E. J. *Westergaard Solutions Reconsidered*. Transportation Research Record 1043, Transportation Research Board, 1985.

JOUYBARI, S. T.; SHAFABAKHSH G. A. *Finite Element Investigation of Load Transfer Efficiency in Jointed Plain Concrete Pavements*. Computational Research Progress in Applied Science & Engineering. Irã, 2017.

KHAZANOVICH, L. *Structural analysis of multi-layered concrete pavement systems*. Tese (doutorado). University of Illinois. Illinois, EUA, 1994.

KHAZANOVICH L.; YU H. T.; RAO S.; GALASOVA K.; SHATS E.; JONES R. *ISLAB2000 - Finite Element Analysis Program for Rigid and Composite Pavements User's Guide*. ERES Consultants, Champaign, IL, EUA, 2000.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos Pavimentos*. 3. ed. Interciência. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

NCHRP. *Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures*. Project 1-37A. Transportation Research Board. Washington, DC: National Research Council, 2004.

PCA. *Thickness design for concrete pavements*. Chicago, IL, EUA, 1966.

PCA. *Thickness design for concrete highway and street pavements*. Skokie, IL, EUA, 1984.

PEREIRA, D. S. *Estudo de gradientes térmicos e deformações em whitetopping ultradelgado*. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2001.

PEREIRA, D. S. *Estudo do comportamento de pavimentos de concreto simples em condições de aderência entre placa de concreto e base cimentada ou asfáltica*. Tese (doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2003.

PEREIRA, D. S.; SALLES, L. S.; BRITTO, F. C. M.; SANZ, D. S. G.; KHAZANOVICH, L.; HOEGH, K. "*Avaliação da relação entre variação de espessura da placa de concreto e presença de defeitos em pavimentos de concreto*". Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Revista Transportes. V. 26, nº 4. Rio de Janeiro, 2018.

PMSP. IP 07 – *Dimensionamento de Pavimentos de Concreto*. São Paulo, SP, 2004.

RAHIMINEZHAD, S.; ZOKAEI, M.. "Finite-element investigation of vehicle speed effects on jointed concrete pavement". *Journal of Engineering and applied sciences*. Dubai, Emirados Árabes Unidos, 2016.

RANGEL, G. W. A. *Um método para a estimativa de deflexões do pavimento ferroviário lastreado*. Tese (doutorado). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2017.

RODOLFO, M. P.; BALBO, J. T. "Modelagem de tensões em pavimentos de concreto submetidos a gradientes térmicos e cargas rodoviárias". *XIV Congresso de pesquisa e ensino em transporte - ANPET*, Gramado, RS, 2000.

RODOLFO M. P.; BALBO J. T. *Modelagem de Tensões em Pavimentos de Concreto Submetidos a Gradientes Térmicos e Cargas Rodoviárias*. Transporte em Transformação Confederação Nacional dos Transportes e MAKRON Books, São Paulo, SP, 2002.

RODOLFO, M. P. e BALBO J. T. *Novo critério de dimensionamento de pavimentos de concreto simples para as cargas ambientais e do tráfego*. Revista Pavimentação. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

RODOLFO, M. P. e BALBO J. T. *Modelos para dimensionamento de pavimentos de concreto simples submetidos a carregamentos rodoviários e ambientais empregando análise multivariada de dados*. Revista Pavimentação. Rio de Janeiro, RJ, 2010.

RUFINO, D. M. S. *Estudo dos procedimentos de dimensionamento e dos novos programas de análise de tensões em pavimentos de concreto*. Dissertação (mestrado). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

SADEGHI, V.; HESAMI S. *Investigation of load transfer efficiency in jointed plain concrete pavements (JPCP) using FEM*. International Journal of Pavement Research and Technology, China, 2017.

SARGAND, S. M.; *Development of an instrumentation plan for the Ohio SPS Test Pavement*. Final Report. Ohio University. Ohio, EUA, 1994.

SARGAND, S. M.; BEEGLE D. I. *Three-dimensional finite element software development and verification case study*. First National Symposium on 3D Finite Element Modeling for Pavement Analysis and Design, Charleston, SC, EUA, 1998.

SEVERI, A. A. *Estudo dos gradientes térmicos em pavimentos de concreto de cimento Portland no ambiente tropical*. Tese (doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

SILVA, P. D. E. A. *Estudo do Reforço de Concreto de Cimento Portland (Whitetopping) na Pista Circular Experimental do Instituto de Pesquisas Rodoviárias*. Tese (doutorado). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2001.

ANEXO I – RELATÓRIOS DAS ANÁLISES DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES GERADOS PELO ABAQUS

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:43:19 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Placa - 15 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1

   Element Label            Int          E.E11          E.E22          E.E33          S.S11          S.S22          S.S33
                             Pt        @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
            9429              1    39.7875E-06   -5.05731E-06   -11.2661E-06    1.16910E+06       -764.604   -162.732E+03
            9429              2    40.2827E-06   -4.74683E-06   -10.7324E-06    1.18951E+06    14.8231E+03   -141.321E+03
            9429              3    39.7876E-06   -5.05731E-06   -11.2660E-06    1.16910E+06       -763.200   -162.729E+03
            9429              4    40.2826E-06   -4.74665E-06   -10.7322E-06    1.18951E+06    14.8286E+03   -141.317E+03
            9429              5    74.1763E-06   -10.2719E-06   -14.5440E-06    2.21096E+06    7.96504E+03   -103.481E+03
            9429              6    74.7395E-06   -9.30277E-06   -13.9936E-06    2.23730E+06    44.8892E+03   -77.4814E+03
            9429              7    74.1764E-06   -10.2718E-06   -14.5440E-06    2.21096E+06    7.96895E+03   -103.479E+03
            9429              8    74.7393E-06   -9.30232E-06   -13.9936E-06    2.23729E+06    44.9025E+03   -77.4781E+03


  Minimum                         39.7875E-06   -10.2719E-06   -14.5440E-06    1.16910E+06       -764.604   -162.732E+03
      At Element                        9429           9429           9429           9429           9429           9429
          Int Pt                           1              5              5              1              1              1

  Maximum                         74.7395E-06   -4.74665E-06   -10.7322E-06    2.23730E+06    44.9025E+03   -77.4781E+03
      At Element                        9429           9429           9429           9429           9429           9429
          Int Pt                           6              4              4              6              8              8

           Total                  457.972E-06   -58.7569E-06   -101.072E-06    13.6137E+06    133.850E+03   -970.018E+03
```

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:44:52 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Placa - 20 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1

   Element Label            Int          E.E11          E.E22          E.E33          S.S11          S.S22          S.S33
                             Pt        @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
           12813              1    34.1712E-06   -4.53829E-06   -8.62699E-06    1.00885E+06       -965.958   -107.628E+03
           12813              2    34.6868E-06   -4.44280E-06   -8.31822E-06    1.02744E+06    6.66753E+03   -94.4303E+03
           12813              3    34.1712E-06   -4.53827E-06   -8.62696E-06    1.00885E+06       -965.077   -107.627E+03
           12813              4    34.6868E-06   -4.44271E-06   -8.31815E-06    1.02744E+06    6.67068E+03   -94.4278E+03
           12813              5    52.2700E-06   -7.31018E-06   -10.0609E-06    1.55865E+06    4.38696E+03   -67.3698E+03
           12813              6    52.8340E-06   -6.88021E-06   -9.75283E-06    1.58064E+06    22.8821E+03   -52.0561E+03
           12813              7    52.2700E-06   -7.31012E-06   -10.0608E-06    1.55865E+06    4.38918E+03   -67.3683E+03
           12813              8    52.8340E-06   -6.87998E-06   -9.75279E-06    1.58064E+06    22.8890E+03   -52.0537E+03


  Minimum                         34.1712E-06   -7.31018E-06   -10.0609E-06    1.00885E+06       -965.958   -107.628E+03
      At Element                       12813          12813          12813          12813          12813          12813
          Int Pt                           1              5              5              1              1              1

  Maximum                         52.8340E-06   -4.44271E-06   -8.31815E-06    1.58064E+06    22.8890E+03   -52.0537E+03
      At Element                       12813          12813          12813          12813          12813          12813
          Int Pt                           6              4              4              6              8              8

           Total                  347.924E-06   -46.3426E-06   -73.5176E-06    10.3512E+06    65.9544E+03   -642.960E+03
```

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:46:48 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Placa - 25 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
16197	1	27.8922E-06	-3.78346E-06	-6.61842E-06	825.395E+03	-926.923	-74.8823E+03
16197	2	28.3494E-06	-3.77839E-06	-6.43232E-06	840.946E+03	2.82970E+03	-66.4031E+03
16197	3	27.8922E-06	-3.78345E-06	-6.61840E-06	825.395E+03	-926.377	-74.8817E+03
16197	4	28.3494E-06	-3.77835E-06	-6.43227E-06	840.947E+03	2.83146E+03	-66.4013E+03
16197	5	38.7625E-06	-5.44996E-06	-7.39617E-06	1.15607E+06	2.70152E+03	-48.0691E+03
16197	6	39.2497E-06	-5.23631E-06	-7.20571E-06	1.17376E+06	13.2570E+03	-38.1185E+03
16197	7	38.7626E-06	-5.44992E-06	-7.39615E-06	1.15607E+06	2.70291E+03	-48.0682E+03
16197	8	39.2496E-06	-5.23618E-06	-7.20568E-06	1.17376E+06	13.2611E+03	-38.1170E+03
Minimum		27.8922E-06	-5.44996E-06	-7.39617E-06	825.395E+03	-926.923	-74.8823E+03
At Element		16197	16197	16197	16197	16197	16197
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		39.2497E-06	-3.77835E-06	-6.43227E-06	1.17376E+06	13.2611E+03	-38.1170E+03
At Element		16197	16197	16197	16197	16197	16197
Int Pt		6	4	4	8	8	8
Total		268.508E-06	-36.4960E-06	-55.3051E-06	7.99235E+06	35.7305E+03	-454.941E+03

