

Tema de Tese:

Controlo de plataforma sísmica

Orientadores:

Miguel Ayala Botto (IST)

Fernando Oliveira (LNEC)

Descrição do Problema:

O atual processo para realização de ensaios em plataforma sísmica no LNEC compreende a sintetização offline de um sinal de comando (Drive) diferente da referência por forma a que a plataforma vibre de acordo com o sinal de referência, i.e. o sismo (Ref.). O sistema plataforma sísmica mais estrutura a testar tem implementado um controlador PI - Proporcional Integral, com parâmetros fixos. No ensaio sísmico a estrutura é exposta a um conjunto de testes com amplitudes do sismo diferentes, i.e. inicialmente é testada com o sismo a uma amplitude reduzida, sendo depois avaliados os danos, de seguida com o mesmo sismo a uma amplitude maior, sendo novamente avaliados os dados e, assim sucessivamente até uma amplitude definida, que normalmente é a amplitude do sismo original. Antes de cada teste é efetuada uma identificação dinâmica do sistema utilizando um sinal de Ruido Branco de Banda Limitada (sempre com a mesma amplitude) para obtenção da Função de Transferência do Sistema, que é utilizada no algoritmo para gerar o sinal de comando. Ao longo deste processo, a amplitude do sinal de referência é aumentada de teste para teste e, é de esperar que a estrutura atinja um regime não linear, quer devido ao comportamento de eventuais componentes de que dispõe, quer resultante do dano acumulado na estrutura ao longo dos vários testes. No final de cada teste o desempenho do sistema é avaliado pela comparação do espetro de resposta do sinal de referência com o do sinal medido na plataforma. Um bom desempenho ou mesmo um desempenho razoável nem sempre é conseguido com o sinal de comando sintetizado, sendo por vezes necessário gerar mais do que um sinal de comando e, conseqüentemente mais do que um ensaio à mesma amplitude, o que seria preferível evitar visto que introduz dano na estrutura. A par disto existe ainda a limitação física do equipamento, que se traduz na prática na limitação finita do campo de deslocamento, velocidade e aceleração, que devem ser contabilizados.

Objetivo:

Implementar o melhor controlador (ou estratégia) que garanta que as vibrações da plataforma seguem exatamente o sinal sísmico de teste (referência/sismo) tendo em conta que:

- A amplitude do sismo aumenta de teste para teste na mesma campanha de ensaio;
- Antes de cada teste é feita uma identificação dinâmica a amplitude baixa (para não danificar o modelo); será possível utilizar a resposta do sismo para identificar o modelo, ou complementar o modelo identificado para amplitudes mais altas?;
- O sinal de comando gerado offline é imposto na plataforma sísmica sem se verificar se permite obter um bom desempenho por simulação;
- O sistema plataforma sísmica ST1D (1DOF) pode testar modelos até $m=5t$, tem uma banda de interesse $0 \leq f \text{ (Hz)} \leq 25$ com limitações em termos de deslocamento $-100 \leq d \text{ (mm)} \leq +100$, velocidade $-40 \leq v \text{ (cm/s)} \leq +40$, e aceleração $-25 \leq a \text{ (m/s}^2\text{)} \leq +25$; estas características terão de ser verificadas aquando dos ensaios laboratoriais;
- O modelo a ensaiar pode inicialmente ter ou não um comportamento linear, mas à medida que fica danificado é de certeza não linear; as estruturas a testar têm em geral 2 modos de vibração na banda de interesse da plataforma sísmica: $1,5 \leq f_1 \text{ (Hz)} \leq 4$, $2 \leq \xi_1 \text{ (%)}$ ≤ 5 , $6 \leq f_2 \text{ (Hz)} \leq 10$, $5 \leq \xi_2 \text{ (%)}$ ≤ 15 , para estrutura sem dano (no início do ensaio, i.e. primeiro teste), onde o amortecimento pode chegar a $\xi_1 = 10 \%$ e $\xi_2 = 25 \%$ para a estrutura com dano;

- O desempenho é avaliado por comparação do espectro de resposta da referência com o do sinal medido;

Tarefas:

1-Revisão do estado da arte

Pesquisa de referências sobre as técnicas para ensaios sísmicos e em particular sobre os ensaios em plataforma sísmica, incluindo os métodos de ensaio, configurações de montagem, bem como a instrumentação para medição e controlo dos equipamentos;

Tempo estimado: 2 semanas e, realizar ao longo do trabalho sempre que se julgue necessário;

