



• U • C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo da Propagação de um Incêndio Florestal num Duplo Desfiladeiro

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Study of the Spread of a Forest Fire in a Double Canyon

Autor

Filipe Ricardo Gaspar

Orientador

Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas

Coorientador

Doutor Jorge Rafael Nogueira Raposo

Júri

| | |
|-------------------|---|
| Presidente | Professor Doutor Jorge Campos da Silva André Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas |
| Vogais | Professor Catedrático da Universidade de Coimbra Doutor Miguel Abrantes de Figueiredo Bernardo de Almeida Investigador da Universidade de Coimbra (ADAI) Professor Doutor Domingos Xavier Filomeno Carlos Viegas |
| Orientador | Viegas Professor Catedrático da Universidade de Coimbra |

Colaboração Institucional



Coimbra, Setembro, 2016

Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces.

Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais.

Augusto Cury

Agradecimentos

Chegado ao fim deste trabalho não podia deixar de agradecer quem muito contribuiu, em vários aspetos, para a realização do mesmo.

Em primeiro lugar ao Professor Doutor Domingos Xavier Viegas por ter aceitado orientar este trabalho e pela inspiração que me transmitiu através da genuína preocupação com a problemática dos incêndios florestais. Não podia deixar de salientar também toda a preocupação mostrada para que nada faltasse para a execução de um bom trabalho.

Um especial agradecimento ao Doutor Jorge Raposo pelo auxílio nos ensaios laboratoriais e pela disponibilidade em esclarecer qualquer dúvida.

Agradecer também a toda a equipa da ADAI pela camaradagem e apoio prestado em todo o trabalho, em especial ao Mestre Joel Teixeira que para além de todo o apoio prestado foi um verdadeiro Amigo.

Aos meus colegas de curso pelo que ao longo de todo o percurso académico sempre se mostraram disponíveis, nos bons e mais momentos.

Para finalizar, aos mais especiais, Pai, Mãe, Irmã e Namorada, agradecer por todos os esforços, paciência, apoio e inspiração, dados ao longo deste percurso. Não podia acabar sem agradecer também a duas pessoas que embora já não estejam entre nós, contribuíram em muito para o que sou hoje e para o que alcancei.

A todos um muito Obrigado.

Resumo

Os incêndios florestais são os principais responsáveis pelos maiores desastres causados nas florestas, provocando também danos tanto a nível material, como a nível humano, devido à sua imprevisibilidade, rapidez e dificuldade de controlo.

Neste trabalho foi estudada a propagação de incêndios florestais num duplo desfiladeiro, uma das situações de incêndio de mais difícil combate, que, devido ao seu comportamento eruptivo, torna este estudo fundamental para um melhor combate e compreensão, a fim de evitar danos de maior impacto.

O estudo desta problemática começou primeiramente com um estudo detalhado da mesa de ensaios onde o pretendido era uma melhor compreensão do funcionamento da mesa a fim de detetar possíveis aspetos a melhorar e para a obtenção de diferentes configurações de desfiladeiro mais precisas. Esta mesa de ensaios é composta por quatro painéis distintos que nos permitem obter configurações semelhantes à topografia em situações reais.

Os ensaios foram realizados em laboratório com condições controladas, onde se definiram três ângulos distintos que nos permitem obter geometricamente a topografia que se pretende simular. Dependendo da configuração escolhida foi possível criar dois desfiladeiros em simultâneo, e, formando com isso duas linhas de água secundárias.

Realizados os ensaios e com os resultados obtidos, foi possível a análise detalhada das velocidades de propagação do fogo segundo a configuração do desfiladeiro e a direção tomada.

Para finalizar foi feita uma comparação dos resultados a fim de se verificar quais as condições mais favoráveis a propagação do fogo e conseqüentemente mais perigosas para o seu combate.

Palavras-chave: Incêndios florestais, Segurança em incêndios, Duplo desfiladeiro, Fogo eruptivo, Veículos de combate aos Incêndios, Sistema de proteção coletivo.

Abstract

Forest fires are the main responsible for the largest disasters in forests, also causing damage in the equipment as the human, caused by its unpredictability, speed and difficulty of control.

In this work was studied the spread of fire in a double canyon, one of the fire situations more difficult to combat, which due to its eruptive behavior, makes this study fundamental to better combat and understanding, in order to avoid other major impact damage.

The study of this problem firstly started with a detailed study of the testing table where the target was a better understanding of the operation table in order to detect possible to improve aspects and to obtain more accurate different canyon configurations. This table tests consisted in a 4 different panels that allows us to settings similar to the real topography situations.

The experiments were performed in a laboratory under controlled conditions, which are defined three distinct angles that allow us to obtain geometrically topography that is intended to simulate. Depending on the chosen configuration was possible to create two canyons simultaneously, and thus forms two lines of secondary water.

Carried out the tests and the results obtained, it was possible the detailed analysis of fire propagation speeds of the canyon setting and the direction taken.

Finally, a comparison was made of the results in order to verify the most favorable conditions the spread of fire and therefore more dangerous to your combat.

Keywords Forest fires, fires safety, Eruptive-fire, fire combat, Double canyon, Collective protection system.

Índice

| | |
|---|-------------------------------------|
| Índice de Figuras | v |
| Índice de Tabelas | vi |
| Simbologia e Siglas..... | vii |
| Simbologia | vii |
| Siglas..... | vii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Motivação e âmbito do estudo | 1 |
| 1.2. Definição do trabalho..... | 2 |
| 1.3. Dificuldades | 2 |
| 2. Estado da arte | 4 |
| 2.1. Visão global | 4 |
| 2.2. Comportamento eruptivo | 5 |
| 3. Definição do duplo desfiladeiro..... | 7 |
| 3.1. Descrição geométrica..... | 8 |
| 3.2. Mesa de Ensaios..... | Erro! Marcador não definido. |
| 3.3. Limitações e sugestões de melhoria..... | 10 |
| 3.4. Instrumentação da mesa | 11 |
| 4. Metodologia experimental | 13 |
| 4.1. Componente Laboratorial | 13 |
| 4.2. Ensaios Laboratoriais..... | 14 |
| 4.3. Tratamento de dados | 16 |
| 5. Resultados e discussão | 21 |
| 5.1. Velocidade de básica de propagação/humidade do Combustível | 21 |
| 5.2. Velocidade de Propagação | 21 |
| 5.2.1. Configurações com $\alpha=0^\circ$ | 23 |
| 5.2.2. Configurações com $\alpha=20^\circ$ | 25 |
| 5.2.3. Configurações com $\alpha=30^\circ$ | 27 |
| 5.2.4. Configurações com $\alpha=40^\circ$ | 29 |
| 5.3. Comparação de velocidades..... | 30 |
| 5.3.1. Velocidades com $\alpha=0^\circ$ | 31 |
| 5.3.2. Velocidades com $\alpha=20^\circ$ | 32 |
| 5.3.3. Velocidades com $\alpha=30^\circ$ | 35 |
| 5.3.4. Velocidades com $\alpha=40^\circ$ | 37 |
| 6. CONCLUSÕES | 39 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |
| ANEXOS | 40 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-------------------------------------|
| Figura 1. Área de queima constituída pelos 4 painéis distintos..... | 8 |
| Figura 2. Representação dos ângulos formados pelos painéis e pela linha de água. | 9 |
| Figura 3. Direções de propagação da frente de fogo. | 10 |
| Figura 4. Vista de topo da mesa de ensaios. | Erro! Marcador não definido. |
| Figura 5. Exemplo de uma configuração possível na mesa. Erro! Marcador não definido. | |
| Figura 6. Exemplo da mesa de ensaios com uma configuração alternativa..... | 11 |
| Figura 7. Exemplo de um dos inclinómetros adquiridos e instalados na mesa de ensaios. . | 11 |
| Figura 8. Inclinómetros conectados ao computador e respetiva interface. | 12 |
| Figura 9. Área de queima constituída pelos 4 painéis distintos..... | 14 |
| Figura 10. Determinação da velocidade básica de propagação, R_0 | 15 |
| Figura 11. Exemplo de uma fotografia captada a partir da plataforma (Ensaio 29)..... | 17 |
| Figura 12. Exemplo de um fotograma IV do ensaio 18 capturado através do ThermaCAMTM | 18 |
| Figura 13. Contornos da frente de fogo obtidos através do Microstation 95 (Ensaio 13). .. | 18 |
| Figura 14. Imagem Excel Corrigida através do programa Microstation 95 (Ensaio 13)..... | 19 |
| Figura 15. Gráfico comparativo das velocidades R_2 e R_3 segundo as direções D_2 e D_3 | 20 |
| Figura 16. Gráfico representativo do R_0 em função de H_{comb} | 21 |
| Figura 17. Figura representativa das várias configurações para $\alpha=0^\circ$ | 23 |
| Figura 18. Figura representativa das várias configurações para $\alpha=20^\circ$ | 25 |
| Figura 19. Figura representativa das várias configurações para $\alpha=30^\circ$ | 27 |
| Figura 20. Figura representativa das várias configurações para $\alpha=40^\circ$ | 29 |
| Figura 21. Velocidades $R'1$ para $\alpha=0^\circ$ | 31 |
| Figura 22. Velocidades $R'2R'3$ para $\alpha=0^\circ$ | 32 |
| Figura 23. Velocidades $R'1$ para $\alpha=20^\circ$ | 33 |
| Figura 24. Velocidades $R'2R'3$ para $\alpha=20^\circ$ | 34 |
| Figura 25. Velocidades $R'1$ para $\alpha=30^\circ$ | 35 |
| Figura 26. Velocidades $R'2R'3$ para $\alpha=30^\circ$ | 36 |
| Figura 27. Velocidades $R'1$ para $\alpha=40^\circ$ | 37 |
| Figura 28. Velocidades $R'2R'3$ para $\alpha=40^\circ$ | 38 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1:Ensaio experimentais realizados | 13 |
| Tabela 2. Dados de cada ensaio. | 16 |
| Tabela 3. Valores de t_0 para vários combustíveis. | 20 |

