

DESENVOLVIMENTO DE MODELO FÍSICO-DIDÁTICO PARA REPRESENTAR O COMPORTAMENTO DE LAJES LISAS PROTENDIDAS

Matheus F. S. Magnavita – matheusmag094@gmail.com

Universidade Federal da Bahia

Rua Professor Aristides Novis, 2, Federação

40210-630 – Salvador – Bahia

Caio H. M. R. Albuquerque – caio_hra@hotmail.com

Mikhael A. de A. Santos – mikhael_aguiar@hotmail.com

Luana B. dos Santos – luana__barreiros@hotmail.com

Daniel de S. Machado – danieldesouzamachado@yahoo.com

Resumo: Este documento transcorre sobre o ensino de engenharia nas universidades brasileiras, onde são abordadas as atuais metodologias aplicadas e como elas podem ser aprimoradas com o objetivo de tornar o processo de aprendizagem mais dinâmico e interativo para professores e alunos e consequentemente obter melhores resultados por compreensão e assimilação do conteúdo. Para isso, foi desenvolvido um modelo físico reduzido modelado via software computacional e impresso através de impressora 3D, onde representa qualitativamente o efeito da protensão em lajes lisas, bem como suas deformações ao ser carregado e o efeito da protensão na retificação de efeitos, como fissuração e punção. O modelo se apresenta então, como uma forma alternativa de se ensinar matérias não somente de concreto protendido, mas de estruturas em geral, agregando ao processo de aprendizagem um estímulo visual diferenciado, colaborando para que o aluno de engenharia tenha uma melhor percepção e sensibilidade dos fenômenos e comportamentos das estruturas em geral, os tornando mais bem preparados para os desafios futuros em suas vidas profissionais.

Palavras-chave: Modelo físico. Concreto protendido. Metodologia. Laje.

1 INTRODUÇÃO

O modelo atual de metodologia de ensino empregado nas faculdades e universidades brasileiras vem se tornando obsoleto, ao passo em que, até nos cursos em que se tem como objetivo a busca por inovação e solução para problemas atuais vivenciados em nossa sociedade, como é o caso da engenharia, pouco avanço se vê no âmbito das práticas vivenciadas em sala de aula. Por muitas vezes a relação entre professor aluno se dá apenas sendo de transmissor-receptor do conhecimento, sendo o segundo, apenas o agente passivo em todo o processo de aprendizagem, o que torna o processo passível de ocorrer perdas de aprendizado, por não explorar no aluno outras habilidades que são inerentes para uma correta assimilação do conhecimento (BAZZO et al., 2002).

Os professores, por sua vez, precisam reconhecer as suas novas exigências em sua atividade pedagógica de transmissão do conhecimento, “obrigando a um complemento entre formação inicial e continua, no sentido de aperfeiçoar as competências pedagógica, científica e comunicacional” (FLORES, VEIGA SIMÃO apud FERNANDES et al., 2009). Buscando sempre novas formas de atribuir aos novos modelos de ensino, dando enfoque ao estudante.

A utilização de modelos físicos em sala de aula é uma alternativa para que o aprendizado ocorra de uma maneira mais interessante e interativa com a participação, tanto do corpo docente, quanto discente, com a possibilidade de o aluno visualizar e compreender melhor os reais efeitos e fenômenos que ocorrem, por exemplo, em uma estrutura de concreto protendido, que é alvo de estudo do presente trabalho. Possibilitando com isso, desenvolver, por parte do aluno novas competências que não apenas de memorização do conteúdo, mas também uma melhor percepção e sensibilidade das situações que serão enfrentadas em suas vidas profissionais futuras.

O trabalho tem como objetivo principal elaborar um modelo físico didático em escala reduzida, para servir como material de apoio das disciplinas de concreto protendido, tornando o processo de aprendizagem mais dinâmico e interativo, possibilitando demonstrar de forma qualitativa, efeitos que estruturas reais de lajes lisas em concreto protendido apresentam, podendo avaliar diferentes formas de protensão e como colaboram para melhorar o desempenho da estrutura para efeitos de fissuração, funcionamento, entre outros.