2-Modelação matemática

Pesquisa geral de modelos ou classe de modelos matemáticos para reproduzir o comportamento dinâmico de plataformas sísmicas acionadas por unidades óleo-hidráulicas, compreender o equipamento plataforma sísmica ST1D e modelar os componentes principais que contribuem para o seu comportamento dinâmico; definição do modelo 2DOF massa/mola/amortecedor da estrutura a associar à plataforma que simula a estrutura a testar, tendo em conta as características definidas e, considerar a possibilidade de introduzir não-linearidades;

Estes modelos devem ser programados Matlab/Simulink; devem ser preparadas funções/scripts/interfaces que permitam facilmente parametrizar o modelo, calcular propriedades (modos de vibração), analisar e simular para várias entradas (sonda sinusoidal, onda quadrada, input externo – sismo);

Tempo estimado: 2 semanas;

3-Método de ensaios sísmicos LNEC

Compreender o método de ensaios sísmicos LNEC e construir as funções/modelos em Matlab/Simulink que permitam reproduzir o ensaio em ambiente de simulação, nomeadamente: o modelo em anel fechado do sistema com um controlador PID; a identificação dinâmica; a geração do sinal de comando; a construção do espectro de resposta; analisar o método no seu todo; analisar o sistema com o modelo matemático construído através de métodos analíticos (LGR, bode, ou outro), avaliar o seu comportamento às ações sísmicas e concluir quanto às vantagens e desvantagens; avaliar o comportamento do método de geração do sinal de comando;

Tempo estimado: 3 semanas;

4- Instalação Experimental

Acompanhar a finalização da instalação experimental plataforma sísmica ST1D, parte hidráulica e de automação, finalizando os esquemas de funcionamento e compreender a implementação do sistema de medição e controlo com recurso a equipamento National Instruments e programação em Labview; em particular, compreender e acompanhar a implementação o controlador PID em cascata com retroação de deslocamento e força; caracterizar o sistema plataforma sísmica com e determinar a gama de deslocamentos, velocidades e acelerações exequíveis;

Tempo estimado: 5 semanas;

5-Formação Labview

Participar na formação em Labview organizada no LNEC para compreensão da linguagem de programação e posterior futura implementação do melhor controlador no sistema da mesa sísmica ST1D;

Tempo estimado: 2 semana;

6-Estratégias de Controlo para plataforma sísmica

Pesquisa geral sobre estratégias para controlo de plataformas de ensaios sísmicos, avaliar a sua aplicabilidade ao presente caso, implementar em ambiente de simulação Matlab/Simulink, realizar as análises relevantes e necessárias, simular com as ações sísmicas disponibilizadas e modelo construído e, avaliar o seu desempenho; Estratégias a considerar: além do PID, considerar LQR, LQG, Retroação de Força, Controlo Preditivo, Adaptativo, ou outra que se julgue com potencial; comparar o desempenho das várias estratégias analisadas e concluir;

Tempo estimado: 6 semanas;

7-Identificação do sistema

Avaliar dentro dos métodos de identificação (domínio do tempo ou frequência) aquele que poderá ser mais adequado ao presente caso, i.e. lidar com as não linearidades do modelo e reproduzir melhor o comportamento dinâmico da estrutura; atendendo que atualmente a identificação é realizada com amplitude baixa (para não danificar o modelo), será possível utilizar a resposta do sismo anterior para identificar o modelo, ou complementar o modelo identificado com amplitudes mais altas?;

Implementar em Matlab/Simulink os métodos considerados e avaliar desempenho por comparação com o método existente;

Tempo estimado: 4 semanas;

8-Definição de metodologia a aplicar na realização de ensaios sísmicos

Com base nos resultados das simulações efetuadas redefinir a metodologia a aplicar na realização de ensaios sísmicos e implementar em Labview, para a realização de ensaios em plataforma na sísmica e sua validação;

Tempo estimado: 4 semanas;

9-Definição da Instrumentação e Calibração do Sistema

Proceder à definição da instrumentação a utilizar nos ensaios, calibrar os sensores com recurso a padrões de referência metrológicos, e parametrizar curvas de calibração na aplicação para operação e controlo da plataforma sísmica;

Tempo estimado: 3 semanas;

10-Realização de ensaios experimentais

Preparação de um ensaio experimental, recorrendo a uma estrutura existente a qual será alterada para reproduzir o dano ao longo do ensaio, e aplicação da nova metodologia de ensaios na plataforma sísmica ST1D e, avaliação do desempenho; realizar também um ensaio com metodologia atual para comparação e evidenciar o potencial da nova;