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:00:47 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub-base Granular - 15 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.2365E-06	-4.56149E-06	-8.57035E-06	1.01110E+06	-1.01922E+03	-105.598E+03
12813	2	34.7560E-06	-4.46755E-06	-8.26399E-06	1.02980E+06	6.57306E+03	-92.4646E+03
12813	3	34.2365E-06	-4.56147E-06	-8.57033E-06	1.01110E+06	-1.01832E+03	-105.597E+03
12813	4	34.7559E-06	-4.46746E-06	-8.26393E-06	1.02980E+06	6.57621E+03	-92.4621E+03
12813	5	52.3788E-06	-7.33671E-06	-10.0074E-06	1.56225E+06	4.45329E+03	-65.2176E+03
12813	6	52.9468E-06	-6.90476E-06	-9.69941E-06	1.58438E+06	23.0334E+03	-49.8706E+03
12813	7	52.3788E-06	-7.33665E-06	-10.0074E-06	1.56225E+06	4.45552E+03	-65.2161E+03
12813	8	52.9467E-06	-6.90453E-06	-9.69936E-06	1.58438E+06	23.0404E+03	-49.8682E+03
Minimum		34.2365E-06	-7.33671E-06	-10.0074E-06	1.01110E+06	-1.01922E+03	-105.598E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.9468E-06	-4.46746E-06	-8.26393E-06	1.58438E+06	23.0404E+03	-49.8682E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		348.636E-06	-46.5406E-06	-73.0822E-06	10.3750E+06	66.0944E+03	-626.295E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:16:53 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub-base Granular - 20 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.1712E-06	-4.53829E-06	-8.62699E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
12813	2	34.6868E-06	-4.44280E-06	-8.31822E-06	1.02744E+06	6.66753E+03	-94.4303E+03
12813	3	34.1712E-06	-4.53827E-06	-8.62696E-06	1.00885E+06	-965.077	-107.627E+03
12813	4	34.6868E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.02744E+06	6.67068E+03	-94.4278E+03
12813	5	52.2700E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.55865E+06	4.38696E+03	-67.3698E+03
12813	6	52.8340E-06	-6.88021E-06	-9.75283E-06	1.58064E+06	22.8821E+03	-52.0561E+03
12813	7	52.2700E-06	-7.31012E-06	-10.0608E-06	1.55865E+06	4.38918E+03	-67.3683E+03
12813	8	52.8340E-06	-6.87998E-06	-9.75279E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
Minimum		34.1712E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.8340E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		347.924E-06	-46.3426E-06	-73.5176E-06	10.3512E+06	65.9544E+03	-642.960E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:18:27 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub-base Granular - 25 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.0783E-06	-4.51418E-06	-8.66378E-06	1.00583E+06	-927.083	-109.178E+03
12813	2	34.5903E-06	-4.41774E-06	-8.35612E-06	1.02431E+06	6.70977E+03	-96.0306E+03
12813	3	34.0783E-06	-4.51416E-06	-8.66375E-06	1.00583E+06	-926.212	-109.177E+03
12813	4	34.5902E-06	-4.41764E-06	-8.35605E-06	1.02431E+06	6.71291E+03	-96.0281E+03
12813	5	52.1210E-06	-7.28038E-06	-10.0921E-06	1.55392E+06	4.32334E+03	-69.0249E+03
12813	6	52.6811E-06	-6.85283E-06	-9.78667E-06	1.57577E+06	22.7054E+03	-53.8296E+03
12813	7	52.1210E-06	-7.28032E-06	-10.0920E-06	1.55393E+06	4.32556E+03	-69.0234E+03
12813	8	52.6811E-06	-6.85261E-06	-9.78663E-06	1.57576E+06	22.7123E+03	-53.8272E+03
Minimum		34.0783E-06	-7.28038E-06	-10.0921E-06	1.00583E+06	-927.083	-109.178E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.6811E-06	-4.41764E-06	-8.35605E-06	1.57577E+06	22.7123E+03	-53.8272E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		346.941E-06	-46.1299E-06	-73.7971E-06	10.3197E+06	65.6359E+03	-656.118E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:51:38 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub-base Cimentada Não Aderida - 15 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	29.0090E-06	-2.62003E-06	-16.1502E-06	813.992E+03	-11.1133E+03	-364.074E+03
12813	2	29.3395E-06	-3.04508E-06	-11.6530E-06	847.224E+03	2.40937E+03	-222.146E+03
12813	3	29.0090E-06	-2.62007E-06	-16.1499E-06	813.994E+03	-11.1129E+03	-364.066E+03
12813	4	29.3395E-06	-3.04503E-06	-11.6523E-06	847.228E+03	2.41473E+03	-222.123E+03
12813	5	43.9387E-06	-3.87945E-06	-18.9072E-06	1.26447E+06	17.0385E+03	-374.989E+03
12813	6	44.3312E-06	-3.40273E-06	-13.0255E-06	1.31244E+06	67.2120E+03	-183.817E+03
12813	7	43.9387E-06	-3.87941E-06	-18.9068E-06	1.26447E+06	17.0424E+03	-374.975E+03
12813	8	44.3311E-06	-3.40243E-06	-13.0250E-06	1.31245E+06	67.2241E+03	-183.799E+03
Minimum		29.0090E-06	-3.87945E-06	-18.9072E-06	813.992E+03	-11.1133E+03	-374.989E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	5
Maximum		44.3312E-06	-2.62003E-06	-11.6523E-06	1.31245E+06	67.2241E+03	-183.799E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	1	4	8	8	8
Total		293.237E-06	-25.8942E-06	-119.470E-06	8.47627E+06	151.115E+03	-2.28999E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:53:57 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub-base Cimentada Não Aderida - 20 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	26.3223E-06	-2.13676E-06	-15.6497E-06	734.383E+03	-8.02618E+03	-360.539E+03
12813	2	26.5898E-06	-2.43775E-06	-11.9591E-06	761.806E+03	4.56598E+03	-243.816E+03
12813	3	26.3223E-06	-2.13679E-06	-15.6495E-06	734.384E+03	-8.02582E+03	-360.532E+03
12813	4	26.5898E-06	-2.43769E-06	-11.9585E-06	761.808E+03	4.57080E+03	-243.798E+03
12813	5	39.7291E-06	-3.43915E-06	-17.9133E-06	1.13914E+06	13.0096E+03	-364.577E+03
12813	6	40.0518E-06	-3.03804E-06	-13.1695E-06	1.17812E+06	54.0372E+03	-210.263E+03
12813	7	39.7291E-06	-3.43911E-06	-17.9130E-06	1.13914E+06	13.0128E+03	-364.566E+03
12813	8	40.0517E-06	-3.03778E-06	-13.1691E-06	1.17812E+06	54.0475E+03	-210.248E+03
Minimum		26.3223E-06	-3.43915E-06	-17.9133E-06	734.383E+03	-8.02618E+03	-364.577E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	5
Maximum		40.0518E-06	-2.13676E-06	-11.9585E-06	1.17812E+06	54.0475E+03	-210.248E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	1	4	8	8	8
Total		265.386E-06	-22.1031E-06	-117.382E-06	7.62690E+06	127.192E+03	-2.35834E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:55:47 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub-base Cimentada Não Aderida - 25 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1

   Element Label            Int          E.E11          E.E22          E.E33          S.S11          S.S22          S.S33
                             Pt         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
          12813              1     23.7743E-06    -1.77448E-06    -14.8082E-06     660.401E+03    -6.08909E+03    -346.100E+03
          12813              2     23.9949E-06    -1.99695E-06    -11.8104E-06     682.902E+03     4.85448E+03    -251.148E+03
          12813              3     23.7743E-06    -1.77450E-06    -14.8080E-06     660.402E+03    -6.08879E+03    -346.094E+03
          12813              4     23.9948E-06    -1.99690E-06    -11.8099E-06     682.904E+03     4.85861E+03    -251.132E+03
          12813              5     35.7804E-06    -3.05587E-06    -16.6492E-06     1.02326E+06     10.1437E+03    -344.465E+03
          12813              6     36.0508E-06    -2.71939E-06    -12.8284E-06     1.05507E+06     43.6724E+03    -220.042E+03
          12813              7     35.7804E-06    -3.05583E-06    -16.6489E-06     1.02327E+06     10.1464E+03    -344.456E+03
          12813              8     36.0508E-06    -2.71917E-06    -12.8281E-06     1.05507E+06     43.6810E+03    -220.030E+03


  Minimum                          23.7743E-06    -3.05587E-06    -16.6492E-06     660.401E+03    -6.08909E+03    -346.100E+03
      At Element                         12813          12813          12813          12813          12813          12813
          Int Pt                             1              5              5              1              1              1

  Maximum                          36.0508E-06    -1.77448E-06    -11.8099E-06     1.05507E+06     43.6810E+03    -220.030E+03
      At Element                         12813          12813          12813          12813          12813          12813
          Int Pt                             6              1              4              8              8              8

          Total                   239.201E-06    -19.0931E-06    -112.191E-06     6.84328E+06     105.179E+03    -2.32347E+06
```

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:19:57 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub_-base Cimentada Aderida_15 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1

   Element Label            Int          E.E11          E.E22          E.E33          S.S11          S.S22          S.S33
                             Pt         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1         @Loc 1
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
          12813              1     670.884E-09     534.286E-09    -13.7256E-06    -52.4887E+03    -56.0522E+03    -428.050E+03
          12813              2     1.21216E-06    -196.792E-09    -6.32546E-06     1.93798E+03    -34.8174E+03    -194.696E+03
          12813              3     670.968E-09     534.524E-09    -13.7251E-06    -52.4816E+03    -56.0410E+03    -428.030E+03
          12813              4     1.21243E-06    -196.457E-09    -6.32500E-06     1.95066E+03    -34.8028E+03    -194.678E+03
          12813              5     3.40268E-06     7.08036E-06    -12.3007E-06     78.6048E+03     174.544E+03    -331.049E+03
          12813              6     7.23325E-06     4.04336E-06    -5.81901E-06     219.202E+03     135.987E+03    -121.292E+03
          12813              7     3.40257E-06     7.08031E-06    -12.3004E-06     78.6025E+03     174.544E+03    -331.040E+03
          12813              8     7.23358E-06     4.04353E-06    -5.81844E-06     219.217E+03     135.998E+03    -121.271E+03


  Minimum                          670.884E-09    -196.792E-09    -13.7256E-06    -52.4887E+03    -56.0522E+03    -428.050E+03
      At Element                         12813          12813          12813          12813          12813          12813
          Int Pt                             1              2              1              1              1              1

  Maximum                          7.23358E-06     7.08036E-06    -5.81844E-06     219.217E+03     174.544E+03    -121.271E+03
      At Element                         12813          12813          12813          12813          12813          12813
          Int Pt                             8              5              8              8              5              8

          Total                   25.0385E-06     22.9231E-06    -76.3397E-06     494.544E+03     439.359E+03    -2.15011E+06
```