A estrutura do trabalho consiste em relacionar o sistema estrutural de protensão em lajes lisas estudado e a correta demonstração de seus efeitos e fenômenos a partir do modelo físico confeccionado e analisar a real aplicabilidade desse modelo na metodologia de ensino empregada, no que tange a melhor absorção por parte do aluno do conteúdo e conhecimento fornecido a ele em sala de aula.

2 GENERALIDADES

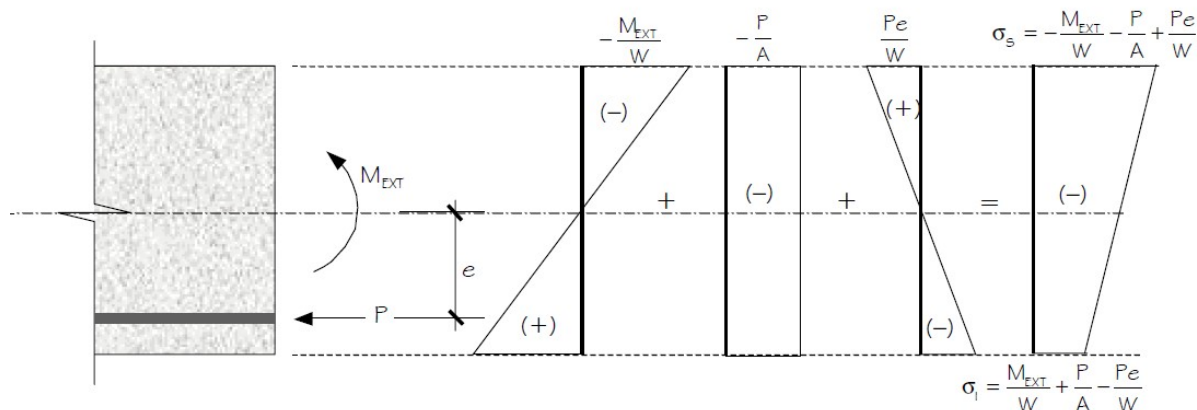
Segundo Hanai (2005), a protensão é definida como se aplicar um estado de tensões prévias em um determinado elemento, com a finalidade de melhorar algumas de suas características e comportamentos, como por exemplo, sua resistência mecânica, no qual, para a engenharia é comumente utilizado em estruturas de concreto armado, porém também possui aplicabilidade garantida para outros tipos de estruturas.

Já a NBR 7197 (1989) - Projeto de estruturas de concreto protendido, cita que “uma peça de concreto protendido é aquela que é submetida a um sistema de forças especialmente e permanentemente aplicadas (...), quando agirem simultaneamente com as demais ações, impeçam ou limitem a fissuração do concreto”.

A protensão pode ser completa, limitada ou parcial, sendo de acordo com a ABNT NBR-7483 (2004) - Cordoalhas de aço para concreto protendido – Requisitos, o aço de protensão mais comumente utilizado é a cordoalha de 7 fios CP 190 RB, sendo a sigla CP significando Concreto Protendido e o RB se referindo a Relaxação Baixa, característica importante para que as perdas de protensão sejam reduzidas. Já segundo a NBR 6118 (2014) - Projeto de estruturas de concreto - procedimento, o aço de protensão possibilita impedir ou limitar a fissuração a ponto de melhorar o aproveitamento desse mesmo aço de alta resistência em seu Estado Limite Último (ELU), estado esse, sendo o limite relacionado ao colapso, ou ruína da estrutura.

A Figura 1 pode ilustrar de forma mais simplificada a protensão nas tensões atuantes em uma peça de concreto protendido, considerando, nesse caso, a protensão completa, onde são limitadas as tensões de tração e consequentemente a fissuração da peça em serviço (EMERICK, 2002).