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

| | | |
|------------|------|---|
| α | ° | Ângulo entre a mesa e o chão do laboratório |
| δ_1 | ° | Ângulo entre os painéis A, B e a mesa |
| δ_2 | ° | Ângulo entre os painéis C, D e a mesa |
| D_1 | | Direção de propagação desde a ignição até ao topo da mesa |
| D_2 | | Direção de propagação desde a ignição ao topo da mesa na diagonal |
| D_3 | | Direção de propagação desde a ignição ao topo da mesa na diagonal |
| D_2D_3 | | Direção de propagação média entre D_2 e D_3 |
| R' | | Velocidade de propagação adimensional |
| R_0 | cm/s | Velocidade básica de propagação |
| R_1 | cm/s | Velocidade de propagação da direção D_1 |
| R_2 | cm/s | Velocidade de propagação da direção D_2 |
| R_3 | cm/s | Velocidade de propagação da direção D_3 |
| R_2R_3 | cm/s | Velocidade de propagação na direção de D_2 e D_3 |
| t' | | Tempo adimensional |
| t_0 | s | Tempo de residência |
| H_{comb} | % | Humidade do combustível |
| HR | % | Humidade relativa do ar |
| T | °C | Temperatura do ar |
| P | kg | Peso total de |

Siglas

ADAI – Associação para o desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

LEIF – Laboratório de Estudos Sobre Incêndios Florestais

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação e âmbito do estudo

Segundo (Viegas D.X., 2011) os incêndios florestais têm a particularidade de evoluir ao longo do tempo e do espaço de uma forma complexa, como resultado de um conjunto de fenómenos de natureza física e química que dependem de múltiplos fatores. Para que exista propagação de fogo terá de existir também uma reação de combustão que necessita de combustível para se alimentar e manter. No caso dos espaços florestais ou rurais, o combustível é geralmente limitado pelo que o fogo, ao fim de algum tempo terá de se propagar ao combustível adjacente, caso contrário extingue-se.

O comportamento do fogo, durante a sua propagação, condiciona de uma forma marcante todos os aspetos que se relacionam com os incêndios, sendo essencial determinar medidas e técnicas que ajudem a prevenção e combate suavizando os seus efeitos.

Assim, com base no carácter dinâmico do fogo e na sua perigosidade podemos considerar dois tipos de comportamento, o comportamento normal e o comportamento extremo.

O comportamento normal caracteriza-se por uma velocidade de propagação geralmente baixa que não constitui risco elevado, tendo como exemplo o fogo de superfície normal.

O comportamento extremo caracteriza-se por ter uma velocidade de propagação muito elevada e crescente em relação ao tempo, como tal, comporta grandes riscos para a segurança e um grande impacto ambiental. Temos como exemplo neste modo de propagação os fogos de copas e os fogos eruptivos.

Os fogos eruptivos são na grande maioria das vezes os principais responsáveis pelos acidentes que vitimam, tanto combatentes, como civis. Estes são caracterizados pelo rápido avanço da frente de fogo onde a velocidade de propagação aumenta abruptamente, acompanhada de correntes de ar muito fortes e extremamente quentes.

1.2. Definição do trabalho

O que se pretende com este trabalho, para além do estudo da propagação de um incêndio florestal num duplo desfiladeiro, é compreender e melhorar o recurso existente para o teste deste tipo de situações de fogo.

Para melhor compreender a mesa de ensaios foi construída um replica 3D no programa de computador SolidWorks e a partir daí foram conhecidas todas as configurações possíveis e limitações da mesma. Procurou-se também instalar inclinómetros digitais em todas as partes móveis da mesma a fim de assegurar uma maior precisão aquando da configuração estabelecida previamente para determinado ensaio.

Passando para os ensaios propriamente ditos, na preparação dos mesmos foram tidos em conta vários aspetos, como a temperatura ambiente e a humidade do ar no local. O combustível escolhido para os ensaios foi a caruma seca, que antes de ser espalhada uniformemente sobre a mesa era previamente pesada, sendo o seu peso final dependente da sua humidade àquela hora do dia, da área da mesa e da carga em base seca.

Os ensaios foram realizados numa mesa que nos permite obter um elevado número de configurações de duplo desfiladeiro. Esta é constituída por quatro painéis independentes, acionados hidráulicamente, o que nos permite também variar a inclinação da linha de água principal.

As configurações de duplo desfiladeiro a serem ensaiadas foram previamente definidas e determinou-se também que essas configurações seriam simétricas relativamente à linha de água principal. O local de ignição foi o mesmo para todos os ensaios para permitir uma maior facilidade de análise.

Já na fase dos ensaios propriamente ditos, todos eles foram registados de três formas distintas, através de camera de infravermelhos, camera de vídeo e fotografia. Posteriormente todos os dados foram tratados através de software informático.

1.3. Dificuldades

As dificuldades encontradas na realização deste trabalho foram várias.

Começando pelas condições climatéricas, que este ano foram inconstantes até meados de Junho, não nos permitindo definir datas para a realização dos ensaios, pois com

chuva não é possível a utilizar eficientemente os extratores de fumo do laboratório da Lousã. Outro aspeto que a chuva iria influenciar seria no teor de humidade dos combustíveis, que iria ser demasiado elevado, não apresentando valores semelhantes ao da época mais propensa a incêndios florestais, diminuído assim o valor da velocidade básica de propagação. De referir que a chuva iria também influenciar os valores da temperatura ambiente e da humidade relativa.

Outra dificuldade foi a falta de combustível já na fase final dos ensaios que não permitiu a realização de um maior número de ensaios.

O atraso na receção dos inclinómetros de medição de declive, condicionou também o início dos trabalhos experimentais, reduzindo o tempo para os mesmos.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Visão global

Um incêndio florestal é uma propagação do fogo sobre a vegetação, libertando energia e calor resultante de uma combustão (Trejo, 1996).

Os incêndios florestais são um fenómeno a escala mundial e nos últimos anos o número de ocorrências tem vindo a aumentar consideravelmente devido às alterações climáticas, ao aumento do número de terrenos baldios ou até mesmo devido a questão de ordenamento de território.

Os incêndios florestais destroem as florestas, podendo por vezes provocar mortes de civis e bombeiros (Viegas, 2004). Causam imensos problemas/prejuízos nomeadamente: destruição de casas e outras edificações, morte de animais, poluição do ar, contaminação de águas, queima de plantações agrícolas e intoxicações por monóxido de carbono, cianido, aldeídos, ácido clorídrico, cloro, foscénio, amónia dióxido sulfúrico e ácido acético (Viegas, 1998).

De modo a que a interação que existe entre o Homem e o fogo não resulte em situações que coloquem em perigo vidas e bens, é necessário ter um conhecimento vasto sobre o fogo e o seu comportamento, uma vez que muitos dos acidentes relacionados com incêndios florestais se devem a um conhecimento insuficiente sobre o fogo e o seu comportamento (Viegas, 2011).

O estudo do comportamento do fogo baseado em ensaios experimentais teve como pioneiros Curry and Fons (1938, 1940), tendo sido a partir deste momento que houve a intenção de produzir modelos que tomassem em conta os fenómenos decorrentes dos incêndios florestais. Contudo, o estudo destes fenómenos e do comportamento do fogo remonta ao início do século XX, com Hawley (1926) e Gisborne (1927, 1929) que, de uma forma mais teórica e baseados na observação, analisaram os fatores que influenciam os fogos florestais, tentando prever os seus efeitos. É nestes estudos que se encontra a base para toda a investigação realizada nas décadas seguintes, nesta área.

Um modelo pode ser descrito por um conjunto de equações cujas soluções fornecem

valores numéricos correspondentes aos parâmetros que caracterizam as propriedades de propagação do fogo (Pastor et al., 2003) por isto, é natural a sua utilização para prever e explicar o comportamento do fogo, funcionando também como uma ferramenta na gestão de incêndios florestais. De acordo com a definição apresentada em Sullivan (2009a) estes modelos são classificados em três tipos distintos:

- Físicos, os que fazem uso das leis da química da combustão e da transferência de calor.
- Semi-Físicos, os que fazem uso das leis da transferência de calor, mas não têm em conta os processos químicos.
- Empíricos, usam a descrição estatística simples dos dados experimentais, sem incorporação de processos físicos.
- Semi-empíricos, os quais combinam dados físicos ou matemáticos com correlações estatísticas obtidas a partir de incêndios reais ou testes de laboratório para os relacionar com a velocidade de propagação.