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:48:56 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub-base Cimentada Aderida - 20 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	556.747E-09	1.12324E-06	-12.1708E-06	-44.1203E+03	-29.3423E+03	-376.142E+03
12813	2	972.383E-09	370.093E-09	-7.42048E-06	-8.60990E+03	-24.3218E+03	-227.554E+03
12813	3	556.804E-09	1.12335E-06	-12.1704E-06	-44.1161E+03	-29.3365E+03	-376.131E+03
12813	4	972.606E-09	370.213E-09	-7.42006E-06	-8.59984E+03	-24.3144E+03	-227.539E+03
12813	5	2.96571E-06	3.18345E-06	-10.9013E-06	50.8015E+03	56.4818E+03	-310.946E+03
12813	6	6.26411E-06	1.36791E-06	-6.40362E-06	170.278E+03	42.5516E+03	-160.184E+03
12813	7	2.96559E-06	3.18335E-06	-10.9011E-06	50.7986E+03	56.4793E+03	-310.940E+03
12813	8	6.26437E-06	1.36807E-06	-6.40318E-06	170.290E+03	42.5605E+03	-160.168E+03
Minimum		556.747E-09	370.093E-09	-12.1708E-06	-44.1203E+03	-29.3423E+03	-376.142E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	2	1	1	1	1
Maximum		6.26437E-06	3.18345E-06	-6.40318E-06	170.290E+03	56.4818E+03	-160.168E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		8	5	8	8	5	8
Total		21.5183E-06	12.0897E-06	-73.7909E-06	336.722E+03	90.7582E+03	-2.14961E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:50:26 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Espessura da Sub-base Cimentada Aderida - 25 cm.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	618.404E-09	1.48439E-06	-11.1379E-06	-34.3745E+03	-11.7837E+03	-341.061E+03
12813	2	957.031E-09	717.781E-09	-8.13799E-06	-11.1635E+03	-17.4048E+03	-248.425E+03
12813	3	618.443E-09	1.48442E-06	-11.1377E-06	-34.3722E+03	-11.7815E+03	-341.055E+03
12813	4	957.232E-09	717.754E-09	-8.13759E-06	-11.1551E+03	-17.4024E+03	-248.411E+03
12813	5	2.73891E-06	659.966E-09	-9.95099E-06	34.8230E+03	-19.4103E+03	-296.218E+03
12813	6	5.71303E-06	-372.323E-09	-6.79371E-06	140.913E+03	-17.8352E+03	-185.350E+03
12813	7	2.73879E-06	659.831E-09	-9.95082E-06	34.8195E+03	-19.4143E+03	-296.214E+03
12813	8	5.71326E-06	-372.160E-09	-6.79335E-06	140.923E+03	-17.8267E+03	-185.336E+03
Minimum		618.404E-09	-372.323E-09	-11.1379E-06	-34.3745E+03	-19.4143E+03	-341.061E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	6	1	1	7	1
Maximum		5.71326E-06	1.48442E-06	-6.79335E-06	140.923E+03	-11.7815E+03	-185.336E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		8	3	8	8	3	8
Total		20.0551E-06	4.97966E-06	-72.0401E-06	260.414E+03	-132.859E+03	-2.14207E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:21:59 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade do Concreto - 20 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	46.6531E-06	-6.01931E-06	-12.8858E-06	914.766E+03	-1.27521E+03	-120.693E+03
12813	2	47.3800E-06	-5.90036E-06	-12.2504E-06	932.929E+03	6.31388E+03	-104.122E+03
12813	3	46.6531E-06	-6.01928E-06	-12.8858E-06	914.767E+03	-1.27436E+03	-120.692E+03
12813	4	47.3800E-06	-5.90022E-06	-12.2503E-06	932.929E+03	6.31700E+03	-104.119E+03
12813	5	71.4715E-06	-9.77903E-06	-14.7660E-06	1.41786E+06	4.81135E+03	-81.9177E+03
12813	6	72.2705E-06	-9.14513E-06	-14.0940E-06	1.43960E+06	23.6799E+03	-62.3869E+03
12813	7	71.4716E-06	-9.77895E-06	-14.7659E-06	1.41787E+06	4.81358E+03	-81.9159E+03
12813	8	72.2704E-06	-9.14481E-06	-14.0939E-06	1.43960E+06	23.6867E+03	-62.3843E+03
Minimum		46.6531E-06	-9.77903E-06	-14.7660E-06	914.766E+03	-1.27521E+03	-120.693E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		72.2705E-06	-5.90022E-06	-12.2503E-06	1.43960E+06	23.6867E+03	-62.3843E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		475.550E-06	-61.6871E-06	-107.992E-06	9.41033E+06	67.0728E+03	-738.232E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:23:05 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade do Concreto - 25 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	39.3349E-06	-5.16238E-06	-10.3170E-06	966.235E+03	-1.09761E+03	-113.156E+03
12813	2	39.9378E-06	-5.05624E-06	-9.88838E-06	984.641E+03	6.50953E+03	-98.5370E+03
12813	3	39.3349E-06	-5.16236E-06	-10.3170E-06	966.236E+03	-1.09674E+03	-113.154E+03
12813	4	39.9378E-06	-5.05613E-06	-9.88829E-06	984.641E+03	6.51267E+03	-98.5342E+03
12813	5	60.2111E-06	-8.34586E-06	-11.9383E-06	1.49493E+06	4.56325E+03	-73.5335E+03
12813	6	60.8718E-06	-7.83401E-06	-11.4975E-06	1.51681E+06	23.2061E+03	-56.4356E+03
12813	7	60.2111E-06	-8.34579E-06	-11.9383E-06	1.49493E+06	4.56548E+03	-73.5318E+03
12813	8	60.8717E-06	-7.83375E-06	-11.4975E-06	1.51681E+06	23.2129E+03	-56.4331E+03
Minimum		39.3349E-06	-8.34586E-06	-11.9383E-06	966.235E+03	-1.09761E+03	-113.156E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		60.8718E-06	-5.05613E-06	-9.88829E-06	1.51681E+06	23.2129E+03	-56.4331E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		400.711E-06	-52.7965E-06	-87.2823E-06	9.92524E+06	66.3756E+03	-683.315E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:24:08 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade do Concreto - 30 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.1712E-06	-7.53829E-06	-8.62699E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
12813	2	34.6868E-06	-4.44280E-06	-8.31822E-06	1.02744E+06	6.66753E+03	-94.4303E+03
12813	3	34.1712E-06	-4.53827E-06	-8.62696E-06	1.00885E+06	-965.077	-107.627E+03
12813	4	34.6868E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.02744E+06	6.67068E+03	-94.4278E+03
12813	5	52.2700E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.55865E+06	4.38696E+03	-67.3698E+03
12813	6	52.8340E-06	-6.88021E-06	-9.75283E-06	1.58064E+06	22.8821E+03	-52.0561E+03
12813	7	52.2700E-06	-7.31012E-06	-10.0608E-06	1.55865E+06	4.38918E+03	-67.3683E+03
12813	8	52.8340E-06	-6.87998E-06	-9.75279E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
Minimum		34.1712E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.8340E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		347.924E-06	-46.3426E-06	-73.5176E-06	10.3512E+06	65.9544E+03	-642.960E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:18:11 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Granular - 150 MPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.5346E-06	-4.62134E-06	-8.48509E-06	1.02069E+06	-771.954	-101.566E+03
12813	2	35.0565E-06	-4.51638E-06	-8.25892E-06	1.03907E+06	6.73488E+03	-90.8966E+03
12813	3	34.5346E-06	-4.62131E-06	-8.48507E-06	1.02069E+06	-771.062	-101.565E+03
12813	4	35.0565E-06	-4.51629E-06	-8.25887E-06	1.03907E+06	6.73799E+03	-90.8945E+03
12813	5	52.8286E-06	-7.44295E-06	-9.91224E-06	1.57643E+06	4.13445E+03	-60.2818E+03
12813	6	53.3988E-06	-7.01320E-06	-9.71180E-06	1.59802E+06	22.0556E+03	-48.3428E+03
12813	7	52.8286E-06	-7.44289E-06	-9.91222E-06	1.57644E+06	4.13665E+03	-60.2806E+03
12813	8	53.3987E-06	-7.01297E-06	-9.71177E-06	1.59802E+06	22.0625E+03	-48.3408E+03
Minimum		34.5346E-06	-7.44295E-06	-9.91224E-06	1.02069E+06	-771.954	-101.566E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		53.3988E-06	-4.51629E-06	-8.25887E-06	1.59802E+06	22.0625E+03	-48.3408E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		351.637E-06	-47.1873E-06	-72.7360E-06	10.4684E+06	64.3190E+03	-602.167E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:19:25 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Granular - 200 MPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.1712E-06	-4.53829E-06	-8.62699E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
12813	2	34.6868E-06	-4.44280E-06	-8.31822E-06	1.02744E+06	6.66753E+03	-94.4303E+03
12813	3	34.1712E-06	-4.53827E-06	-8.62696E-06	1.00885E+06	-965.077	-107.627E+03
12813	4	34.6868E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.02744E+06	6.67068E+03	-94.4278E+03
12813	5	52.2700E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.55865E+06	4.38696E+03	-67.3698E+03
12813	6	52.8340E-06	-6.88021E-06	-9.75283E-06	1.58064E+06	22.8821E+03	-52.0561E+03
12813	7	52.2700E-06	-7.31012E-06	-10.0608E-06	1.55865E+06	4.38918E+03	-67.3683E+03
12813	8	52.8340E-06	-6.87998E-06	-9.75279E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
Minimum		34.1712E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.8340E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		347.924E-06	-46.3426E-06	-73.5176E-06	10.3512E+06	65.9544E+03	-642.960E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:20:36 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Granular -300 MPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	33.6931E-06	-4.41494E-06	-8.91451E-06	992.783E+03	-1.33841E+03	-118.719E+03
12813	2	34.1986E-06	-4.33749E-06	-8.44752E-06	1.01184E+06	6.55143E+03	-100.667E+03
12813	3	33.6931E-06	-4.41492E-06	-8.91448E-06	992.784E+03	-1.33755E+03	-118.717E+03
12813	4	34.1986E-06	-4.33740E-06	-8.44742E-06	1.01184E+06	6.55467E+03	-100.663E+03
12813	5	51.5276E-06	-7.10805E-06	-10.3768E-06	1.53450E+06	4.87373E+03	-80.3986E+03
12813	6	52.0819E-06	-6.67674E-06	-9.86215E-06	1.55735E+06	24.5117E+03	-58.5861E+03
12813	7	51.5277E-06	-7.10799E-06	-10.3768E-06	1.53450E+06	4.87601E+03	-80.3967E+03
12813	8	52.0818E-06	-6.67651E-06	-9.86209E-06	1.55734E+06	24.5188E+03	-58.5832E+03
Minimum		33.6931E-06	-7.10805E-06	-10.3768E-06	992.783E+03	-1.33841E+03	-118.719E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.0819E-06	-4.33740E-06	-8.44742E-06	1.55735E+06	24.5188E+03	-58.5832E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		343.002E-06	-45.0740E-06	-75.2018E-06	10.1929E+06	69.2105E+03	-716.730E+03

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:16:46 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada Não Aderida - 5 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	26.3223E-06	-2.13676E-06	-15.6497E-06	734.383E+03	-8.02618E+03	-360.539E+03
12813	2	26.5898E-06	-2.43775E-06	-11.9591E-06	761.806E+03	4.56598E+03	-243.816E+03
12813	3	26.3223E-06	-2.13679E-06	-15.6495E-06	734.384E+03	-8.02582E+03	-360.532E+03
12813	4	26.5898E-06	-2.43769E-06	-11.9585E-06	761.808E+03	4.57080E+03	-243.798E+03
12813	5	39.7291E-06	-3.43915E-06	-17.9133E-06	1.13914E+06	13.0096E+03	-364.577E+03
12813	6	40.0518E-06	-3.03804E-06	-13.1695E-06	1.17812E+06	54.0372E+03	-210.263E+03
12813	7	39.7291E-06	-3.43911E-06	-17.9130E-06	1.13914E+06	13.0128E+03	-364.566E+03
12813	8	40.0517E-06	-3.03778E-06	-13.1691E-06	1.17812E+06	54.0475E+03	-210.248E+03
Minimum		26.3223E-06	-3.43915E-06	-17.9133E-06	734.383E+03	-8.02618E+03	-364.577E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	5
Maximum		40.0518E-06	-2.13676E-06	-11.9585E-06	1.17812E+06	54.0475E+03	-210.248E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	1	4	8	8	8
Total		265.386E-06	-22.1031E-06	-117.382E-06	7.62690E+06	127.192E+03	-2.35834E+06

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:14:02 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada Não Aderida - 10 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	22.1853E-06	-1.11255E-06	-17.3880E-06	599.346E+03	-8.42501E+03	-433.003E+03
12813	2	22.3221E-06	-1.48536E-06	-13.1738E-06	625.151E+03	4.08775E+03	-300.827E+03
12813	3	22.1853E-06	-1.11259E-06	-17.3878E-06	599.347E+03	-8.42487E+03	-432.996E+03
12813	4	22.3220E-06	-1.48533E-06	-13.1731E-06	625.154E+03	4.09244E+03	-300.806E+03
12813	5	33.0693E-06	-1.96523E-06	-19.6177E-06	926.886E+03	12.9426E+03	-447.557E+03
12813	6	33.2593E-06	-1.64588E-06	-14.1993E-06	964.981E+03	54.4104E+03	-273.070E+03
12813	7	33.0693E-06	-1.96520E-06	-19.6173E-06	926.889E+03	12.9456E+03	-447.544E+03
12813	8	33.2593E-06	-1.64564E-06	-14.1988E-06	964.983E+03	54.4203E+03	-273.052E+03
Minimum		22.1853E-06	-1.96523E-06	-19.6177E-06	599.346E+03	-8.42501E+03	-447.557E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	5
Maximum		33.2593E-06	-1.11255E-06	-13.1731E-06	964.983E+03	54.4203E+03	-273.052E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	1	4	8	8	8
Total		221.672E-06	-12.4178E-06	-128.756E-06	6.23274E+06	126.049E+03	-2.90885E+06

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:15:22 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada Não Aderida - 15 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	19.4771E-06	-545.281E-09	-17.7519E-06	514.694E+03	-7.62900E+03	-456.498E+03
12813	2	19.5325E-06	-913.389E-09	-13.6496E-06	537.324E+03	3.95224E+03	-328.298E+03
12813	3	19.4771E-06	-545.323E-09	-17.7517E-06	514.696E+03	-7.62896E+03	-456.491E+03
12813	4	19.5325E-06	-913.365E-09	-13.6490E-06	537.327E+03	3.95651E+03	-328.277E+03
12813	5	28.7023E-06	-1.20874E-06	-19.7787E-06	791.882E+03	11.5943E+03	-472.838E+03
12813	6	28.8083E-06	-954.677E-09	-14.5264E-06	826.020E+03	49.5951E+03	-304.450E+03
12813	7	28.7023E-06	-1.20873E-06	-19.7783E-06	791.884E+03	11.5970E+03	-472.826E+03
12813	8	28.8082E-06	-954.473E-09	-14.5259E-06	826.021E+03	49.6041E+03	-304.433E+03
Minimum		19.4771E-06	-1.20874E-06	-19.7787E-06	514.694E+03	-7.62900E+03	-472.838E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		3	5	5	1	1	5
Maximum		28.8083E-06	-545.281E-09	-13.6490E-06	826.021E+03	49.6041E+03	-304.433E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	1	4	8	8	8
Total		193.040E-06	-7.24398E-06	-131.411E-06	5.33985E+06	115.041E+03	-3.12411E+06