Figura 1 - Tensões atuantes no concreto protendido para a protensão completa



Fonte: EMERICK, 2002

A utilização cada vez mais comum desse tipo de estrutura se dá pela necessidade de se vencer vãos livres maiores, com dimensões das peças cada vez mais reduzidas. Porém a protensão não se limita apenas a esse benefício, bem como, segundo o catálogo técnico da Freyssinet, a economia em relação as estruturas de concreto armado convencionais, para vãos a partir de 7 metros, melhoria e controle das flechas, em muitos casos podendo até serem extinguidas. No caso da protensão em lajes, objeto de estudo do trabalho, há ganhos de resistência ao puncionamento, para lajes lisas e em cogumelo, quando a colocação de cabos de protensão é feita sobre o eixo dos pilares e aumento de resistência próximo ao pilar para a transferência de momentos na ligação laje-pilar (SOUZA e CUNHA, 1998).

Por sua vasta aplicabilidade, benefícios e diversidade, a protensão, apesar de necessitar de uma mão-de-obra um pouco mais especializada, vem sendo utilizada de uma forma mais abrangente hoje no Brasil, onde apresenta ser uma solução interessante nas mais variadas obras, como edifícios empresariais, onde se faz necessária uma maior flexibilidade de layouts, bem como na utilização em pontes, como a famosa ponte Rio-Niterói, uma das maiores pontes da América Latina, que só foi possível através da utilização da protensão.

3 O ENSINO

As escolas de engenharia praticam, em sua maioria, o modelo tradicional de ensino, em que se tem papéis bem definidos e hierarquizados para professor e aluno. Neste modelo, o professor tem a função de transmitir o conteúdo predefinido e cabe ao aluno a repetição automática dos dados a ele fornecidos (MIZUKAMI, 1986). O ensino é, segundo Mizukami (1986), "caracterizado pelo verbalismo do mestre e memorização do aluno". Em decorrência disso, o processo de ensino-aprendizagem resulta extremamente defasado, em especial se tratando do ensino da engenharia, visto que a compreensão do conteúdo é apenas parcial e o produto final é a criação de hábitos, respostas automatizadas e que se aplicam apenas a situações muito semelhantes ou idênticas às que foram trabalhadas em sala de aula (MIZUKAMI, 1986).

Uma alternativa a esse modelo pode ser pensada através da análise do estudo do psicólogo Piaget, um dos principais representantes da abordagem cognitivista do ensino. Piaget entende o professor como um mediador do processo de ensino-aprendizagem, tendo como função não mais a exposição de conteúdos e fixação de respostas prontas, mas o estímulo à pesquisa, provocando um desequilíbrio e desafiando o aluno a trabalhar o

conhecimento de maneira independente (MIZUKAMI, 1986). Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de novos métodos e ferramentas, que aproximem o aluno do processo ensino-aprendizagem e estimulem sua participação. É nesse contexto que surge a alternativa do desenvolvimento de modelos físicos para demonstrar o comportamento das estruturas, representando um mecanismo que auxiliará o docente a exercer seu papel enquanto mediador e fomentador do processo de desenvolvimento dos discentes.

4 O MODELO

Para confecção do modelo, chegou-se a concepção de se utilizar a impressão 3D, utilizando filamentos rígidos, para representar de forma mais precisa e fidedigna a pretensão em lajes lisas, onde se utilizam apenas pilares e lajes, sem a presença de vigas. Para isso, a modelagem do protótipo foi feita através do software Sketchup, no qual foi feita uma base, simulando um radier, para dar e simular os pilares engastados na base, conferindo sustentação a estrutura, seguido dos pilares propriamente dito e por fim, a laje lisa, objeto de estudo e análise do trabalho.