2.2. Comportamento eruptivo

A elevada velocidade de propagação dos incêndios florestais têm originado prejuízos devastadores e perda de vidas humanas. Muitos dos acidentes relacionados com bombeiros e civis deve-se ao comportamento eruptivo do fogo. Este comportamento do fogo ocorre frequentemente em desfiladeiros de declive acentuado e consiste num aumento abrupto da velocidade de propagação acompanhada de fortes correntes de ar, situação a que deram o nome de “Efeito de Chaminé”. Este efeito chaminé tem de ser conhecido pelos bombeiros, que têm sido ao longo dos anos as principais vítimas (Viegas et al, 2000) e por todas as pessoas que estão relacionadas com a gestão da floresta, para que se reduzam os riscos e perigos de incêndio. O próprio incêndio faz surgir correntes convectivas que aceleram a combustão, pelo que neste caso os incêndios não devem ser combatidos de cima para baixo, pois a área ascendente pode arder em poucos minutos, não dando tempo de fuga a quem lá se encontrar (Viegas, 2002).

Quando os incêndios deflagram nestas zonas, partículas incandescentes elevam-se na atmosfera e são projetadas, criando fogos secundários, em caso de vento forte estas mesma podem atingir quilómetros de distância (Manzello et al., 2006). Este efeito é conhecido na literatura anglo-saxónica por “Firebrand” e “blow-up”, que corresponde a uma

espécie de explosão, que parece verificar-se no comportamento do fogo nestas circunstâncias. Viegas, propôs a designação de “erupção” para este fenómeno, dada a semelhança que apresenta, em termos qualitativos, com a erupção de um vulcão, em que também subitamente se desencadeia um processo convectivo de elevada intensidade (Viegas, 2005).

Em desfiladeiros e em encostas com declive acentuados, a velocidade de propagação não é homogénea, na medida em que o próprio fogo gera correntes de convecção. Tomando por referência a velocidade básica de propagação do fogo R_0 , quando este se propaga em terreno horizontal e na ausência de vento, a velocidade de propagação que o fogo pode atingir numa encosta ou num desfiladeiro, em caso de erupção, pode ser cerca de centenas vezes superior a R_0 . Nalguns casos estudados, segundo Viegas, “este aumento de velocidade cifrou-se mesmo pelas centenas de vezes em relação àquele valor” (Viegas, 2005).

3. DEFINIÇÃO DO DUPLO DESFILADEIRO

3.1. Mesa de Ensaio

A mesa de ensaios localizada no LEIF na Lousã tem aproximadamente 1,70m de altura e é composta por quatro painéis triangulares distintos que juntos formam um quadrado com 3m de lado, que corresponde a uma área de 9 m^2 , área essa, onde é feita a queima de combustível. Para uma melhor compreensão do seu funcionamento e limitações foi elaborado um esquema da mesa em 3D no programa SolidWorks (Figura 1).

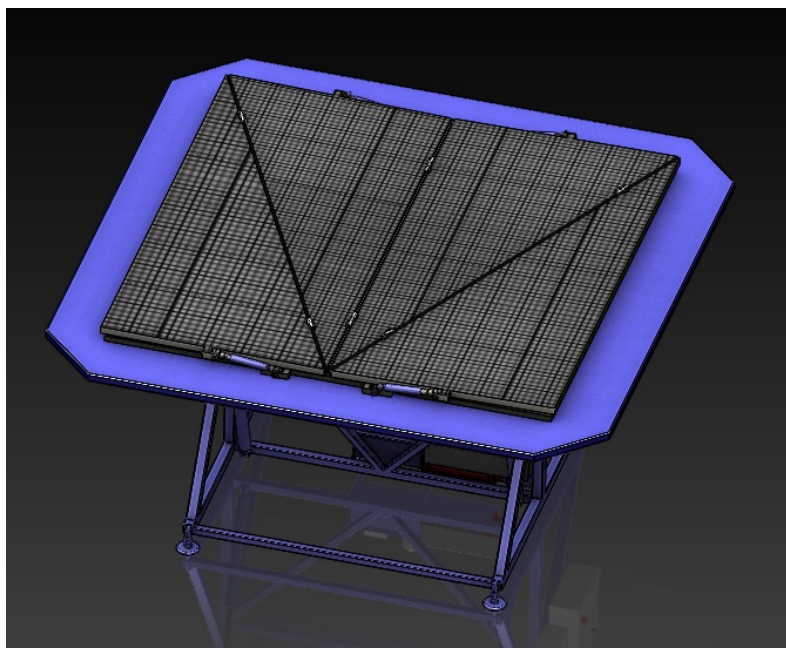


Figura 1. Vista de topo da mesa de ensaios.

A mesa é acionada hidraulicamente, tanto nos quatro painéis (A, B, C e D que serão explicados posteriormente) como no conjunto dos quatro painéis em simultâneo (plataforma principal), sendo isso que nos permite obter a configuração desejada para os três ângulos. O acionamento dos cilindros hidráulicos é feito através de um comando que permite

subir ou descer cada um dos painéis separadamente ou os quatro em simultâneo, o que permite alterar a inclinação da linha de água principal como mostra a Figura 2.

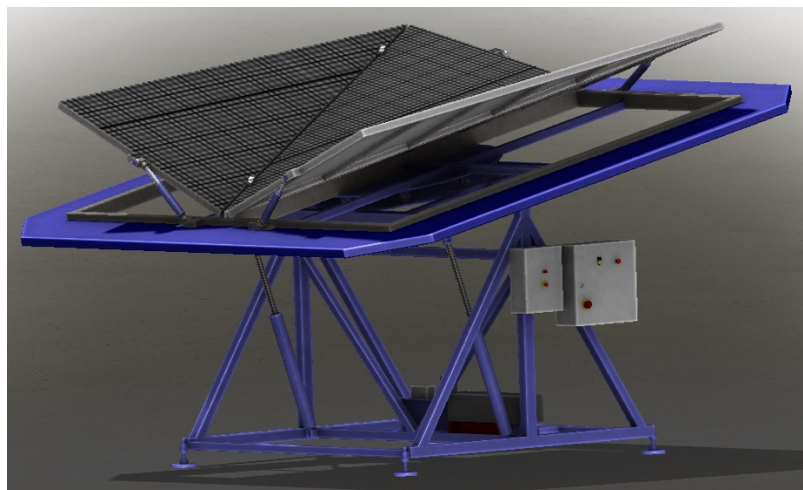


Figura 2. Exemplo de uma configuração possível na mesa.

3.2. Descrição geométrica

Como já foi falado anteriormente esta mesa é formada por quatro painéis distintos (Figura 3) aos quais foi atribuída as letras, A, B, C, D respetivamente. A área total do conjunto dos quatro painéis é de $9 m^2$.

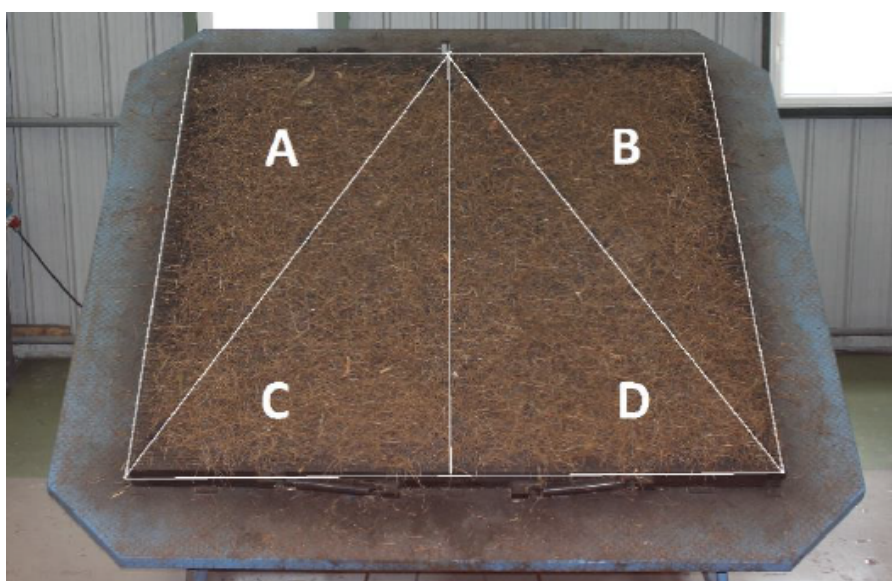


Figura 3. Área de queima constituída pelos quatro painéis distintos.

Os quatro painéis, acionados hidráulicamente, e montados sobre uma plataforma também ela acionada hidráulicamente, que determina o ângulo da linha de água, podem assim formar três ângulos de configuração distintos, ângulos os quais foram designados de α , δ_1 e δ_2 , como mostra a Figura 4.