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:12:31 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada Aderida - 5 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	556.747E-09	1.12324E-06	-12.1708E-06	-44.1203E+03	-29.3423E+03	-376.142E+03
12813	2	972.383E-09	370.093E-09	-7.42048E-06	-8.60990E+03	-24.3218E+03	-227.554E+03
12813	3	556.804E-09	1.12335E-06	-12.1704E-06	-44.1161E+03	-29.3365E+03	-376.131E+03
12813	4	972.606E-09	370.213E-09	-7.42006E-06	-8.59984E+03	-24.3144E+03	-227.539E+03
12813	5	2.96571E-06	3.18345E-06	-10.9013E-06	50.8015E+03	56.4818E+03	-310.946E+03
12813	6	6.26411E-06	1.36791E-06	-6.40362E-06	170.278E+03	42.5516E+03	-160.184E+03
12813	7	2.96559E-06	3.18335E-06	-10.9011E-06	50.7986E+03	56.4793E+03	-310.940E+03
12813	8	6.26437E-06	1.36807E-06	-6.40318E-06	170.290E+03	42.5605E+03	-160.168E+03
Minimum		556.747E-09	370.093E-09	-12.1708E-06	-44.1203E+03	-29.3423E+03	-376.142E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	2	1	1	1	1
Maximum		6.26437E-06	3.18345E-06	-6.40318E-06	170.290E+03	56.4818E+03	-160.168E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		8	5	8	8	5	8
Total		21.5183E-06	12.0897E-06	-73.7909E-06	336.722E+03	90.7582E+03	-2.14961E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:06:43 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada Aderida - 10 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	-946.803E-09	2.41982E-06	-11.1142E-06	-78.5942E+03	9.23077E+03	-343.832E+03
12813	2	-855.070E-09	1.50105E-06	-9.65337E-06	-72.6581E+03	-11.1942E+03	-302.179E+03
12813	3	-946.794E-09	2.41970E-06	-11.1143E-06	-78.5948E+03	9.22675E+03	-343.833E+03
12813	4	-854.980E-09	1.50083E-06	-9.65288E-06	-72.6537E+03	-11.1978E+03	-302.164E+03
12813	5	1.06638E-06	-2.97837E-06	-10.8208E-06	-43.3581E+03	-148.873E+03	-353.457E+03
12813	6	2.56049E-06	-2.51478E-06	-7.52967E-06	24.9596E+03	-107.439E+03	-238.262E+03
12813	7	1.06633E-06	-2.97850E-06	-10.8204E-06	-43.3589E+03	-148.876E+03	-353.449E+03
12813	8	2.56060E-06	-2.51472E-06	-7.52929E-06	24.9656E+03	-107.434E+03	-238.249E+03
Minimum		-946.803E-09	-2.97850E-06	-11.1143E-06	-78.5948E+03	-148.876E+03	-353.457E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	7	3	3	7	5
Maximum		2.56060E-06	2.41982E-06	-7.52929E-06	24.9656E+03	9.23077E+03	-238.249E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		8	1	8	8	1	8
Total		3.65016E-06	-3.14498E-06	-78.2349E-06	-339.292E+03	-516.557E+03	-2.47542E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 22:10:48 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Módulo de Elasticidade da Sub-base Cimentada Aderida - 15 GPa.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	-1.55507E-06	2.73904E-06	-11.2243E-06	-96.6930E+03	15.3272E+03	-348.933E+03
12813	2	-1.61682E-06	1.63944E-06	-10.4801E-06	-100.636E+03	-15.6898E+03	-331.852E+03
12813	3	-1.55507E-06	2.73882E-06	-11.2244E-06	-96.6950E+03	15.3197E+03	-348.938E+03
12813	4	-1.61681E-06	1.63913E-06	-10.4796E-06	-100.634E+03	-15.6967E+03	-331.836E+03
12813	5	213.499E-09	-4.82946E-06	-11.7779E-06	-86.0730E+03	-217.628E+03	-398.892E+03
12813	6	862.022E-09	-3.67111E-06	-7.97340E-06	-37.7873E+03	-156.043E+03	-268.277E+03
12813	7	213.471E-09	-4.82962E-06	-11.7775E-06	-86.0725E+03	-217.631E+03	-398.880E+03
12813	8	862.053E-09	-3.67111E-06	-7.97303E-06	-37.7842E+03	-156.041E+03	-268.265E+03
Minimum		-1.61682E-06	-4.82962E-06	-11.7779E-06	-100.636E+03	-217.631E+03	-398.892E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		2	7	5	2	7	5
Maximum		862.053E-09	2.73904E-06	-7.97303E-06	-37.7842E+03	15.3272E+03	-268.265E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		8	1	8	8	1	8
Total		-4.19273E-06	-8.24487E-06	-82.9101E-06	-642.375E+03	-748.083E+03	-2.69587E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:34:14 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Atrito - 0_1.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.3273E-06	-4.56622E-06	-8.60539E-06	1.01376E+06	-857.091	-106.227E+03
12813	2	34.8491E-06	-4.47419E-06	-8.32540E-06	1.03236E+06	6.53982E+03	-93.9263E+03
12813	3	34.3273E-06	-4.56620E-06	-8.60537E-06	1.01376E+06	-856.248	-106.226E+03
12813	4	34.8490E-06	-4.47410E-06	-8.32533E-06	1.03236E+06	6.54289E+03	-93.9238E+03
12813	5	52.4957E-06	-7.36316E-06	-10.0637E-06	1.56549E+06	3.95447E+03	-66.4945E+03
12813	6	53.0655E-06	-6.94828E-06	-9.77125E-06	1.58749E+06	21.9169E+03	-51.7259E+03
12813	7	52.4957E-06	-7.36310E-06	-10.0637E-06	1.56549E+06	3.95667E+03	-66.4931E+03
12813	8	53.0654E-06	-6.94806E-06	-9.77120E-06	1.58749E+06	21.9238E+03	-51.7236E+03
Minimum		34.3273E-06	-7.36316E-06	-10.0637E-06	1.01376E+06	-857.091	-106.227E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		53.0655E-06	-4.47410E-06	-8.32533E-06	1.58749E+06	21.9238E+03	-51.7236E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		349.475E-06	-46.7033E-06	-73.5313E-06	10.3982E+06	63.1211E+03	-636.740E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:36:10 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Atrito - 0_5.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.1712E-06	-4.53829E-06	-8.62699E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
12813	2	34.6868E-06	-4.44280E-06	-8.31822E-06	1.02744E+06	6.66753E+03	-94.4303E+03
12813	3	34.1712E-06	-4.53827E-06	-8.62696E-06	1.00885E+06	-965.077	-107.627E+03
12813	4	34.6868E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.02744E+06	6.67068E+03	-94.4278E+03
12813	5	52.2700E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.55865E+06	4.38696E+03	-67.3698E+03
12813	6	52.8340E-06	-6.88021E-06	-9.75283E-06	1.58064E+06	22.8821E+03	-52.0561E+03
12813	7	52.2700E-06	-7.31012E-06	-10.0608E-06	1.55865E+06	4.38918E+03	-67.3683E+03
12813	8	52.8340E-06	-6.87998E-06	-9.75279E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
Minimum		34.1712E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.8340E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		347.924E-06	-46.3426E-06	-73.5176E-06	10.3512E+06	65.9544E+03	-642.960E+03

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:37:34 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Atrito - 1_0.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	33.9876E-06	-4.50592E-06	-8.64867E-06	1.00309E+06	-1.08779E+03	-109.159E+03
12813	2	34.4973E-06	-4.40689E-06	-8.30834E-06	1.02169E+06	6.80058E+03	-94.9766E+03
12813	3	33.9877E-06	-4.50590E-06	-8.64864E-06	1.00309E+06	-1.08687E+03	-109.158E+03
12813	4	34.4972E-06	-4.40679E-06	-8.30827E-06	1.02169E+06	6.80381E+03	-94.9739E+03
12813	5	52.0098E-06	-7.25011E-06	-10.0559E-06	1.55077E+06	4.86306E+03	-68.3305E+03
12813	6	52.5682E-06	-6.80375E-06	-9.73067E-06	1.57277E+06	23.9416E+03	-52.4128E+03
12813	7	52.0098E-06	-7.25005E-06	-10.0558E-06	1.55077E+06	4.86532E+03	-68.3290E+03
12813	8	52.5681E-06	-6.80353E-06	-9.73063E-06	1.57277E+06	23.9486E+03	-52.4104E+03
Minimum		33.9876E-06	-7.25011E-06	-10.0559E-06	1.00309E+06	-1.08779E+03	-109.159E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.5682E-06	-4.40679E-06	-8.30827E-06	1.57277E+06	23.9486E+03	-52.4104E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		346.126E-06	-45.9330E-06	-73.4869E-06	10.2967E+06	69.0484E+03	-649.751E+03