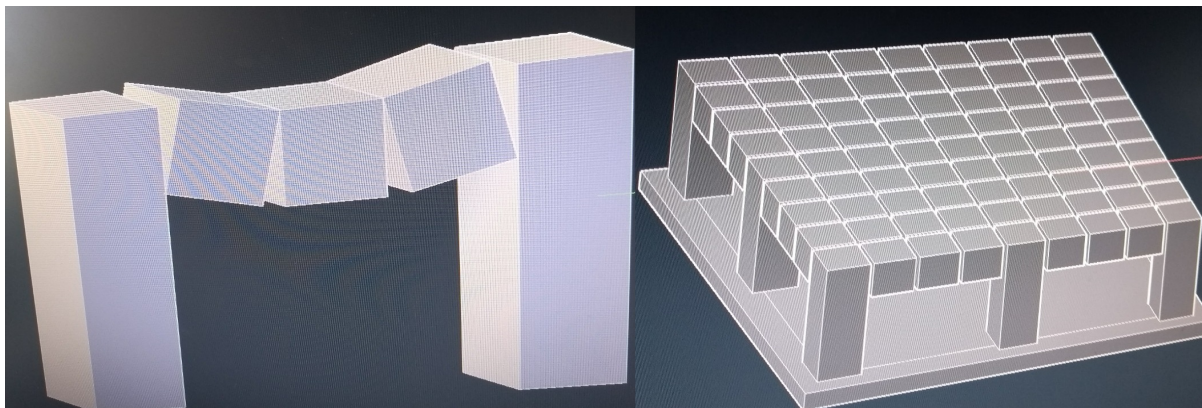
O material PLA rígido é um composto termoplástico biodegradável que apresenta certa resistência mecânica, necessária para que se resistam às tensões aplicadas pelo cabo de aço sem se romper nem deformar, sendo também o material mais comum para impressão 3D, por possuir precisão e acabamentos satisfatórios, sendo empregado no modelo, de forma a suprir as necessidades apresentadas desde a construção, passando pelos testes do modelo e análise de seus resultados.

Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos para a confecção do modelo:

- Filamento de PLA rígido na cor Branca
- Impressora 3D de alta precisão
- Tinta para acabamento em plásticos na cor prata metálico
- Cabos de aço para protensão
- Presilhas metálicas para ancoragem dos cabos de protensão
- Chapas em alumínio para conferir rigidez lateral ao modelo

A Laje foi confeccionada de modo a reproduzir a protensão com suas principais características, para isso a mesma foi dividida em cubos de iguais dimensões e espaçamentos, simulando que a laje pudesse ser analisada em um determinado ponto, através de sua subdivisão infinitesimal, onde se é possível observar, em cada cubo, seus deslocamentos, tanto vertical quanto horizontalmente, inclusive suas rotações, se fazendo possível observar visualmente, por exemplo, logo após o carregamento da estrutura, o distanciamento de cubos adjacentes, o efeito da fissuração que ocorre nas lajes lisas reais, onde se pode observar na Figura 2 abaixo.

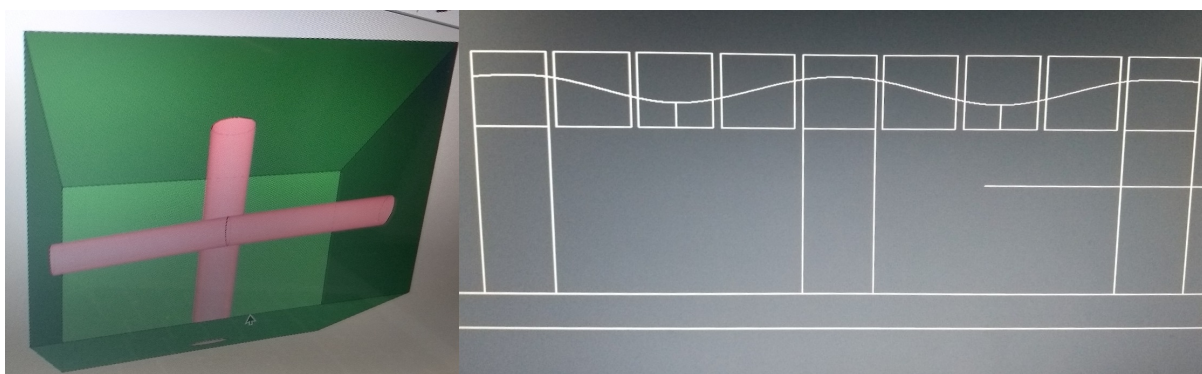
Figura 2 – Modelo completo e laje sendo deformada sem protensão



Fonte: Autor

A protensão foi pensada de forma que, em cada um dos cubos e no topo dos pilares, houvesse, em duas direções, tubos internos que permitissem a passagem, em seu interior, os cabos de aço para protensão, tomando cuidado para que esses tubos não se cruzassem e que fossem desenhados de forma a respeitar o traçado real de uma laje protendida, onde nos pilares as cotas estariam mais elevadas, próximas aos topos e no meio dos vãos, próximo as bordas inferiores dos cubos. Interessante salientar que o modelo apresenta traçados dos tubos internos em todos os cubos e em ambas as direções horizontais, perpendiculares entre si, podendo assim ser empregados vários tipos de protensão diferentes, como só nos faixas dos pilares em ambas as direções, ou em na faixa dos pilares em uma direção e igualmente espaçado na outra direção, podendo fazer análises diferentes para cada tipo de disposição dos cabos de protensão utilizados, bem como suas principais características, como pode ser observado na figura 3 abaixo.