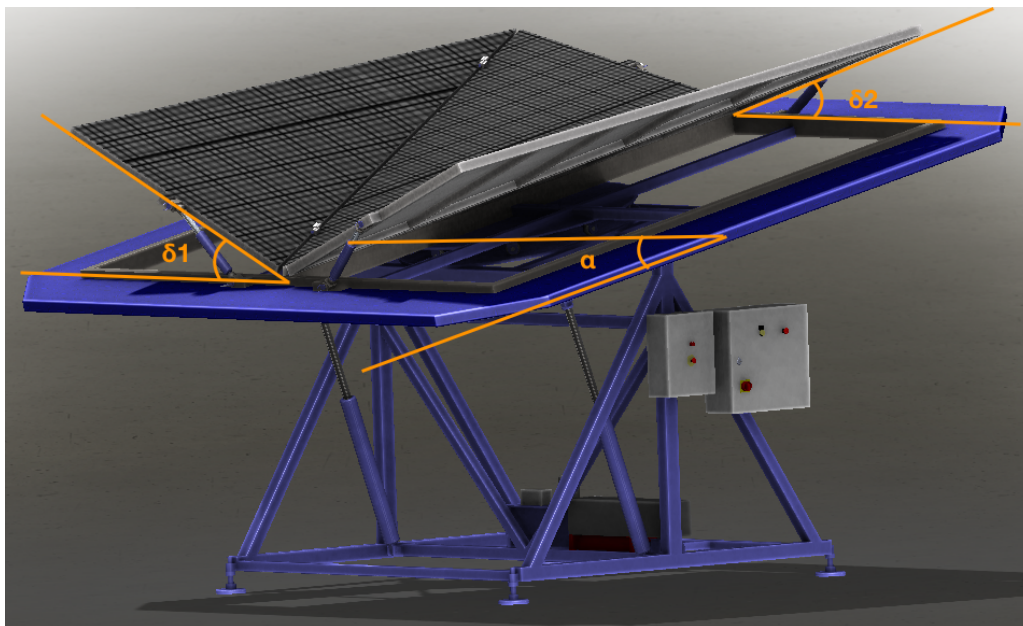


Figura 4. Representação dos ângulos formados pelos painéis e pela linha de água.

De referir que todos os ângulos variam entre 0° e 40° e que ângulo δ_2 (ângulo formado pelos painéis C e D em relação a plataforma principal) tem de ser sempre igual ou inferior ao ângulo de δ_1 (ângulo formado pelos painéis A e B em relação a plataforma principal).

Para uma melhor análise das velocidades das frentes de fogo definiu-se que as velocidades seriam analisadas segundo três direções de propagação de frente de fogo, D_1 , D_2 e D_3 , as quais foram atribuídas as designações de R_1 , R_2 e R_3 (Figura 5). Estes valores são obtidos a partir da medição das distâncias entre as linhas representativas da frente de fogo em função do tempo.

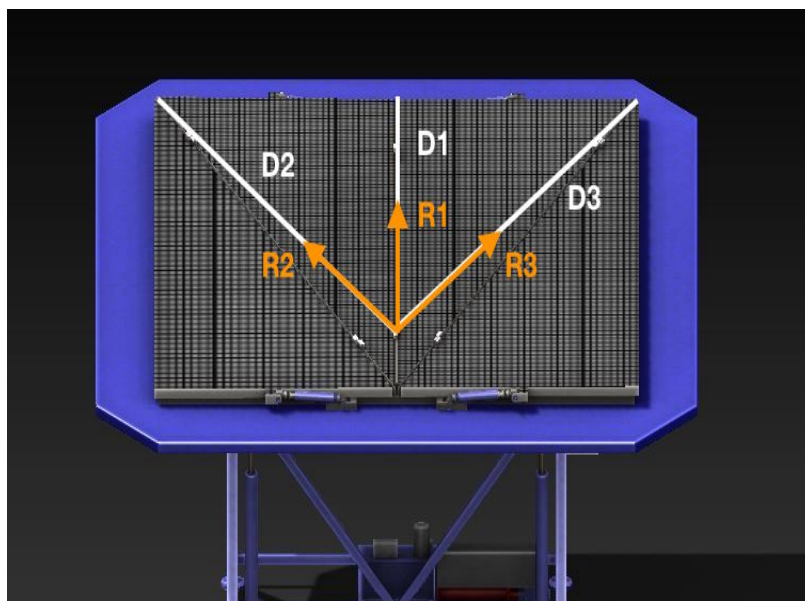


Figura 5. Direções de propagação da frente de fogo.

3.3. Limitações e sugestões de melhoria

Após o estudo mais pormenorizado da mesa constatou-se que a amplitude máxima que os cilindros hidráulicos permitem é de 40° , quer em cada um dos quatro painéis triangulares quer na linha de água principal. Esta limitação poderia ser resolvida com o aumento do comprimento dos cilindros hidráulicos. Este aumento iria permitir obter maiores declives para estudo.

Através do desenho 3D constatei também que se os cilindros tivessem os apoios em rótula permitiria outro tipo de configurações que não apenas as de duplo desfiladeiro (Figura 6).

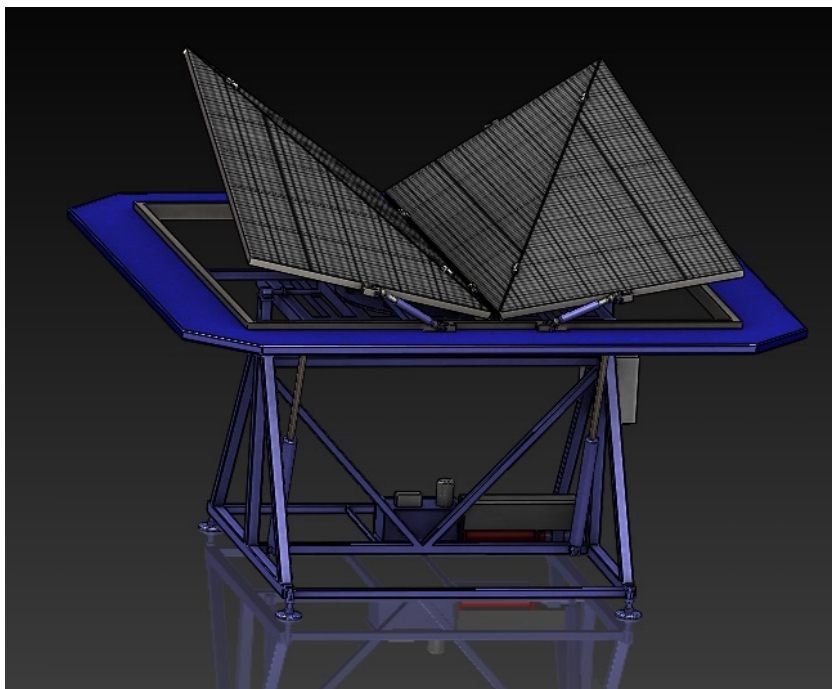


Figura 6. Exemplo da mesa de ensaios com uma configuração alternativa.

3.4. Instrumentação da mesa

Para um melhor controlo e precisão nas amplitudes dos ângulos formados pelos painéis e linha de água principal foram adquiridos e instalados inclinómetros digitais (Figura 7), com ligação ao computador (Figura 8), fixos magneticamente por baixo de em cada um dos painéis. Estes inclinómetros permitem-nos receber toda a informação acerca do ângulo segundo o eixo dos xx e yy e do ângulo do painel no momento através de uma interface própria instalada no computador, possibilita também obter um registo de todas as variações angulares e exportá-las diretamente para o Excel.



Figura 7. Exemplo de um dos inclinómetros adquiridos e instalados na mesa de ensaios.



Figura 8. Inclinómetros conectados ao computador e respetiva interface.

4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1. Componente Laboratorial

Para a elaboração deste estudo foi fundamental o Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF) da Universidade de Coimbra, situado na Lousã. Foi neste local que foram realizados todos os ensaios experimentais, pois possui condições excepcionais a todos os níveis para a realização dos mesmos.

Foram realizados 29 ensaios laboratoriais (Tabela 1) com o fim de estudar a propagação do fogo. As diferentes configurações estudadas encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 1. Ensaios experimentais realizados

| Ensaio | Ângulos | | |
|--------|--------------|----------------|----------------|
| | α [°] | δ_1 [°] | δ_2 [°] |
| 1 | 0 | 20 | 0 |
| 2 | 0 | 20 | 20 |
| 3 | 0 | 30 | 0 |
| 4 | 0 | 30 | 20 |
| 5 | 0 | 30 | 30 |
| 6 | 0 | 40 | 20 |
| 7 | 0 | 40 | 30 |
| 8 | 0 | 40 | 40 |
| 9 | 20 | 20 | 0 |
| 10 | 20 | 20 | 20 |
| 11 | 20 | 30 | 20 |
| 12 | 20 | 40 | 20 |
| 13 | 20 | 40 | 30 |
| 14 | 20 | 40 | 40 |
| 15 | 30 | 20 | 20 |
| 16 | 30 | 30 | 0 |
| 17 | 30 | 30 | 20 |
| 18 | 30 | 30 | 30 |
| 19 | 30 | 40 | 0 |
| 20 | 30 | 40 | 20 |
| 21 | 30 | 40 | 30 |
| 22 | 40 | 40 | 40 |
| 23 | 40 | 40 | 30 |
| 24 | 40 | 40 | 20 |
| 25 | 40 | 40 | 0 |
| 26 | 40 | 30 | 20 |
| 27 | 40 | 30 | 0 |
| 28 | 40 | 20 | 0 |
| 29 | 40 | 0 | 0 |

4.2. Ensaios Laboratoriais

Os ensaios para o estudo da propagação de um incêndio florestal num duplo desfiladeiro foram divididos em quatro grupos, estes diferenciados pelo ângulo α , que varia entre 0° e 40° , correspondente a linha de água. Estes quatro grupos foram ainda subdivididos em oito grupos com δ_1 e δ_2 a variar entre 0° e 40° . Todas estas configurações podem ser consultadas na Tabela 1. Todos estes ensaios foram realizados de forma completamente aleatória a fim de mitigar o efeito de erros sistemáticos.