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:38:50 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Comprimento da placa - 1 m.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
10729	1	34.1868E-06	-4.53673E-06	-8.64031E-06	1.00927E+06	-903.778	-107.954E+03
10729	2	34.7003E-06	-4.44099E-06	-8.32932E-06	1.02781E+06	6.73768E+03	-94.6969E+03
10729	3	33.7657E-06	-4.48464E-06	-8.52615E-06	996.865E+03	-969.329	-106.400E+03
10729	4	34.2703E-06	-4.39290E-06	-8.21429E-06	1.01511E+06	6.50083E+03	-93.1875E+03
10729	5	52.2877E-06	-7.31025E-06	-10.0735E-06	1.55914E+06	4.41288E+03	-67.6723E+03
10729	6	52.8498E-06	-6.87839E-06	-9.76547E-06	1.58109E+06	22.9576E+03	-52.3577E+03
10729	7	51.6134E-06	-7.21364E-06	-9.95992E-06	1.53896E+06	4.33875E+03	-67.3034E+03
10729	8	52.1655E-06	-6.79330E-06	-9.64810E-06	1.56054E+06	22.4834E+03	-51.9897E+03
Minimum		33.7657E-06	-7.31025E-06	-10.0735E-06	996.865E+03	-969.329	-107.954E+03
At Element		10729	10729	10729	10729	10729	10729
Int Pt		3	5	5	3	3	1
Maximum		52.8498E-06	-4.39290E-06	-8.21429E-06	1.58109E+06	22.9576E+03	-51.9897E+03
At Element		10729	10729	10729	10729	10729	10729
Int Pt		6	4	4	6	6	8
Total		345.839E-06	-46.0508E-06	-73.1571E-06	10.2888E+06	65.5580E+03	-641.561E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:40:48 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Comprimento da placa - 5 m.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.1712E-06	-4.53829E-06	-8.62699E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
12813	2	34.6868E-06	-4.44280E-06	-8.31822E-06	1.02744E+06	6.66753E+03	-94.4303E+03
12813	3	34.1712E-06	-4.53827E-06	-8.62696E-06	1.00885E+06	-965.077	-107.627E+03
12813	4	34.6868E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.02744E+06	6.67068E+03	-94.4278E+03
12813	5	52.2700E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.55865E+06	4.38696E+03	-67.3698E+03
12813	6	52.8340E-06	-6.88021E-06	-9.75283E-06	1.58064E+06	22.8821E+03	-52.0561E+03
12813	7	52.2700E-06	-7.31012E-06	-10.0608E-06	1.55865E+06	4.38918E+03	-67.3683E+03
12813	8	52.8340E-06	-6.87998E-06	-9.75279E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
Minimum		34.1712E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.8340E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		347.924E-06	-46.3426E-06	-73.5176E-06	10.3512E+06	65.9544E+03	-642.960E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 14:42:08 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Comprimento da placa - 6 m.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
15337	1	34.2216E-06	-4.54349E-06	-8.63002E-06	1.01040E+06	-865.744	-107.471E+03
15337	2	34.7380E-06	-4.44691E-06	-8.32718E-06	1.02899E+06	6.77298E+03	-94.4514E+03
15337	3	33.8004E-06	-4.49139E-06	-8.51588E-06	997.986E+03	-931.487	-105.918E+03
15337	4	34.3080E-06	-4.39881E-06	-8.21215E-06	1.01628E+06	6.53618E+03	-92.9422E+03
15337	5	52.3450E-06	-7.32433E-06	-10.0669E-06	1.56092E+06	4.32453E+03	-67.2198E+03
15337	6	52.9101E-06	-6.89376E-06	-9.76601E-06	1.58291E+06	22.8045E+03	-52.1238E+03
15337	7	51.6706E-06	-7.22770E-06	-9.95327E-06	1.54073E+06	4.25054E+03	-66.8513E+03
15337	8	52.2257E-06	-6.80864E-06	-9.64864E-06	1.56236E+06	22.3309E+03	-51.7560E+03
Minimum		33.8004E-06	-7.32433E-06	-10.0669E-06	997.986E+03	-931.487	-107.471E+03
At Element		15337	15337	15337	15337	15337	15337
Int Pt		3	5	5	3	3	1
Maximum		52.9101E-06	-4.39881E-06	-8.21215E-06	1.58291E+06	22.8045E+03	-51.7560E+03
At Element		15337	15337	15337	15337	15337	15337
Int Pt		6	4	4	6	6	8
Total		346.219E-06	-46.1350E-06	-73.1200E-06	10.3006E+06	65.2224E+03	-638.734E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 20:54:22 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - 0_000.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.1712E-06	-4.53829E-06	-8.62699E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
12813	2	34.6868E-06	-4.44280E-06	-8.31822E-06	1.02744E+06	6.66753E+03	-94.4303E+03
12813	3	34.1712E-06	-4.53827E-06	-8.62696E-06	1.00885E+06	-965.077	-107.627E+03
12813	4	34.6868E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.02744E+06	6.67068E+03	-94.4278E+03
12813	5	52.2700E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.55865E+06	4.38696E+03	-67.3698E+03
12813	6	52.8340E-06	-6.88021E-06	-9.75283E-06	1.58064E+06	22.8821E+03	-52.0561E+03
12813	7	52.2700E-06	-7.31012E-06	-10.0608E-06	1.55865E+06	4.38918E+03	-67.3683E+03
12813	8	52.8340E-06	-6.87998E-06	-9.75279E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
Minimum		34.1712E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.8340E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		347.924E-06	-46.3426E-06	-73.5176E-06	10.3512E+06	65.9544E+03	-642.960E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 20:56:44 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - 0_050.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6917E+03	-111.106E+03
5530	2	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-437.995	-138.176E+03
5530	3	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6906E+03	-111.107E+03
5530	4	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-438.419	-138.177E+03
5530	5	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
5530	6	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22111E+03	-111.704E+03
5530	7	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2037E+03	-68.5046E+03
5530	8	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22236E+03	-111.705E+03
Minimum		273.344E-06	191.487E-06	187.482E-06	1.70634E+06	-7.22236E+03	-138.177E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		291.891E-06	208.274E-06	203.375E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.26152E-03	1.60020E-03	1.56434E-03	17.3282E+06	76.4725E+03	-858.982E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 20:58:23 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - 0_075.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	254.013E-06	174.486E-06	168.991E-06	2.09527E+06	20.6640E+03	-122.679E+03
5530	2	253.698E-06	174.075E-06	167.841E-06	2.07658E+06	-550.024	-163.173E+03
5530	3	254.013E-06	174.486E-06	168.991E-06	2.09527E+06	20.6627E+03	-122.680E+03
5530	4	253.698E-06	174.075E-06	167.841E-06	2.07658E+06	-550.441	-163.174E+03
5530	5	272.569E-06	151.940E-06	147.591E-06	3.17974E+06	32.8986E+03	-80.5628E+03
5530	6	272.541E-06	150.886E-06	145.865E-06	3.16328E+06	-10.3112E+03	-141.306E+03
5530	7	272.569E-06	151.940E-06	147.591E-06	3.17974E+06	32.8955E+03	-80.5643E+03
5530	8	272.541E-06	150.886E-06	145.865E-06	3.16328E+06	-10.3125E+03	-141.308E+03
Minimum		253.698E-06	150.886E-06	145.865E-06	2.07658E+06	-10.3125E+03	-163.174E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		272.569E-06	174.486E-06	168.991E-06	3.17974E+06	32.8986E+03	-80.5628E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.10564E-03	1.30278E-03	1.26058E-03	21.0297E+06	85.3966E+03	-1.01545E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:22:22 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - 0_000.odb
   Step: Load
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
12813	1	34.1712E-06	-4.53829E-06	-8.62699E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
12813	2	34.6868E-06	-4.44280E-06	-8.31822E-06	1.02744E+06	6.66753E+03	-94.4303E+03
12813	3	34.1712E-06	-4.53827E-06	-8.62696E-06	1.00885E+06	-965.077	-107.627E+03
12813	4	34.6868E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.02744E+06	6.67068E+03	-94.4278E+03
12813	5	52.2700E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.55865E+06	4.38696E+03	-67.3698E+03
12813	6	52.8340E-06	-6.88021E-06	-9.75283E-06	1.58064E+06	22.8821E+03	-52.0561E+03
12813	7	52.2700E-06	-7.31012E-06	-10.0608E-06	1.55865E+06	4.38918E+03	-67.3683E+03
12813	8	52.8340E-06	-6.87998E-06	-9.75279E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
Minimum		34.1712E-06	-7.31018E-06	-10.0609E-06	1.00885E+06	-965.958	-107.628E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		1	5	5	1	1	1
Maximum		52.8340E-06	-4.44271E-06	-8.31815E-06	1.58064E+06	22.8890E+03	-52.0537E+03
At Element		12813	12813	12813	12813	12813	12813
Int Pt		6	4	4	6	8	8
Total		347.924E-06	-46.3426E-06	-73.5176E-06	10.3512E+06	65.9544E+03	-642.960E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:24:14 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - 0_050.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.434E+03	4.17867E+03	-62.9412E+03
5530	2	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	424.358	-41.6608E+03
5530	3	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.436E+03	4.17845E+03	-62.9410E+03
5530	4	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	423.855	-41.6607E+03
5530	5	289.330E-06	274.593E-06	273.002E-06	407.338E+03	22.8787E+03	-18.6190E+03
5530	6	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98566E+03	4.11402E+03
5530	7	289.330E-06	274.592E-06	273.002E-06	407.341E+03	22.8778E+03	-18.6190E+03
5530	8	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98467E+03	4.11425E+03
Minimum		271.987E-06	263.316E-06	260.950E-06	226.623E+03	423.855	-62.9412E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		289.387E-06	274.593E-06	273.820E-06	410.233E+03	22.8787E+03	4.11425E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.24588E-03	2.15080E-03	2.13895E-03	2.55126E+06	70.9321E+03	-238.213E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:26:05 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - 0_075.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	251.594E-06	257.311E-06	255.303E-06	-150.695E+03	-1.56459E+03	-53.9540E+03
5530	2	251.363E-06	257.190E-06	256.584E-06	-151.530E+03	485.498	-15.3313E+03
5530	3	251.594E-06	257.311E-06	255.303E-06	-150.693E+03	-1.56450E+03	-53.9535E+03
5530	4	251.363E-06	257.190E-06	256.584E-06	-151.530E+03	485.061	-15.3308E+03
5530	5	268.383E-06	274.888E-06	274.093E-06	-157.887E+03	11.8090E+03	-8.92662E+03
5530	6	268.452E-06	274.423E-06	275.528E-06	-150.274E+03	5.48514E+03	34.3071E+03
5530	7	268.383E-06	274.888E-06	274.093E-06	-157.884E+03	11.8085E+03	-8.92634E+03
5530	8	268.452E-06	274.423E-06	275.528E-06	-150.274E+03	5.48429E+03	34.3077E+03
Minimum		251.363E-06	257.190E-06	255.303E-06	-157.887E+03	-1.56459E+03	-53.9540E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	5	1	1
Maximum		268.452E-06	274.888E-06	275.528E-06	-150.274E+03	11.8090E+03	34.3077E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	8	5	8
Total		2.07958E-03	2.12762E-03	2.12301E-03	-1.22076E+06	32.4283E+03	-87.8077E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:15:05 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Espessura da Placa - 15 cm.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     18: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
3694	1	278.740E-06	214.341E-06	207.001E-06	1.71221E+06	32.2240E+03	-159.232E+03
3694	2	278.688E-06	213.411E-06	206.437E-06	1.70221E+06	-664.173	-182.610E+03
3694	3	278.740E-06	214.340E-06	207.001E-06	1.71222E+06	32.2218E+03	-159.233E+03
3694	4	278.688E-06	213.411E-06	206.437E-06	1.70221E+06	-664.841	-182.611E+03
3694	5	313.458E-06	192.495E-06	186.248E-06	3.23366E+06	78.1160E+03	-84.8635E+03
3694	6	314.072E-06	190.161E-06	184.858E-06	3.23230E+06	-172.394	-138.509E+03
3694	7	313.458E-06	192.495E-06	186.248E-06	3.23366E+06	78.1113E+03	-84.8652E+03
3694	8	314.072E-06	190.161E-06	184.858E-06	3.23230E+06	-174.856	-138.510E+03
Minimum		278.688E-06	190.161E-06	184.858E-06	1.70221E+06	-664.841	-182.611E+03
At Element		3694	3694	3694	3694	3694	3694
Int Pt		4	8	8	2	4	4
Maximum		314.072E-06	214.341E-06	207.001E-06	3.23366E+06	78.1160E+03	-84.8635E+03
At Element		3694	3694	3694	3694	3694	3694
Int Pt		8	1	1	7	5	5
Total		2.36992E-03	1.62081E-03	1.56909E-03	19.7608E+06	218.997E+03	-1.13043E+06