Tempo estimado: 5 semanas;

11-Redação da Tese

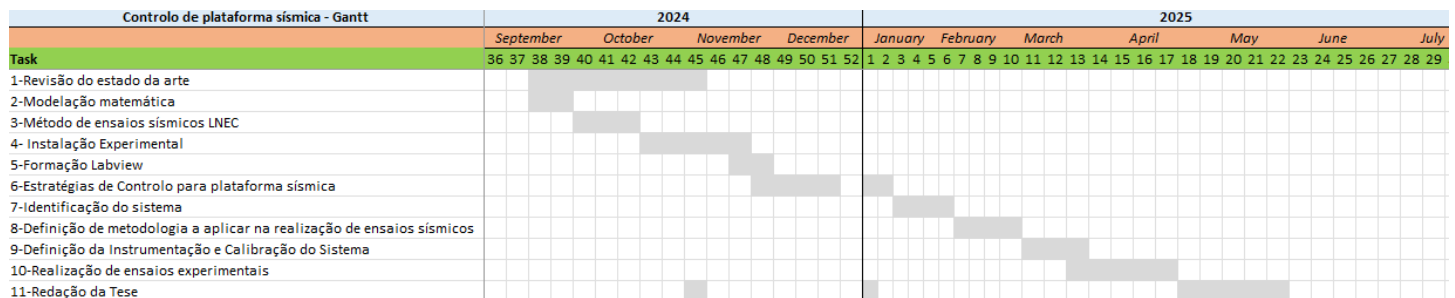
Preparação do documento escrito da tese, artigo, bem como a preparação da apresentação oral, seguindo uma apresentação lógica dos aspetos técnicos e científicos do trabalho;

Tempo estimado: 5 semanas;

Referências Bibliográficas:

Tekeste, G. G., Real-time hybrid simulation including a shaking table: development and application to soil-structure interaction, PhD Thesis, Universidade de Aveiro, 2021; URI:

<http://hdl.handle.net/10773/32045>



Anexo:

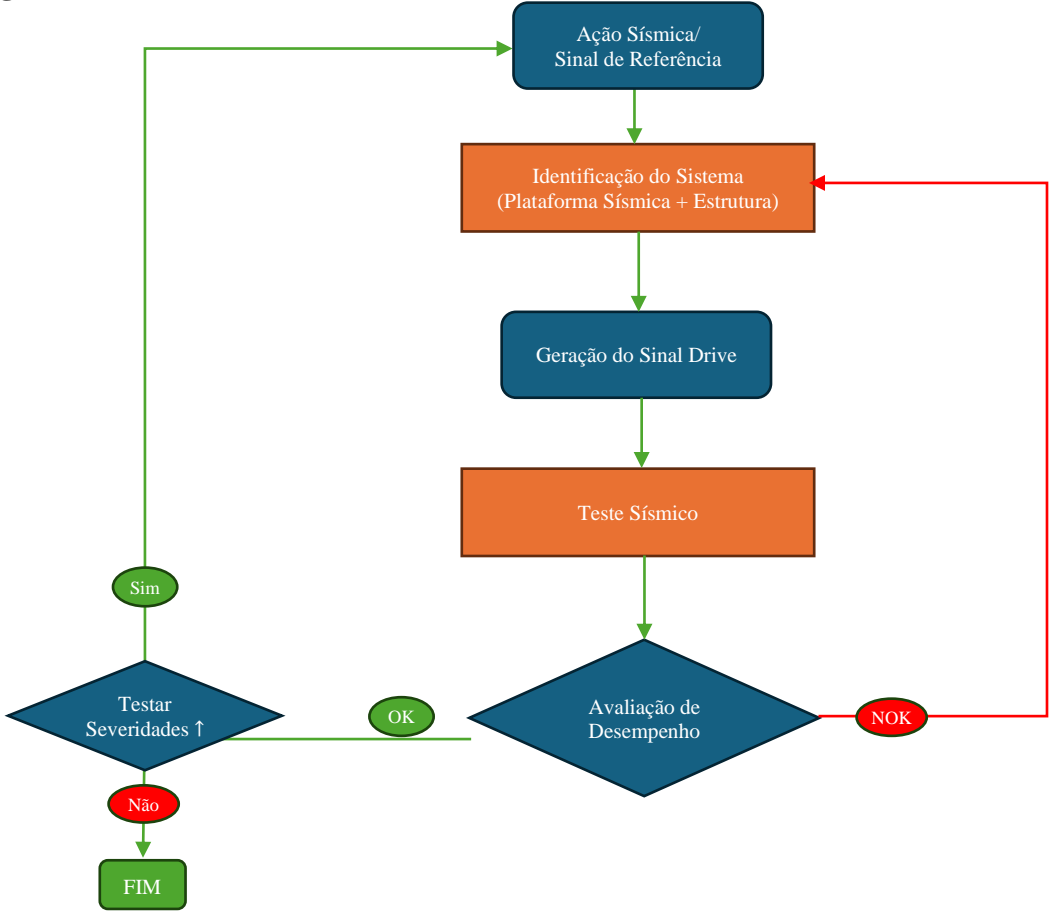
Método de Ensaio de Ensaio de Estruturas em Plataforma Sísmica no LNEC