O ponto de ignição foi localizado na linha de água principal a 50 cm do início da mesa (Figura 9), para todos os vinte e nove ensaios.



Figura 9. Área de queima constituída pelos 4 painéis distintos.

A preparação para o ensaio consistiu em, primeiramente, medir o teor de humidade da caruma seca para posteriormente calcular a quantidade exata de combustível húmido a utilizar no ensaio. Para essa medição foi utilizada uma balança de determinação de teor de humidade, onde foram colocadas 0,500g de caruma, que foram secas durante 10 minutos a uma temperatura de 105°C .

O peso do combustível a usar no ensaio foi calculado através de uma folha de cálculo Excel disponibilizada e tem como variáveis principais, o teor de humidade, a área de queima e a carga de combustível.

Depois de obtido o peso exato da caruma para o ensaio, esta era colocada em cestos próprios para o efeito e pesados numa balança até que atingir o peso pretendido, para posteriormente ser espalhada uniformemente na área de queima da mesa de ensaios. Antes

de começar o ensaio foi ainda registada a temperatura e a humidade relativa do ar que se verificavam no laboratório.

À semelhança do todos os outros ensaios levados a cabo no LEIF, também estes foram preparados de acordo com o protocolo (Rossa, 2009).

O combustível utilizado é caracterizado como sendo do tipo fino morto, neste caso a caruma seca. Para que todos os ensaios tivessem a mesma carga de combustível, foi definida uma carga de $0,8 \text{ kg/m}^2$ em base seca.

É também determinada a velocidade básica da frente de fogo (R_0) (Figura 10), pois trata-se de um parâmetro muito importante. Esta determinação é feita pelo menos duas vezes por dia; uma no início dos trabalhos da manhã e outra ao início dos trabalhos da tarde.



Figura 10. Determinação da velocidade básica de propagação, R_0

Para o cálculo do R_0 foi utilizada a mesa da Figura 10 que tem a forma de um quadrado com 1m de lado, onde foram colocados fios de algodão com intervalos de 10 cm. Na mesa foram colocados nove fios sendo que a cronometragem começa assim que a frente de fogo toca no primeiro fio, não sujeito a ação do combustível fóssil, sendo depois guardados todos os tempos que a frente de chamas demora a cortar cada um dos fios. A velocidade de propagação foi depois calculada numa folha de Excel. Os valores de R_0 encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Dados de cada ensaio.

| Ensaio | Ângulos | | | T[°] | HR [%] | Hcomb[%] | Peso [kg] | RO[cm/s] |
|--------|--------------|----------------|----------------|------|--------|----------|-----------|----------|
| | α [°] | $\delta 1$ [°] | $\delta 2$ [°] | | | | | |
| 1 | 0 | 20 | 0 | 28,5 | 44 | 8,91 | 7,91 | 0,34 |
| 2 | 0 | 20 | 20 | 35,0 | 30 | 8,91 | 7,91 | 0,34 |
| 3 | 0 | 30 | 0 | 35,0 | 29 | 8,91 | 7,91 | 0,34 |
| 4 | 0 | 30 | 20 | 35,5 | 24 | 7,69 | 7,80 | 0,35 |
| 5 | 0 | 30 | 30 | 36,8 | 23 | 6,75 | 7,72 | 0,42 |
| 6 | 0 | 40 | 20 | 39,2 | 17 | 6,75 | 7,72 | 0,42 |
| 7 | 0 | 40 | 30 | 37,2 | 25 | 7,10 | 7,75 | 0,42 |
| 8 | 0 | 40 | 40 | 35,2 | 27 | 7,10 | 7,75 | 0,42 |
| 9 | 20 | 20 | 0 | 33,7 | 29 | 7,10 | 7,75 | 0,42 |
| 10 | 20 | 20 | 20 | 38,0 | 20 | 9,71 | 7,87 | 0,33 |
| 11 | 20 | 30 | 20 | 33,0 | 32 | 10,71 | 8,06 | 0,32 |
| 12 | 20 | 40 | 20 | 29,9 | 39 | 10,71 | 8,06 | 0,32 |
| 13 | 20 | 40 | 30 | 37,1 | 25 | 9,71 | 7,97 | 0,33 |
| 14 | 20 | 40 | 40 | 31,3 | 40 | 10,71 | 8,06 | 0,32 |
| 15 | 30 | 20 | 20 | 40,7 | 17 | 9,71 | 9,97 | 0,33 |
| 16 | 30 | 30 | 0 | 33,1 | 28 | 8,75 | 7,89 | 0,34 |
| 17 | 30 | 30 | 20 | 33,5 | 27 | 8,75 | 7,89 | 0,34 |
| 18 | 30 | 30 | 30 | 29,7 | 34 | 8,75 | 7,89 | 0,34 |
| 19 | 30 | 40 | 0 | 35,0 | 31 | 8,91 | 7,90 | 0,34 |
| 20 | 30 | 40 | 20 | 32,0 | 34 | 10,22 | 8,02 | 0,33 |
| 21 | 30 | 40 | 30 | 32,9 | 32 | 10,22 | 8,02 | 0,33 |
| 22 | 40 | 40 | 40 | 28,5 | 44 | 10,43 | 8,04 | 0,33 |
| 23 | 40 | 40 | 30 | 30,9 | 39 | 10,43 | 8,04 | 0,33 |
| 24 | 40 | 40 | 20 | 31,9 | 36 | 10,43 | 8,04 | 0,33 |
| 25 | 40 | 40 | 0 | 33,2 | 33 | 10,43 | 8,04 | 0,33 |
| 26 | 40 | 30 | 20 | 36,6 | 28 | 8,91 | 7,90 | 0,34 |
| 27 | 40 | 30 | 0 | 36,9 | 28 | 8,91 | 7,90 | 0,34 |
| 28 | 40 | 20 | 0 | 37,4 | 27 | 8,91 | 7,90 | 0,34 |
| 29 | 40 | 0 | 0 | 37,1 | 28 | 8,91 | 7,90 | 0,34 |

4.3. Tratamento de dados

No tratamento de dados foram necessários os dados registados pelas câmaras de infravermelhos, de vídeo e fotográfica (figura 11,12), que eram colocadas estrategicamente numa plataforma extensível verticalmente que permitia filmar toda a mesa de ensaios, uma vez que as diferentes configurações são impossíveis de captar ao nível do solo.



Figura 11. Exemplo de uma fotografia captada a partir da plataforma (Ensaio 29).

Dos métodos de recolha de dados o mais importante para o estudo é o filme por camera de infravermelhos (Figura 12), pois permite a elaboração de fotogramas sequenciais que permitem registar a evolução da frente de fogo ao longo do ensaio.

No tratamento dos dados foram usados programas, o ThermaCAMTM, o Microstation 95 e o Excel 2016.

O primeiro programa a utilizar é o ThermaCAMTM, pois é ele que nos permite seleccionar os fotogramas pretendidos para a posterior análise. Estes fotogramas foram capturados em intervalos de tempo correspondentes a 10% do tempo total do ensaio.

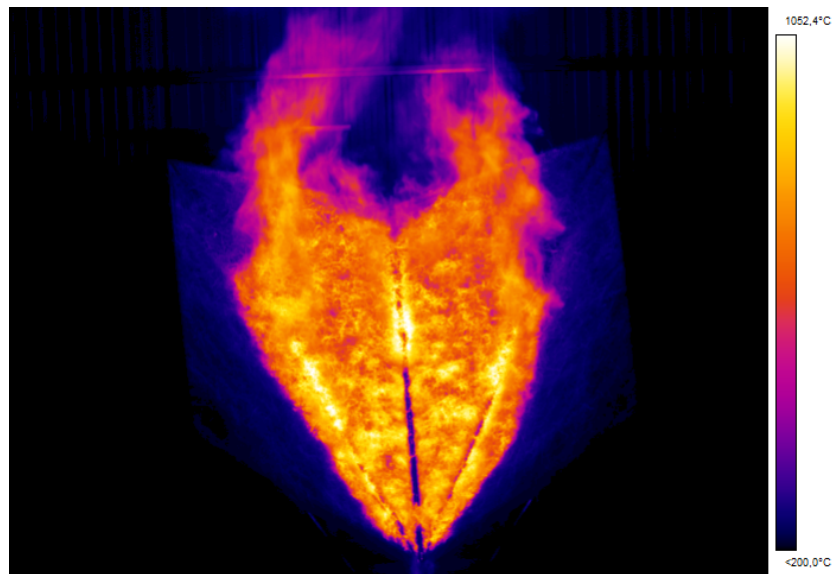


Figura 12. Exemplo de um fotograma IV do ensaio 18 capturado através do ThermoCAMTM .