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:16:58 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Espessura da Placa - 20 cm.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6917E+03	-111.106E+03
5530	2	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-437.995	-138.176E+03
5530	3	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6906E+03	-111.107E+03
5530	4	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-438.419	-138.177E+03
5530	5	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
5530	6	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22111E+03	-111.704E+03
5530	7	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2037E+03	-68.5046E+03
5530	8	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22236E+03	-111.705E+03
Minimum		273.344E-06	191.487E-06	187.482E-06	1.70634E+06	-7.22236E+03	-138.177E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		291.891E-06	208.274E-06	203.375E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.26152E-03	1.60020E-03	1.56434E-03	17.3282E+06	76.4725E+03	-858.982E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:18:02 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Espessura da Placa - 25 cm.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
7366	1	265.411E-06	205.370E-06	201.968E-06	1.57223E+06	5.94886E+03	-82.8039E+03
7366	2	265.006E-06	205.333E-06	201.225E-06	1.55504E+06	-1.64054E+03	-108.809E+03
7366	3	265.411E-06	205.370E-06	201.968E-06	1.57223E+06	5.94806E+03	-82.8048E+03
7366	4	265.006E-06	205.333E-06	201.225E-06	1.55504E+06	-1.64068E+03	-108.809E+03
7366	5	275.675E-06	193.136E-06	190.658E-06	2.16167E+06	8.45910E+03	-56.1873E+03
7366	6	275.416E-06	192.784E-06	189.583E-06	2.14549E+06	-10.1540E+03	-93.6443E+03
7366	7	275.676E-06	193.136E-06	190.658E-06	2.16167E+06	8.45742E+03	-56.1883E+03
7366	8	275.416E-06	192.784E-06	189.583E-06	2.14549E+06	-10.1548E+03	-93.6452E+03
Minimum		265.006E-06	192.784E-06	189.583E-06	1.55504E+06	-10.1548E+03	-108.809E+03
At Element		7366	7366	7366	7366	7366	7366
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		275.676E-06	205.370E-06	201.968E-06	2.16167E+06	8.45910E+03	-56.1873E+03
At Element		7366	7366	7366	7366	7366	7366
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.16302E-03	1.59324E-03	1.56687E-03	14.8689E+06	5.22350E+03	-682.892E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:46:24 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Espessura da Placa - 15 cm.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     18: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
3694	1	277.166E-06	257.359E-06	252.364E-06	530.508E+03	13.8265E+03	-116.486E+03
3694	2	277.149E-06	256.742E-06	253.169E-06	531.031E+03	-1.32142E+03	-94.5324E+03
3694	3	277.166E-06	257.359E-06	252.364E-06	530.510E+03	13.8254E+03	-116.486E+03
3694	4	277.149E-06	256.742E-06	253.169E-06	531.031E+03	-1.32215E+03	-94.5324E+03
3694	5	309.920E-06	271.077E-06	267.492E-06	1.06950E+06	56.1969E+03	-37.3264E+03
3694	6	310.603E-06	269.591E-06	267.989E-06	1.08561E+06	15.7232E+03	-26.0563E+03
3694	7	309.921E-06	271.077E-06	267.492E-06	1.06951E+06	56.1950E+03	-37.3269E+03
3694	8	310.603E-06	269.591E-06	267.989E-06	1.08561E+06	15.7211E+03	-26.0564E+03
Minimum		277.149E-06	256.742E-06	252.364E-06	530.508E+03	-1.32215E+03	-116.486E+03
At Element		3694	3694	3694	3694	3694	3694
Int Pt		4	4	3	1	4	3
Maximum		310.603E-06	271.077E-06	267.989E-06	1.08561E+06	56.1969E+03	-26.0563E+03
At Element		3694	3694	3694	3694	3694	3694
Int Pt		6	5	8	6	5	6
Total		2.34968E-03	2.10954E-03	2.08203E-03	6.43332E+06	168.845E+03	-548.803E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:47:44 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Espessura da Placa - 20 cm.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.434E+03	4.17867E+03	-62.9412E+03
5530	2	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	424.358	-41.6608E+03
5530	3	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.436E+03	4.17845E+03	-62.9410E+03
5530	4	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	423.855	-41.6607E+03
5530	5	289.330E-06	274.593E-06	273.002E-06	407.338E+03	22.8787E+03	-18.6190E+03
5530	6	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98566E+03	4.11402E+03
5530	7	289.330E-06	274.592E-06	273.002E-06	407.341E+03	22.8778E+03	-18.6190E+03
5530	8	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98467E+03	4.11425E+03
Minimum		271.987E-06	263.316E-06	260.950E-06	226.623E+03	423.855	-62.9412E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		289.387E-06	274.593E-06	273.820E-06	410.233E+03	22.8787E+03	4.11425E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.24588E-03	2.15080E-03	2.13895E-03	2.55126E+06	70.9321E+03	-238.213E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:49:04 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Espessura da Placa - 25 cm.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
7366	1	268.711E-06	267.342E-06	266.003E-06	34.2010E+03	-1.52280E+03	-36.4506E+03
7366	2	268.383E-06	267.315E-06	266.791E-06	28.0689E+03	212.442	-13.4670E+03
7366	3	268.711E-06	267.342E-06	266.003E-06	34.2020E+03	-1.52289E+03	-36.4504E+03
7366	4	268.383E-06	267.315E-06	266.791E-06	28.0688E+03	212.233	-13.4667E+03
7366	5	279.712E-06	276.483E-06	275.784E-06	92.5421E+03	8.31243E+03	-9.91968E+03
7366	6	279.540E-06	276.179E-06	276.732E-06	90.7170E+03	3.03982E+03	17.4611E+03
7366	7	279.712E-06	276.483E-06	275.784E-06	92.5437E+03	8.31205E+03	-9.91953E+03
7366	8	279.540E-06	276.179E-06	276.732E-06	90.7169E+03	3.03928E+03	17.4615E+03
Minimum		268.383E-06	267.315E-06	266.003E-06	28.0688E+03	-1.52289E+03	-36.4506E+03
At Element		7366	7366	7366	7366	7366	7366
Int Pt		4	4	3	4	3	1
Maximum		279.712E-06	276.483E-06	276.732E-06	92.5437E+03	8.31243E+03	17.4615E+03
At Element		7366	7366	7366	7366	7366	7366
Int Pt		7	5	8	7	5	8
Total		2.19269E-03	2.17464E-03	2.17062E-03	491.061E+03	20.0826E+03	-84.7513E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:19:28 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Módulo de Elasticidade do Concreto - 20 GPa.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	286.100E-06	206.865E-06	199.460E-06	1.39116E+06	13.1577E+03	-115.624E+03
5530	2	285.654E-06	206.470E-06	198.355E-06	1.37616E+06	-965.849	-142.084E+03
5530	3	286.100E-06	206.865E-06	199.460E-06	1.39116E+06	13.1567E+03	-115.625E+03
5530	4	285.654E-06	206.470E-06	198.355E-06	1.37616E+06	-966.242	-142.084E+03
5530	5	311.125E-06	190.016E-06	184.394E-06	2.13061E+06	24.3636E+03	-73.4102E+03
5530	6	311.087E-06	188.820E-06	182.581E-06	2.11860E+06	-7.77861E+03	-116.290E+03
5530	7	311.125E-06	190.016E-06	184.394E-06	2.13061E+06	24.3611E+03	-73.4113E+03
5530	8	311.087E-06	188.820E-06	182.581E-06	2.11859E+06	-7.77981E+03	-116.291E+03
Minimum		285.654E-06	188.820E-06	182.581E-06	1.37616E+06	-7.77981E+03	-142.084E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		311.125E-06	206.865E-06	199.460E-06	2.13061E+06	24.3636E+03	-73.4102E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.38793E-03	1.58434E-03	1.52958E-03	14.0330E+06	57.5486E+03	-894.819E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:52:14 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Módulo de Elasticidade do Concreto - 25 GPa.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	278.882E-06	207.678E-06	201.787E-06	1.56304E+06	15.1272E+03	-112.942E+03
5530	2	278.518E-06	207.300E-06	200.903E-06	1.54756E+06	-667.301	-139.720E+03
5530	3	278.882E-06	207.678E-06	201.787E-06	1.56304E+06	15.1262E+03	-112.943E+03
5530	4	278.518E-06	207.300E-06	200.903E-06	1.54756E+06	-667.712	-139.720E+03
5530	5	299.962E-06	191.415E-06	186.922E-06	2.38687E+06	27.1650E+03	-70.5048E+03
5530	6	299.935E-06	190.366E-06	185.484E-06	2.37460E+06	-7.35208E+03	-113.475E+03
5530	7	299.962E-06	191.415E-06	186.922E-06	2.38688E+06	27.1624E+03	-70.5060E+03
5530	8	299.935E-06	190.366E-06	185.484E-06	2.37460E+06	-7.35332E+03	-113.476E+03
Minimum		278.518E-06	190.366E-06	185.484E-06	1.54756E+06	-7.35332E+03	-139.720E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		299.962E-06	207.678E-06	201.787E-06	2.38688E+06	27.1650E+03	-70.5048E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.31459E-03	1.59352E-03	1.55019E-03	15.7441E+06	68.5404E+03	-873.286E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Fri Feb 22 08:06:04 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Módulo de Elasticidade do Concreto - 30 GPa.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6917E+03	-111.106E+03
5530	2	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-437.995	-138.176E+03
5530	3	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6906E+03	-111.107E+03
5530	4	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-438.419	-138.177E+03
5530	5	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
5530	6	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22111E+03	-111.704E+03
5530	7	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2037E+03	-68.5046E+03
5530	8	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22236E+03	-111.705E+03
Minimum		273.344E-06	191.487E-06	187.482E-06	1.70634E+06	-7.22236E+03	-138.177E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		291.891E-06	208.274E-06	203.375E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.26152E-03	1.60020E-03	1.56434E-03	17.3282E+06	76.4725E+03	-858.982E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 16:02:43 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Módulo de Elasticidade do Concreto - 20 GPa.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	283.983E-06	262.078E-06	257.663E-06	384.751E+03	3.79027E+03	-72.9934E+03
5530	2	283.593E-06	261.815E-06	258.506E-06	378.689E+03	-60.4720	-57.6096E+03
5530	3	283.983E-06	262.078E-06	257.663E-06	384.752E+03	3.79001E+03	-72.9933E+03
5530	4	283.593E-06	261.815E-06	258.506E-06	378.689E+03	-60.9637	-57.6096E+03
5530	5	307.510E-06	272.320E-06	269.387E-06	633.534E+03	21.5350E+03	-29.4740E+03
5530	6	307.567E-06	271.496E-06	270.200E-06	634.701E+03	7.38975E+03	-15.1549E+03
5530	7	307.510E-06	272.320E-06	269.387E-06	633.536E+03	21.5341E+03	-29.4741E+03
5530	8	307.567E-06	271.496E-06	270.200E-06	634.701E+03	7.38878E+03	-15.1548E+03
Minimum		283.593E-06	261.815E-06	257.663E-06	378.689E+03	-60.9637	-72.9934E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		307.567E-06	272.320E-06	270.200E-06	634.701E+03	21.5350E+03	-15.1548E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.36531E-03	2.13542E-03	2.11151E-03	4.06335E+06	65.3064E+03	-350.464E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 16:03:59 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Módulo de Elasticidade do Concreto - 25 GPa.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	277.001E-06	262.940E-06	259.660E-06	310.040E+03	4.28688E+03	-67.0126E+03
5530	2	276.704E-06	262.701E-06	260.446E-06	304.644E+03	233.041	-48.7890E+03
5530	3	277.005E-06	262.940E-06	259.660E-06	310.042E+03	4.28662E+03	-67.0124E+03
5530	4	276.704E-06	262.701E-06	260.446E-06	304.644E+03	232.540	-48.7889E+03
5530	5	296.709E-06	273.697E-06	271.572E-06	523.404E+03	23.1322E+03	-23.0446E+03
5530	6	296.771E-06	272.977E-06	272.396E-06	525.530E+03	8.25921E+03	-4.36299E+03
5530	7	296.709E-06	273.697E-06	271.572E-06	523.406E+03	23.1313E+03	-23.0446E+03
5530	8	296.771E-06	272.977E-06	272.396E-06	525.53E+03	8.25821E+03	-4.36283E+03
Minimum		276.704E-06	262.701E-06	259.660E-06	304.644E+03	232.540	-67.0126E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		296.771E-06	273.697E-06	272.396E-06	525.530E+03	23.1322E+03	-4.36283E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.29438E-03	2.14463E-03	2.12815E-03	3.32724E+06	71.8201E+03	-286.418E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 16:05:47 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Módulo de Elasticidade do Concreto - 30 GPa.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.434E+03	4.17867E+03	-62.9412E+03
5530	2	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	424.358	-41.6608E+03
5530	3	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.436E+03	4.17845E+03	-62.9410E+03
5530	4	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	423.855	-41.6607E+03
5530	5	289.330E-06	274.593E-06	273.002E-06	407.338E+03	22.8787E+03	-18.6190E+03
5530	6	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98566E+03	4.11402E+03
5530	7	289.330E-06	274.592E-06	273.002E-06	407.341E+03	22.8778E+03	-18.6190E+03
5530	8	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98467E+03	4.11425E+03
Minimum		271.987E-06	263.316E-06	260.950E-06	226.623E+03	423.855	-62.9412E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		289.387E-06	274.593E-06	273.820E-06	410.233E+03	22.8787E+03	4.11425E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.24588E-03	2.15080E-03	2.13895E-03	2.55126E+06	70.9321E+03	-238.213E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 20:59:24 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Atrito - 0_1.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	275.388E-06	208.476E-06	203.238E-06	1.77754E+06	32.0094E+03	-104.620E+03
5530	2	275.158E-06	207.800E-06	201.839E-06	1.75866E+06	1.49887E+03	-154.000E+03
5530	3	275.388E-06	208.476E-06	203.238E-06	1.77754E+06	32.0078E+03	-104.621E+03
5530	4	275.158E-06	207.800E-06	201.839E-06	1.75866E+06	1.49819E+03	-154.001E+03
5530	5	293.773E-06	193.354E-06	188.365E-06	2.68711E+06	67.4979E+03	-62.6616E+03
5530	6	293.845E-06	191.894E-06	186.755E-06	2.67225E+06	12.6632E+03	-121.416E+03
5530	7	293.773E-06	193.354E-06	188.365E-06	2.68711E+06	67.4951E+03	-62.6626E+03
5530	8	293.845E-06	191.894E-06	186.755E-06	2.67225E+06	12.6618E+03	-121.417E+03
Minimum		275.158E-06	191.894E-06	186.755E-06	1.75866E+06	1.49819E+03	-154.001E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	4	4
Maximum		293.845E-06	208.476E-06	203.238E-06	2.68711E+06	67.4979E+03	-62.6616E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		6	1	1	7	5	5
Total		2.27633E-03	1.60305E-03	1.56039E-03	17.7911E+06	227.332E+03	-885.399E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:00:56 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Atrito - 0_5.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6917E+03	-111.106E+03
5530	2	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-437.995	-138.176E+03
5530	3	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6906E+03	-111.107E+03
5530	4	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-438.419	-138.177E+03
5530	5	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
5530	6	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22111E+03	-111.704E+03
5530	7	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2037E+03	-68.5046E+03
5530	8	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22236E+03	-111.705E+03
Minimum		273.344E-06	191.487E-06	187.482E-06	1.70634E+06	-7.22236E+03	-138.177E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		291.891E-06	208.274E-06	203.375E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.26152E-03	1.60020E-03	1.56434E-03	17.3282E+06	76.4725E+03	-858.982E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:02:16 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Atrito - 1_0.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	271.628E-06	208.051E-06	203.541E-06	1.65776E+06	-786.619	-118.440E+03
5530	2	271.234E-06	208.059E-06	203.559E-06	1.64543E+06	-2.62694E+03	-120.026E+03
5530	3	271.628E-06	208.051E-06	203.541E-06	1.65776E+06	-787.138	-118.441E+03
5530	4	271.234E-06	208.059E-06	203.559E-06	1.64543E+06	-2.62707E+03	-120.027E+03
5530	5	289.709E-06	191.364E-06	189.039E-06	2.55104E+06	-14.4788E+03	-75.1499E+03
5530	6	289.589E-06	191.007E-06	188.321E-06	2.54121E+06	-30.4839E+03	-100.557E+03
5530	7	289.709E-06	191.364E-06	189.039E-06	2.55104E+06	-14.4814E+03	-75.1512E+03
5530	8	289.589E-06	191.007E-06	188.321E-06	2.54121E+06	-30.4850E+03	-100.558E+03
Minimum		271.234E-06	191.007E-06	188.321E-06	1.64543E+06	-30.4850E+03	-120.027E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		289.709E-06	208.059E-06	203.559E-06	2.55104E+06	-786.619	-75.1499E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	4	4	7	1	5
Total		2.24432E-03	1.59696E-03	1.56892E-03	16.7909E+06	-96.7568E+03	-828.350E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:28:02 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Atrito - 0_1.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	273.040E-06	263.458E-06	260.745E-06	255.420E+03	5.46191E+03	-65.3156E+03
5530	2	272.841E-06	263.211E-06	261.505E-06	251.989E+03	787.386	-43.7365E+03
5530	3	273.040E-06	263.458E-06	260.745E-06	255.422E+03	5.46165E+03	-65.3154E+03
5530	4	272.841E-06	263.211E-06	261.505E-06	251.989E+03	786.897	-43.7363E+03
5530	5	290.150E-06	274.463E-06	272.814E-06	431.531E+03	22.3006E+03	-20.7103E+03
5530	6	290.247E-06	273.822E-06	273.662E-06	435.768E+03	7.28933E+03	3.12253E+03
5530	7	290.150E-06	274.463E-06	272.814E-06	431.534E+03	22.2996E+03	-20.7103E+03
5530	8	290.247E-06	273.822E-06	273.662E-06	435.768E+03	7.28836E+03	3.12280E+03
Minimum		272.841E-06	263.211E-06	260.745E-06	251.989E+03	786.897	-65.3156E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		290.247E-06	274.463E-06	273.662E-06	435.768E+03	22.3006E+03	3.12280E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.25256E-03	2.14991E-03	2.13745E-03	2.74942E+06	71.6757E+03	-253.279E+03