Figura 3 – Detalhe dos tubos nos blocos e traçado dos cabos de protensão

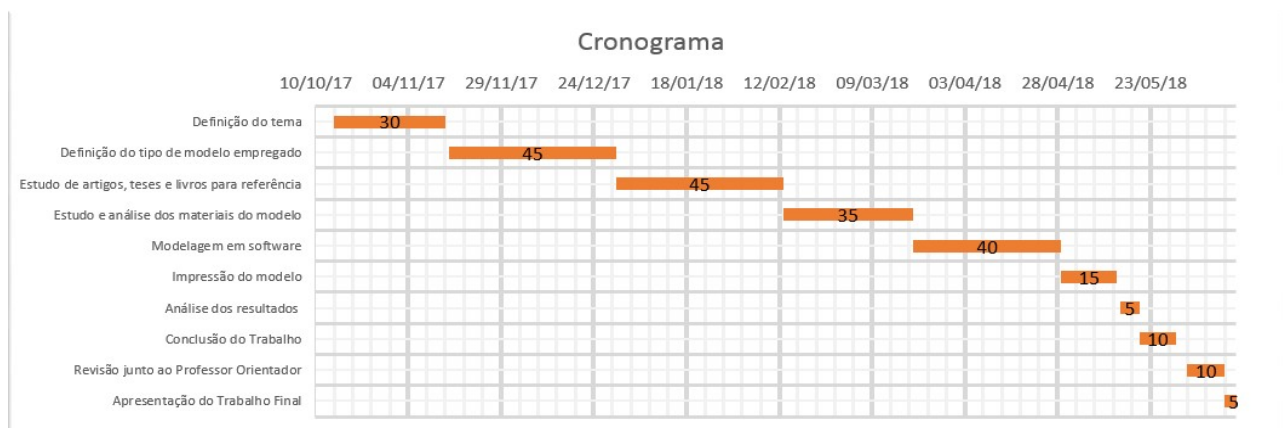


Fonte: Autor

O modelo será protendido de forma manual, em que os cabos de aço não necessariamente sofrerão se quer alguma deformação, porém, ao ser tracionado, com o auxílio das ancoragens e da força manual, o cabo de aço tenderá a ficar retilíneo e, por conta de seu traçado e extremidades nas cotas mais superiores, fará com que os cubos também retifiquem a sua posição inicial, antes do carregamento, ou até mesmo tendam a atingir cotas superiores as retilíneas anteriores, sem carregamentos e deformações, sendo possível visualizar facilmente o modelo tendendo a retificar e adquirir sua forma inicial novamente, inclusive com os cubos deslocarem verticalmente para cima e voltando os espaçamentos originais, suprimindo ilustrativa e qualitativamente a fissuração do modelo, comprovando assim os efeitos que a protensão exerce em uma laje lisa.

O presente artigo foi originado a partir da realização do TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) do autor, devido esse motivo, como se pode observar através da figura 4, cronograma de execução das atividades do trabalho, o modelo ainda não foi completamente impresso, por se tratar de um protótipo de grandes dimensões e o processo de impressão demandar um tempo considerável, atividade esta, que estará decorrendo inclusive, até a data limite de submissão do artigo.

Figura 4 - Cronograma de Execução das Atividades



Fonte: Autor

5 RESULTADOS ESPERADOS

Através dos estudos realizados, análises e observações de modelos semelhantes já produzidos, inclusive por outros alunos que utilizaram métodos semelhantes, incluindo modelos reduzidos por impressão 3D, se faz interessante considerar que o modelo obtenha êxito em ratificar de forma satisfatória as premissas estabelecidas, sendo elas, poder representar de forma visual e qualitativa as deformações em uma estrutura como uma laje lisa e demonstrar, através da protensão, a retificação da estrutura, com a reaproximação dos blocos e ilustrativamente a diminuição, ou até, a anulação da fissuração.