As imagens capturadas pelo ThermoCAMTM foram depois tratadas no Microstation 95 (figura 12 e 13), onde foram sobrepostas de maneira a criar uma nova imagem onde são visíveis os intervalos de tempo previamente estipulados.

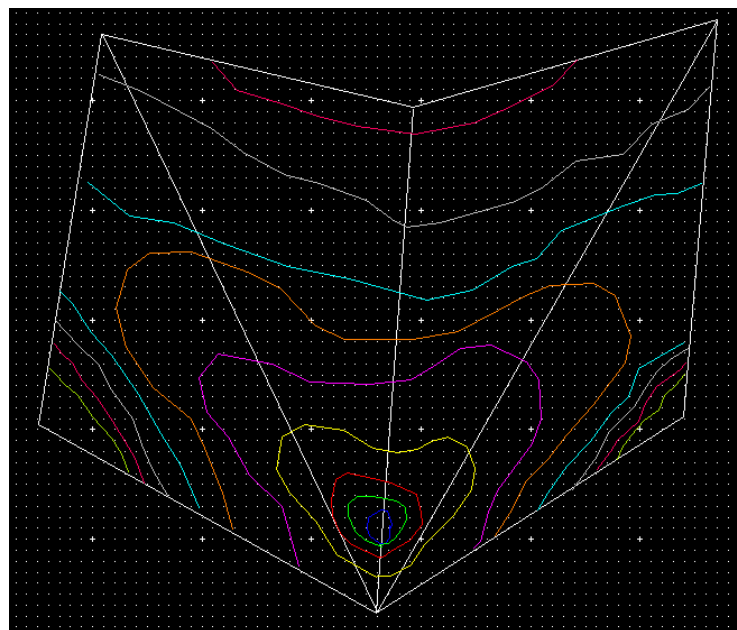


Figura 13. Contornos da frente de fogo obtidos através do Microstation 95 (Ensaio 13).

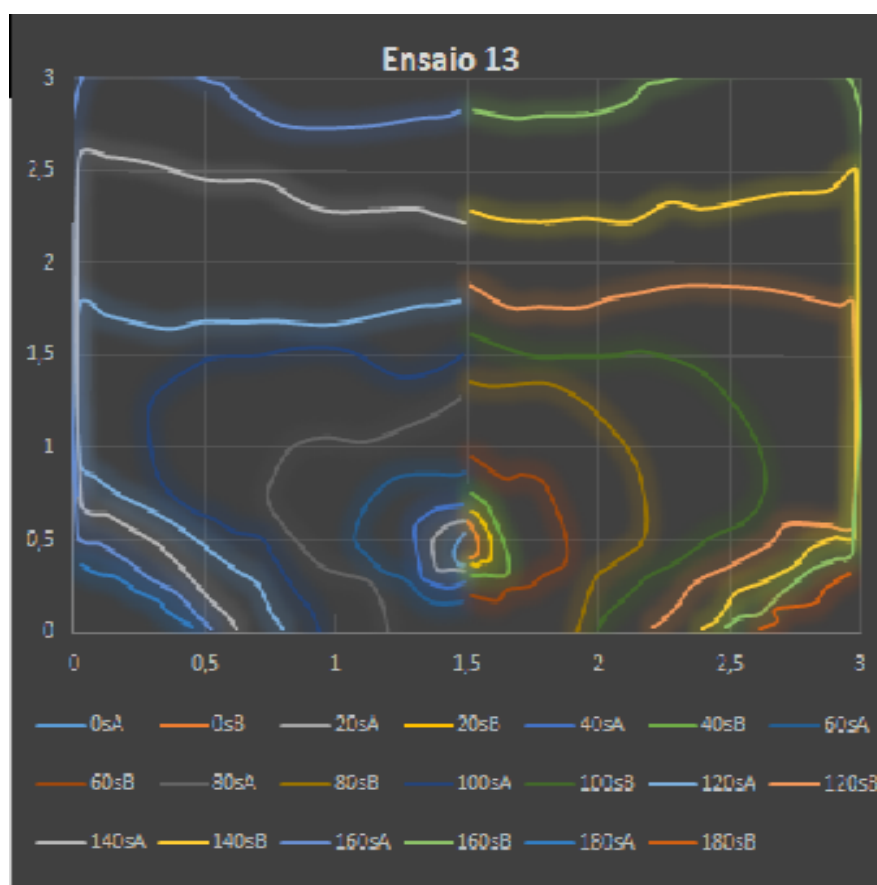


Figura 14. Imagem Excel Corrigida através do programa Microstation 95 (Ensaio 13).

Na Figura 14 podemos observar a imagem Excel, corrigida no Microstation 95, onde se podem visualizar as frentes de fogo para cada intervalo de tempo. No anexo A é possível consultar as imagens corrigidas de todos os ensaios realizados.

Passando os dados destas imagens para o Excel foi então possível obter as velocidades de propagação do fogo.

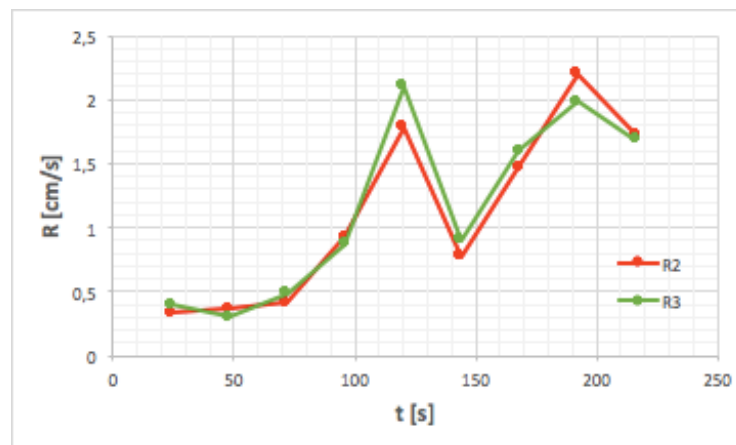
Foi também determinado o valor adimensional de velocidade de propagação R' , em que $R' = \frac{R}{R_0}$ e o valor adimensional de tempo t' que se obteve através de um cálculo semelhante ao anterior, com $t' = \frac{t}{t_0}$. O valor de t_0 (tempo de residência) foi obtido segundo (Viegas 2006) com o objetivo de analisar a resposta dinâmica do fogo, através da seguinte tabela.

Tabela 3. Valores de t_0 para vários combustíveis (Raposo 2016).

| Fuel | Symbol | Fuel bed Height h_f (m) | Residence Time t_0 (s) | Bulk Density ρ_b (kg.m ⁻³) | Particle density ρ_p (g.cm ⁻³) | Particle Surface to Volume Ratio $5f$ (cm ⁻¹) | Flame Height H_f (m) |
|-------------------|--------|---------------------------------|--------------------------------|---|---|---|------------------------------|
| Straw | ST | 0.14 | 42.8 | 4.23 | 0.35 | 50.3 | 0.7 |
| Pine needles | PP | 0.04 | <u>54.2</u> | 14.5 | 0.53 | 41.0 | 0.3 |
| Shrubs (lab.) | SH | 0.15 | 65.6 | 3.92 | 0.50 | 69.0 | 1.2 |
| Shrubs (field) | | 0.91 | 286 | 3.64 | | - | - |
| Shrubs (Canberra) | | 0.4 | 5000 | 1.75 | | - | - |

Para o estudo, uma vez que estou a trabalhar com o combustível do tipo agulhas de pinheiro bravo (*pine needles* na Tabela 2), o valor do t_0 será 54.2s.

Assim, uma vez que a mesa apresenta simetrias em todas as configurações, estabeleceu-se que as velocidades R_2 e R_3 seriam iguais, como demonstra o gráfico da Figura 15 as velocidades de propagação são muito semelhantes, ficando então, $D_1=R_1$ e $D_2D_3=R_2R_3$.

**Figura 15.** Gráfico comparativo das velocidades R_2 e R_3 segundo as direções D_2 e D_3 .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Velocidade de básica de propagação/humidade do Combustível

Dois dos parâmetros mais importantes no cálculo da velocidade de propagação adimensional (R') são, a velocidade básica de propagação (R_0) e a humidade do combustível ($H_{\text{comb.}}$). Como tal, elaborou-se o seguinte gráfico.

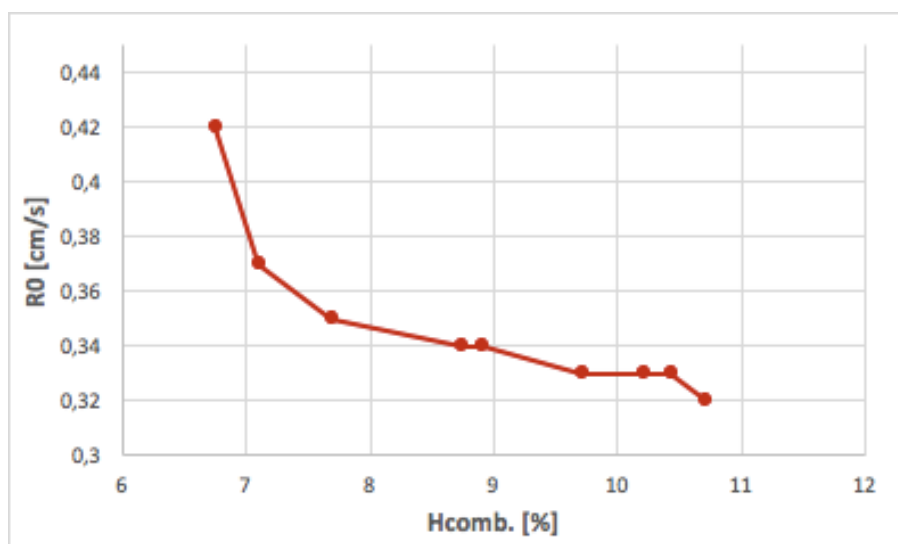


Figura 16. Gráfico representativo do R_0 em função de $H_{\text{comb.}}$.