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:29:33 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Atrito - 0_5.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.434E+03	4.17867E+03	-62.9412E+03
5530	2	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	424.358	-41.6608E+03
5530	3	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.436E+03	4.17845E+03	-62.9410E+03
5530	4	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	423.855	-41.6607E+03
5530	5	289.330E-06	274.593E-06	273.002E-06	407.338E+03	22.8787E+03	-18.6190E+03
5530	6	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98566E+03	4.11402E+03
5530	7	289.330E-06	274.592E-06	273.002E-06	407.341E+03	22.8778E+03	-18.6190E+03
5530	8	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98467E+03	4.11425E+03
Minimum		271.987E-06	263.316E-06	260.950E-06	226.623E+03	423.855	-62.9412E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		289.387E-06	274.593E-06	273.820E-06	410.233E+03	22.8787E+03	4.11425E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.24588E-03	2.15080E-03	2.13895E-03	2.55126E+06	70.9321E+03	-238.213E+03

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:32:15 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Atrito - 1,0.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	271.401E-06	263.602E-06	261.163E-06	206.652E+03	3.19529E+03	-60.4266E+03
5530	2	271.102E-06	263.428E-06	261.896E-06	200.304E+03	114.360	-39.8387E+03
5530	3	271.401E-06	263.602E-06	261.163E-06	206.654E+03	3.19508E+03	-60.4264E+03
5530	4	271.102E-06	263.428E-06	261.896E-06	200.304E+03	113.839	-39.8385E+03
5530	5	288.486E-06	274.746E-06	273.193E-06	382.522E+03	24.0956E+03	-16.4238E+03
5530	6	288.502E-06	274.121E-06	273.975E-06	383.893E+03	8.75325E+03	4.92782E+03
5530	7	288.486E-06	274.746E-06	273.193E-06	382.525E+03	24.0948E+03	-16.4237E+03
5530	8	288.502E-06	274.121E-06	273.975E-06	383.892E+03	8.75223E+03	4.92802E+03
Minimum		271.102E-06	263.428E-06	261.163E-06	200.304E+03	113.839	-60.4266E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		288.502E-06	274.746E-06	273.975E-06	383.893E+03	24.0956E+03	4.92802E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.23898E-03	2.15179E-03	2.14045E-03	2.34674E+06	72.3145E+03	-223.522E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:10:28 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Comprimento da Placa - 4 m.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
4450	1	270.734E-06	208.733E-06	203.893E-06	1.63523E+06	17.7907E+03	-108.462E+03
4450	2	270.429E-06	208.350E-06	203.139E-06	1.61918E+06	-264.327	-136.204E+03
4450	3	270.735E-06	208.733E-06	203.893E-06	1.63523E+06	17.7889E+03	-108.461E+03
4450	4	270.429E-06	208.350E-06	203.139E-06	1.61918E+06	-264.786	-136.205E+03
4450	5	287.487E-06	193.145E-06	189.416E-06	2.49269E+06	31.6047E+03	-65.6649E+03
4450	6	287.472E-06	192.167E-06	188.223E-06	2.48010E+06	-6.11736E+03	-108.994E+03
4450	7	287.487E-06	193.145E-06	189.416E-06	2.49270E+06	31.6009E+03	-65.6665E+03
4450	8	287.472E-06	192.167E-06	188.223E-06	2.48010E+06	-6.11892E+03	-108.995E+03
Minimum		270.429E-06	192.167E-06	188.223E-06	1.61918E+06	-6.11892E+03	-136.205E+03
At Element		4450	4450	4450	4450	4450	4450
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		287.487E-06	208.733E-06	203.893E-06	2.49270E+06	31.6047E+03	-65.6649E+03
At Element		4450	4450	4450	4450	4450	4450
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.23224E-03	1.60479E-03	1.56934E-03	16.4544E+06	86.0197E+03	-838.655E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:12:05 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Comprimento da Placa - 5 m.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6917E+03	-111.106E+03
5530	2	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-437.995	-138.176E+03
5530	3	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6906E+03	-111.107E+03
5530	4	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-438.419	-138.177E+03
5530	5	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
5530	6	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22111E+03	-111.704E+03
5530	7	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2037E+03	-68.5046E+03
5530	8	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22236E+03	-111.705E+03
Minimum		273.344E-06	191.487E-06	187.482E-06	1.70634E+06	-7.22236E+03	-138.177E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		291.891E-06	208.274E-06	203.375E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.26152E-03	1.60020E-03	1.56434E-03	17.3282E+06	76.4725E+03	-858.982E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:13:38 2019

Source 1
---------

  ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Comprimento da Placa - 6 m.odb
  Step: Step-1
  Frame: Increment     11: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
26236	1	270.218E-06	208.633E-06	202.751E-06	1.61194E+06	5.36121E+03	-148.066E+03
26236	2	269.591E-06	208.763E-06	203.730E-06	1.59827E+06	11.4464E+03	-119.847E+03
26236	3	270.218E-06	208.633E-06	202.752E-06	1.61194E+06	5.35402E+03	-148.051E+03
26236	4	269.591E-06	208.763E-06	203.730E-06	1.59827E+06	11.4382E+03	-119.843E+03
26236	5	287.778E-06	190.709E-06	188.197E-06	2.48149E+06	-50.7274E+03	-116.271E+03
26236	6	287.081E-06	191.470E-06	188.218E-06	2.46378E+06	-30.4257E+03	-115.238E+03
26236	7	287.778E-06	190.710E-06	188.198E-06	2.48150E+06	-50.7091E+03	-116.226E+03
26236	8	287.081E-06	191.469E-06	188.219E-06	2.46380E+06	-30.4235E+03	-115.207E+03
Minimum		269.591E-06	190.709E-06	188.197E-06	1.59827E+06	-50.7274E+03	-148.066E+03
At Element		26236	26236	26236	26236	26236	26236
Int Pt		4	5	5	4	5	1
Maximum		287.778E-06	208.763E-06	203.730E-06	2.48150E+06	11.4464E+03	-115.207E+03
At Element		26236	26236	26236	26236	26236	26236
Int Pt		7	2	4	7	2	8
Total		2.22934E-03	1.59915E-03	1.56580E-03	16.3110E+06	-128.686E+03	-998.750E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:39:36 2019