Os Ensaios Sísmicos realizados no LNEC pretendem em geral avaliar a vulnerabilidade da estrutura a testar, que reflete a progressão do dano estrutural à medida que a severidade da ação sísmica aumenta. Deste modo, o ensaio sísmico compreende um conjunto de testes a realizar à estrutura com uma ação sísmica que se distingue em cada teste por ter uma severidade diferente, i.e. uma amplitude (valor de pico) diferente. Iniciando-se com o teste à severidade mais baixa após o qual se avaliam os danos, seguindo-se o teste com severidade superior após o qual se avaliam novamente os danos e, assim sucessivamente até à severidade mais alta, que tipicamente é realizado com a ação sísmica original, i.e. a ação com fator de escala 1.

O método utilizado no LNEC segue o seguinte procedimento:

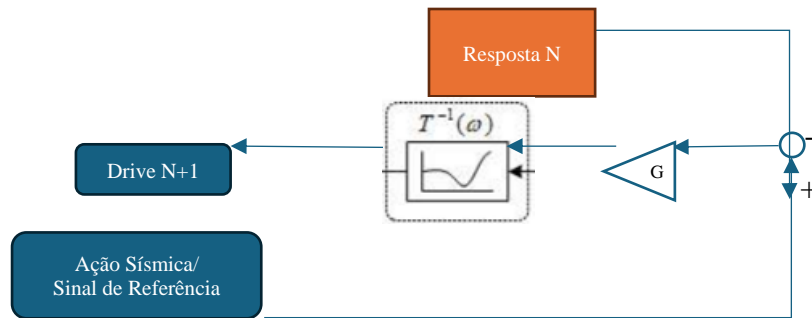
- 1- Definir a ação sísmica, i.e. sinal de Referência (Aceleração, Velocidade e Deslocamento);
- 2- Identificação do Sistema Plataforma Sísmica + Modelo (em Anel Fechado); a Função de Resposta em Frequência é obtida a partir da resposta de deslocamento para $f < f_{\text{sint}}$ e, a partir das acelerações para $f \geq f_{\text{sint}}$; f_{sint} está ajustada em $f_{\text{sint}} = 2\text{Hz}$;
- 3- Geração do sinal de Drive (em deslocamento) a impor no Sistema Plataforma Sísmica + Modelo (em Anel Fechado) utilizando o método 'Online Iteration', a partir do sinal de Referência (em Deslocamento), do modelo identificado (Função de Transferência inversa) e do sinal de Drive (em deslocamento) imposto no teste anterior;
- 4- Teste sísmico com imposição do sinal de Drive (em deslocamento) no Sistema Plataforma Sísmica + Modelo (em Anel Fechado);
- 5- Avaliação de desempenho da mesa na reprodução do sismo é efetuado por comparação do espectro de resposta em Aceleração do sinal de Resposta medido (Aceleração e Deslocamento) com o do sinal de Referência (em Aceleração); aqui também a resposta em Aceleração será a composição do sinal em deslocamento para $f < f_{\text{sint}}$ e das acelerações para $f \geq f_{\text{sint}}$; f_{sint} está ajustada em $f_{\text{sint}} = 2\text{Hz}$; poderá recorrer-se a análise dos sinais no domínio do tempo ou análise no domínio da frequência – PSD (Power Spectral Density) para análise mais detalhada;
- 6- Caso o espectro de resposta do sinal de Resposta siga o espectro de resposta do sinal de Referência -> voltar ao ponto 1 e aumentar a amplitude da ação sísmica ou, terminar se já realizado o teste com a ação mais severa;
Caso o espectro de resposta do sinal Medido siga o espectro de resposta do sinal de Referência -> voltar ao ponto 2.