Como podemos observar através do gráfico, a velocidade básica de propagação é tanto maior quanto menor for a humidade do combustível.

5.2. Velocidade de Propagação

Após definidas as configurações a adotar, referidas anteriormente e realizados todos os ensaios experimentais, foram elaborados gráficos que relacionassem a velocidade de propagação adimensional com o tempo adimensional (t'). Para sua melhor compreensão, estes foram agrupados segundo o valor do ângulo α .

Serão focados com maior destaque os picos de velocidade que ocorrem durante os ensaios e o instante em que existe uma alteração no declive e o instante em que o fogo toca numa das extremidades da mesa, ou a lateral ou a de topo. De referir que a tracejado se encontra o instante em que o fogo alcança uma das extremidades da mesa.

5.2.1. Configurações com $\alpha=0^\circ$

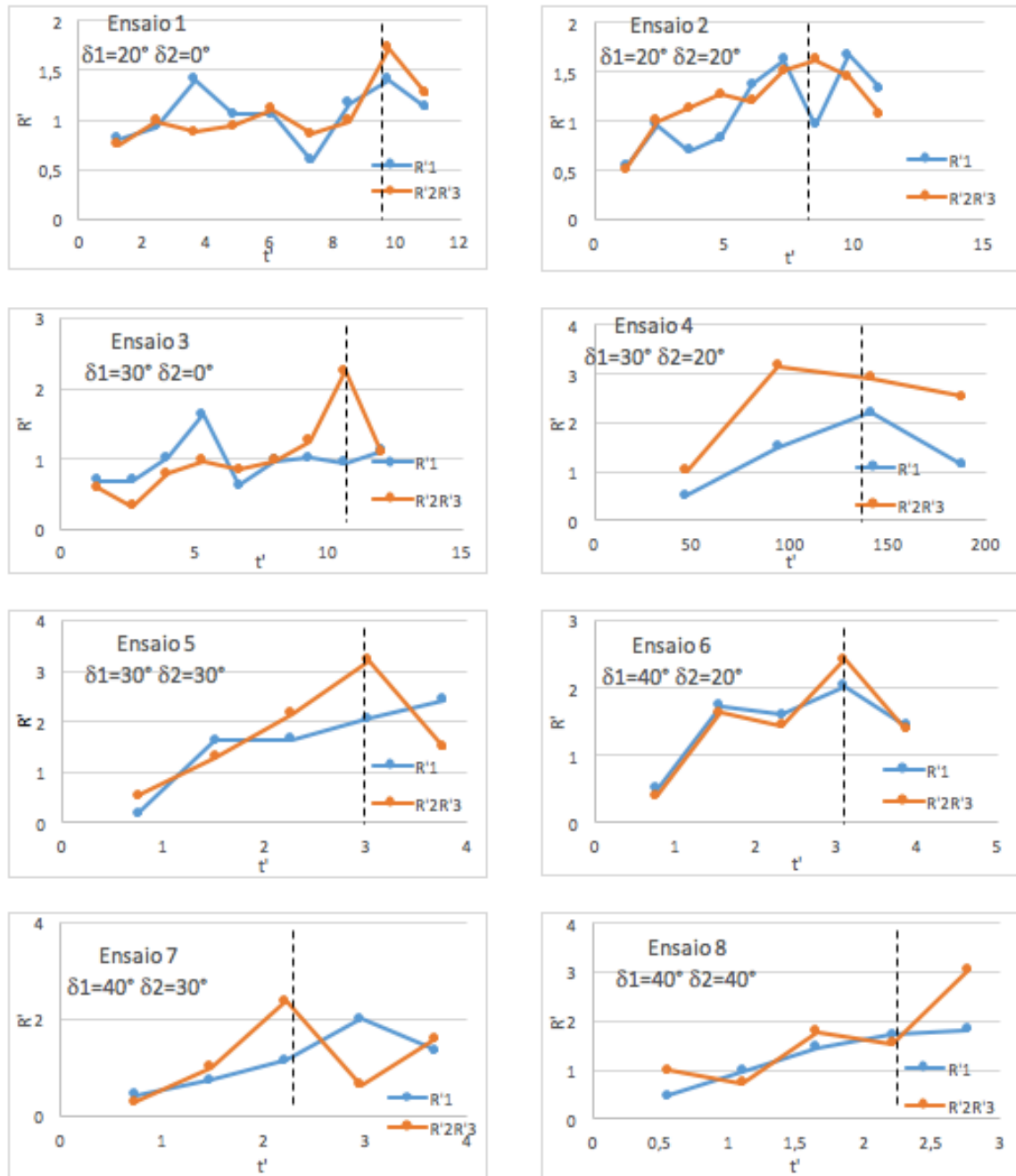


Figura 17. Figura representativa das várias configurações para $\alpha=0^\circ$.

Analisando primeiramente o Ensaio 1 e Ensaio 3, pois, têm em comum o facto de o ângulo δ_2 ser igual a 0, é de notar que existe um pico de velocidade segundo a direção D_1 que corresponde a linha de água central, mantendo-se depois com poucas variações até final. Segundo a direção D_2D_3 , observa-se que o pico de velocidade apenas acontece já perto do

fim quando a mesa atinge a extremidade lateral, tendo até aí uma velocidade com pouca variação. Nestes ensaios as velocidades máximas rondam o valor 2 tanto segundo D_1 como segundo D_2D_3 sendo o pico ligeiramente superior no ensaio 3.

No ensaio 2, vemos segundo a direção D_1 e D_2D_3 , um aumento gradual da velocidade até que atinge umas das extremidades da mesa, existindo depois um ligeiro decréscimo da velocidade de propagação.

Nos ensaios 4 e 5, com um ângulo δ_1 igual a 30° a direção D_2D_3 existe um aumento da velocidade, até que atinge o pico máximo de velocidade quando o fogo alcança a extremidade da mesa, diminuído então a velocidade e concentrando-se depois segundo a direção D_1 , que aumenta ligeiramente ao longo do tempo, exceto no caso do ensaio 4 onde que existe uma mudança de declive, em que o ângulo δ_2 é igual a 20° , contra os 30° do ensaio 5.

Por último, nos ensaios 6, 7 e 8, com um ângulo δ_1 igual a 40° , podemos observar segundo as direções D_2D_3 , um aumento da velocidade até que o fogo atinge a extremidade lateral, onde nos ensaios 6 e 7 há uma mudança de declive, $\delta_2=20^\circ$ e $\delta_2=30^\circ$ respetivamente, e com isso uma diminuição da velocidade, ao contrario do ensaio 8 onde o declive se mantém nos 40° e a velocidade continua a aumentar alcançando um máximo a rondar o $R'=3$, quanto às velocidades segundo a linha de água central, as três aumentam ligeiramente ao longo do tempo mas sem grandes variações.

Para concluir, as velocidades máximas adimensionais para configurações com $\alpha=0^\circ$ são de aproximadamente $R'=3$.