Porém é prudente mencionar que a confirmação dessas premissas, só será possível testando e analisando o modelo físico, levando em consideração a satisfação das deformações, podendo ser visualmente percebidas com facilidade e sua consequente mudança de comportamento e deformações através da aplicação da protensão.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A valorização do ensino e o seu desenvolvimento é um dos principais desafios enfrentados pelas escolas de engenharia brasileiras atualmente, no que tange apresentar propostas inovadoras de ensino-aprendizagem para tornar todo o processo mais produtivo e interessante tanto para alunos, quanto para professores. Como cita Llagostera (1999), superar as metodologias didáticas unilaterais arcaicas para produção do conhecimento é importante para que a educação de engenharia alcance de modo mais eficaz e eficiente seus objetivos, contribuindo para a formação de profissionais mais criativos, inovadores e melhor preparados para atuar em um contexto globalizado e em rápida e constante transformação.

O modelo físico didático desempenha portanto, um papel inovador de agregar as convencionais metodologias de aulas de concreto protendido uma didática diferenciada por utilizar potenciais formas de assimilação do conteúdo pouco exploradas nos estudantes, através de uma demonstração muito próxima da realidade, alguns dos fenômenos que ocorrem em lajes lisas em concreto protendido. Contribuindo assim, para que a dinâmica da produção do conhecimento se torne mais interessante e interativa tanto para os professores quanto para os alunos.

Agradecimentos

Agradecemos a orientação do Professor Doutor, aos colegas de trabalho e minha família por todo suporte e incentivo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989). **NBR 7197**: Projeto de estruturas de concreto protendido. Rio de Janeiro. 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). **NBR 7483**: Cordoalhas de aço para concreto protendido - Requisitos. Rio de Janeiro. 2004.

BAZZO, Walter Antonio. **Ciência, tecnologia e sociedade e o contexto da educação tecnológica**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.

EMERICK, Alexandre Anozé. **Projeto e Execução de Lajes Protendidas**. Brasília: 2002.

FERNANDES, Sandra. **A aprendizagem baseada em projectos interdisciplinares: avaliação do impacto de uma experiência no ensino de engenharia**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho, Portugal. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-40772010000300004

HANAI, João Bento. **Fundamentos do Concreto Protendido**. São Carlos: 2005.

LLAGOSTERA, Jorge. **Reflexão Pedagógica no âmbito do ensino de engenharia**. 9 f. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Energia. 1999. Disponível em:
<http://www.abcm.org.br/anais/cobem/1999/pdf/AACBCJ.pdf>

MIZUKAMI, Maria da Graça Nicoletti. **Ensino**, as abordagens do processo. São Paulo: EPU, 1986.

SOUZA, V.C.M. & CUNHA, A.J.P. **Lajes em Concreto Armado e Protendido**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: 1998.

THE DEVELOPMENT OF A DIDATIC PHYSICAL MODEL TO REPRESENT THE BEHAVIOR OF SMOOTH PRESTRESSED SLABS

Abstract: *This document entails the teaching of engineering in Brazilian universities, where current applied methodologies are discussed as to how they can be improved with the objective of making the learning process more dynamic and interactive for teachers and students and consequently, obtain better results by comprehension and assimilation of content. For this reason, a reduced physical model was modeled through computer software and printed using a 3D printer, that qualitatively represents the effect of the protension in smooth slabs, as well as their deformations when being loaded and the effect of protension in the retification of the effects of cracking and punching. The model then serves, as an alternative to teach materials that are not only about prestressed concrete, but also of structures in general, adding a differentiated visual stimulus to the learning process, collaborating so that the student of engineering has a better perception and sensitivity of the phenomena and behaviors of the structures in general, making them better prepared for the future challenges they may face in their professional lives.*

Key-words: *Physical model. Prestressed concrete. Methodology. Slab.*