Fluxograma Ensaaios Sísmicos LNEC



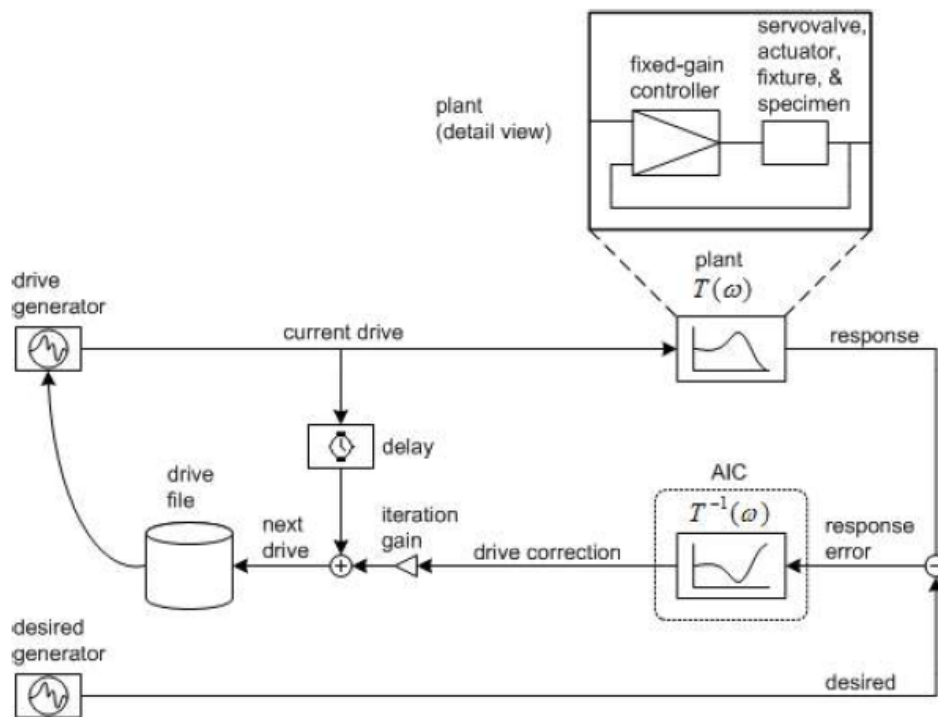
Geração do Sinal de Comando (Drive)

O algoritmo para geração do sinal de comando baseia-se no método ‘Online Iteration’, ‘OLI’ da MTS. O sinal de drive é gerado em deslocamentos.

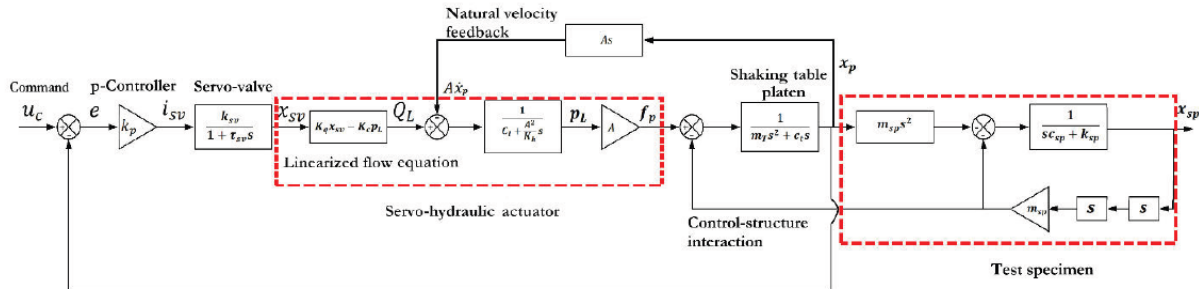


Nota: além do ganho ‘G’ a montante da FRF^{-1} , está definido o ‘Ca’ – valor de coerência, a partir do qual se contabiliza a FRF para cálculo do Drive e, ‘fc’ – frequência a partir do qual se trunca a FRF, i.e. $FRF=0$.

OLI is shown schematically in the diagram below:



Modelo com FT, PID=k (proporcional), Modelo da Estrutura 1DOF (m,k,c, com ação na base)



Espectro de Resposta

Representa os efeitos produzidos pela ação sísmica, i.e. a resposta em termos de valor de pico de um sistema 1DOF (5% amortecimento) numa gama de frequências (ou períodos).