Source 1
---------

  ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Comprimento da Placa - 4 m.odb
  Step: Step-1
  Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
4450	1	275.811E-06	262.960E-06	260.312E-06	337.997E+03	2.75894E+03	-66.3276E+03
4450	2	275.567E-06	262.791E-06	261.043E-06	333.403E+03	132.830	-45.4702E+03
4450	3	275.811E-06	262.960E-06	260.312E-06	337.999E+03	2.75855E+03	-66.3274E+03
4450	4	275.567E-06	262.791E-06	261.043E-06	333.403E+03	132.223	-45.4698E+03
4450	5	294.532E-06	273.772E-06	272.111E-06	562.548E+03	20.9769E+03	-22.3571E+03
4450	6	294.589E-06	273.212E-06	272.886E-06	565.560E+03	7.90171E+03	-600.043
4450	7	294.532E-06	273.772E-06	272.111E-06	562.551E+03	20.9760E+03	-22.3569E+03
4450	8	294.589E-06	273.212E-06	272.886E-06	565.561E+03	7.90051E+03	-599.732
Minimum		275.567E-06	262.791E-06	260.312E-06	333.403E+03	132.223	-66.3276E+03
At Element		4450	4450	4450	4450	4450	4450
Int Pt		2	4	3	2	4	1
Maximum		294.589E-06	273.772E-06	272.886E-06	565.561E+03	20.9769E+03	-599.732
At Element		4450	4450	4450	4450	4450	4450
Int Pt		8	5	8	8	5	8
Total		2.28100E-03	2.14547E-03	2.13270E-03	3.59902E+06	63.5377E+03	-269.509E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:41:24 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Comprimento da Placa - 5 m.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.434E+03	4.17867E+03	-62.9412E+03
5530	2	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	423.358	-41.6608E+03
5530	3	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.436E+03	4.17845E+03	-62.9410E+03
5530	4	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	423.855	-41.6607E+03
5530	5	289.330E-06	274.593E-06	273.002E-06	407.338E+03	22.8787E+03	-18.6190E+03
5530	6	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98566E+03	4.11402E+03
5530	7	289.330E-06	274.592E-06	273.002E-06	407.341E+03	22.8778E+03	-18.6190E+03
5530	8	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98467E+03	4.11425E+03
Minimum		271.987E-06	263.316E-06	260.950E-06	226.623E+03	423.855	-62.9412E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		289.387E-06	274.593E-06	273.820E-06	410.233E+03	22.8787E+03	4.11425E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.24588E-03	2.15080E-03	2.13895E-03	2.55126E+06	70.9321E+03	-238.213E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:43:50 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Comprimento da Placa - 6 m.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
6956	1	269.102E-06	263.952E-06	261.582E-06	138.126E+03	3.79218E+03	-58.0361E+03
6956	2	268.851E-06	263.766E-06	262.255E-06	132.906E+03	259.287	-39.1695E+03
6956	3	269.517E-06	263.916E-06	261.466E-06	150.432E+03	4.29811E+03	-59.5947E+03
6956	4	269.272E-06	263.716E-06	262.139E-06	145.305E+03	376.745	-40.7624E+03
6956	5	284.815E-06	275.265E-06	273.800E-06	272.528E+03	23.3896E+03	-14.8230E+03
6956	6	284.862E-06	274.645E-06	274.540E-06	274.703E+03	8.15458E+03	5.43160E+03
6956	7	285.471E-06	275.203E-06	273.688E-06	292.333E+03	24.4663E+03	-15.0518E+03
6956	8	285.533E-06	274.555E-06	274.423E-06	294.783E+03	8.41297E+03	4.97867E+03
Minimum		268.851E-06	263.716E-06	261.466E-06	132.906E+03	259.287	-59.5947E+03
At Element		6956	6956	6956	6956	6956	6956
Int Pt		2	4	3	2	2	3
Maximum		285.533E-06	275.265E-06	274.540E-06	294.783E+03	24.4663E+03	5.43160E+03
At Element		6956	6956	6956	6956	6956	6956
Int Pt		8	5	6	8	7	6
Total		2.21742E-03	2.15502E-03	2.14389E-03	1.70112E+06	73.1497E+03	-217.027E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 21:08:39 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Positivo - Coef de exp térmico - 8x10^-6.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6917E+03	-111.106E+03
5530	2	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-437.995	-138.176E+03
5530	3	273.653E-06	208.274E-06	203.375E-06	1.72223E+06	16.6906E+03	-111.107E+03
5530	4	273.344E-06	207.918E-06	202.638E-06	1.70634E+06	-438.419	-138.177E+03
5530	5	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
5530	6	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22111E+03	-111.704E+03
5530	7	291.891E-06	192.422E-06	188.677E-06	2.62405E+06	29.2037E+03	-68.5046E+03
5530	8	291.872E-06	191.487E-06	187.482E-06	2.61151E+06	-7.22236E+03	-111.705E+03
Minimum		273.344E-06	191.487E-06	187.482E-06	1.70634E+06	-7.22236E+03	-138.177E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		291.891E-06	208.274E-06	203.375E-06	2.62405E+06	29.2064E+03	-68.5035E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.26152E-03	1.60020E-03	1.56434E-03	17.3282E+06	76.4725E+03	-858.982E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Sat Feb 23 16:39:03 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Analise-44-t1.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	333.323E-06	261.294E-06	256.216E-06	1.89231E+06	13.2860E+03	-119.177E+03
5530	2	332.979E-06	261.023E-06	255.515E-06	1.87596E+06	-1.13787E+03	-144.831E+03
5530	3	333.323E-06	261.294E-06	256.216E-06	1.89231E+06	13.2850E+03	-119.178E+03
5530	4	332.979E-06	261.023E-06	255.515E-06	1.87596E+06	-1.13820E+03	-144.832E+03
5530	5	351.683E-06	241.834E-06	238.225E-06	2.88314E+06	17.5109E+03	-76.6336E+03
5530	6	351.622E-06	241.023E-06	236.921E-06	2.86937E+06	-15.8304E+03	-122.826E+03
5530	7	351.683E-06	241.834E-06	238.225E-06	2.88314E+06	17.5080E+03	-76.6350E+03
5530	8	351.622E-06	241.023E-06	236.921E-06	2.86937E+06	-15.8317E+03	-122.827E+03
Minimum		332.979E-06	241.023E-06	236.921E-06	1.87596E+06	-15.8317E+03	-144.832E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		351.683E-06	261.294E-06	256.216E-06	2.88314E+06	17.5109E+03	-76.6336E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.73922E-03	2.01035E-03	1.97376E-03	19.0416E+06	27.6518E+03	-926.938E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Sat Feb 23 16:39:03 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Analise-44-t1.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	333.323E-06	261.294E-06	256.216E-06	1.89231E+06	13.2860E+03	-119.177E+03
5530	2	332.979E-06	261.023E-06	255.515E-06	1.87596E+06	-1.13787E+03	-144.831E+03
5530	3	333.323E-06	261.294E-06	256.216E-06	1.89231E+06	13.2850E+03	-119.178E+03
5530	4	332.979E-06	261.023E-06	255.515E-06	1.87596E+06	-1.13820E+03	-144.832E+03
5530	5	351.683E-06	241.834E-06	238.225E-06	2.88314E+06	17.5109E+03	-76.6336E+03
5530	6	351.622E-06	241.023E-06	236.921E-06	2.86937E+06	-15.8304E+03	-122.826E+03
5530	7	351.683E-06	241.834E-06	238.225E-06	2.88314E+06	17.5080E+03	-76.6350E+03
5530	8	351.622E-06	241.023E-06	236.921E-06	2.86937E+06	-15.8317E+03	-122.827E+03
Minimum		332.979E-06	241.023E-06	236.921E-06	1.87596E+06	-15.8317E+03	-144.832E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	8	8	4	8	4
Maximum		351.683E-06	261.294E-06	256.216E-06	2.88314E+06	17.5109E+03	-76.6336E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		7	1	1	7	5	5
Total		2.73922E-03	2.01035E-03	1.97376E-03	19.0416E+06	27.6518E+03	-926.938E+03

```
********************************************************************************
Field Output Report, written Thu Feb 21 15:38:24 2019

Source 1
---------

   ODB: S:/temp/Resultados/Gradiente Negativo - Coef de exp termico - 8x10^-6.odb
   Step: Step-1
   Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.434E+03	4.17867E+03	-62.9412E+03
5530	2	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	424.358	-41.6608E+03
5530	3	272.235E-06	263.523E-06	260.950E-06	231.436E+03	4.17845E+03	-62.9410E+03
5530	4	271.987E-06	263.316E-06	261.703E-06	226.623E+03	423.855	-41.6607E+03
5530	5	289.330E-06	274.593E-06	273.002E-06	407.338E+03	22.8787E+03	-18.6190E+03
5530	6	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98566E+03	4.11402E+03
5530	7	289.330E-06	274.592E-06	273.002E-06	407.341E+03	22.8778E+03	-18.6190E+03
5530	8	289.387E-06	273.968E-06	273.820E-06	410.233E+03	7.98467E+03	4.11425E+03
Minimum		271.987E-06	263.316E-06	260.950E-06	226.623E+03	423.855	-62.9412E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		289.387E-06	274.593E-06	273.820E-06	410.233E+03	22.8787E+03	4.11425E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	6	5	8
Total		2.24588E-03	2.15080E-03	2.13895E-03	2.55126E+06	70.9321E+03	-238.213E+03

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Sat Feb 23 16:50:52 2019

Source 1
---------

  ODB: S:/temp/Analise-46-t1.odb
  Step: Step-1
  Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	331.685E-06	330.460E-06	328.192E-06	33.7185E+03	1.73780E+03	-57.4191E+03
5530	2	331.436E-06	330.290E-06	329.171E-06	30.3377E+03	461.549	-28.7356E+03
5530	3	331.686E-06	330.460E-06	328.192E-06	33.7203E+03	1.73775E+03	-57.4188E+03
5530	4	331.436E-06	330.290E-06	329.171E-06	30.3377E+03	461.081	-28.7353E+03
5530	5	348.627E-06	344.841E-06	343.599E-06	118.313E+03	19.5301E+03	-12.8610E+03
5530	6	348.683E-06	344.249E-06	344.697E-06	122.911E+03	7.23379E+03	18.9372E+03
5530	7	348.627E-06	344.841E-06	343.599E-06	118.315E+03	19.5294E+03	-12.8608E+03
5530	8	348.683E-06	344.249E-06	344.697E-06	122.911E+03	7.23289E+03	18.9376E+03
Minimum		331.436E-06	330.290E-06	328.192E-06	30.3377E+03	461.081	-57.4191E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	4	4	1
Maximum		348.683E-06	344.841E-06	344.697E-06	122.911E+03	19.5301E+03	18.9376E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	8	5	8
Total		2.72086E+03	2.69968E+03	2.69132E+03	610.565E+03	57.9244E+03	-160.156E+03

```
******************************************************************************
Field Output Report, written Sat Feb 23 16:56:09 2019

Source 1
---------

  ODB: S:/temp/Analise-47-t1.odb
  Step: Step-1
  Frame: Increment     15: Step Time =    1.000

Loc 1 : Integration point values from source 1

Output sorted by column "Element Label".

Field Output reported at integration points for part: PLACA-1
```

Element Label	Int Pt	E.E11 @Loc 1	E.E22 @Loc 1	E.E33 @Loc 1	S.S11 @Loc 1	S.S22 @Loc 1	S.S33 @Loc 1
5530	1	391.192E-06	397.385E-06	395.392E-06	-162.535E+03	-967.187	-52.9671E+03
5530	2	390.934E-06	397.256E-06	396.640E-06	-164.447E+03	490.641	-15.5764E+03
5530	3	391.192E-06	397.385E-06	395.392E-06	-162.533E+03	-967.128	-52.9667E+03
5530	4	390.934E-06	397.256E-06	396.640E-06	-164.447E+03	490.193	-15.5759E+03
5530	5	407.988E-06	415.000E-06	414.171E-06	-169.340E+03	13.5833E+03	-8.04133E+03
5530	6	408.035E-06	414.502E-06	415.573E-06	-162.796E+03	5.90179E+03	33.8530E+03
5530	7	407.988E-06	415.000E-06	414.171E-06	-169.337E+03	13.5827E+03	-8.04105E+03
5530	8	408.035E-06	414.502E-06	415.573E-06	-162.796E+03	5.90094E+03	33.8536E+03
Minimum		390.934E-06	397.256E-06	395.392E-06	-169.340E+03	-967.187	-52.9671E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		4	4	3	5	1	1
Maximum		408.035E-06	415.000E-06	415.573E-06	-162.533E+03	13.5833E+03	33.8536E+03
At Element		5530	5530	5530	5530	5530	5530
Int Pt		8	5	8	3	5	8
Total		3.19630E-03	3.24829E-03	3.24355E-03	-1.31823E+06	38.0152E+03	-85.4618E+03