5.2.2. Configurações com $\alpha=20^\circ$

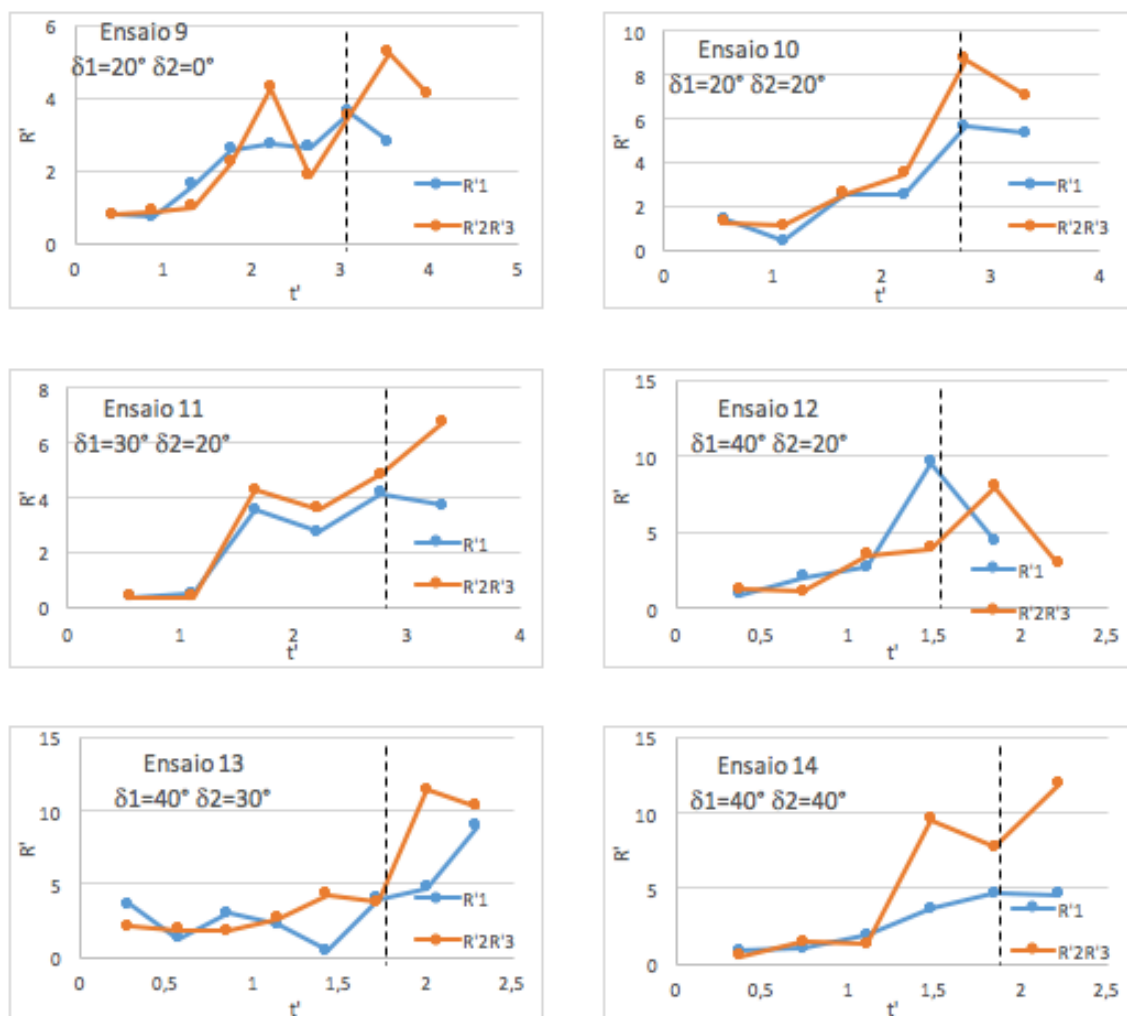


Figura 18. Figura representativa das várias configurações para $\alpha=20^\circ$.

Começando pelo gráfico representativo do ensaio 9, verifica-se um aumento lento da velocidade de propagação segundo D_1 , até que atinge a extremidade lateral da mesa e diminui depois a velocidade, enquanto que segundo a direção D_2D_3 a aceleração é mais elevada, obtendo um R' máximo de cerca de 5.

Nos ensaios 10 e 11 as velocidades segundo D_1 e D_2D_3 apresentam valores muito semelhantes existindo apenas uma maior diferenciação aquando do contacto com a lateral da mesa.

Na situação do ensaio 12 a velocidade segundo D_1 atinge um máximo aquando do contacto com a lateral da mesa, desacelerando depois, enquanto que segundo a direção D_2D_3 a velocidade de propagação vai aumentando até que ocorre uma mudança de declive, diminuindo então.

Finalmente nos ensaios 13 e 14, inicialmente, a velocidade de propagação mantem-se constante, havendo depois uma elevada aceleração onde as velocidades de propagação atingem cerca de $R'=13$ na direção D_2D_3 . A maior diferença está na aceleração, segundo a direção D_1 , em que no ensaio 13, após o contacto com a lateral da mesa faz com que se atinjam velocidades superiores enquanto que no ensaio 14 mantem o R' constante.

Concluindo, para configurações com $\alpha=20^\circ$ a velocidade de propagação adimensional pode atingir valores de $R' = 13$ aproximadamente, dependendo do ângulo de abertura do desfiladeiro.

5.2.3. Configurações com $\alpha=30^\circ$

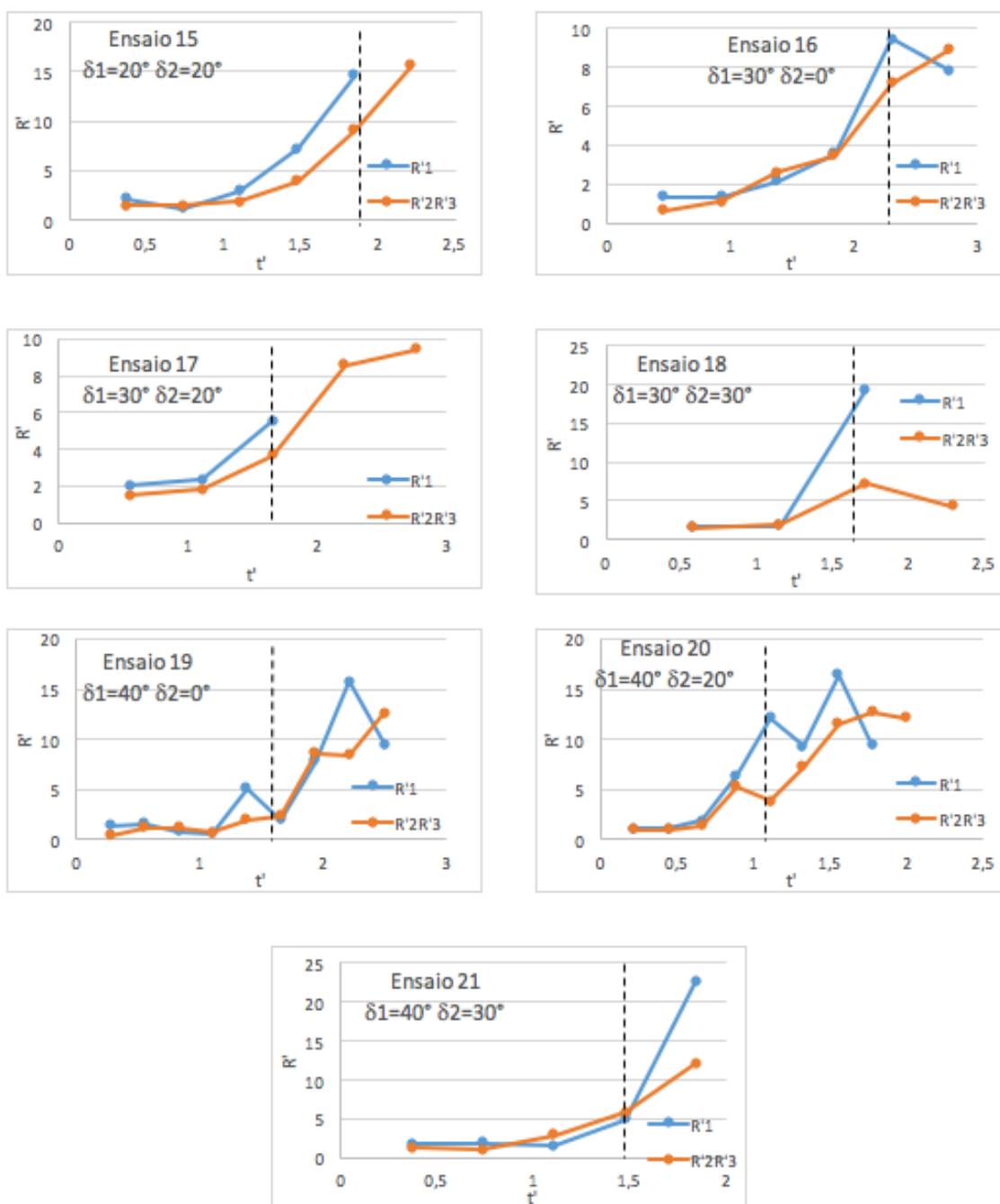


Figura 19. Figura representativa das várias configurações para $\alpha=30^\circ$.

Iniciando a análise pelo ensaio 15, verificamos que as velocidades de propagação segundo D_1 como D_2D_3 sofrem uma aceleração semelhante do início ao fim do ensaio, à semelhança do que acontece no ensaio 16, excetuando os momentos finais aquando do contacto com a lateral e mudança de declive em que existe uma diminuição segundo D_1 .

A análise dos casos dos ensaios 17 e 18 também pode ser feita simultaneamente, pois, em ambos os casos vai existir uma aceleração brusca, alcançando rapidamente a extremidade topo da mesa, no caso do ensaio 18 chega mesmo a atingir uma velocidade de $R'=20$, sensivelmente. O que podemos concluir, que nestes casos a velocidade tem um comportamento eruptivo.

Na situação seguinte também podemos juntar os ensaios 19 e 20 na mesma análise, pois, em ambos os casos o R' inicialmente é constante, havendo depois um pico de velocidade na ordem de $R'=15$ imediatamente antes da mudança de declive, em que as velocidades segundo as direções D_1 e D_2D_3 diminuem.

Por fim, no ensaio 21, à semelhança do que aconteceu nos ensaios 15 e 16, inicialmente a velocidade de propagação segundo D_1 e D_2D_3 é constante até que começa a aumentar ligeiramente e sofre uma aceleração brusca, que tem um pico máximo de velocidade de propagação de cerca de 24.

Para concluir, as velocidades máximas adimensionais para configurações com $\alpha=30^\circ$ podem atingir valores próximos de $R'=25$.

5.2.4. Configurações com $\alpha=40^\circ$

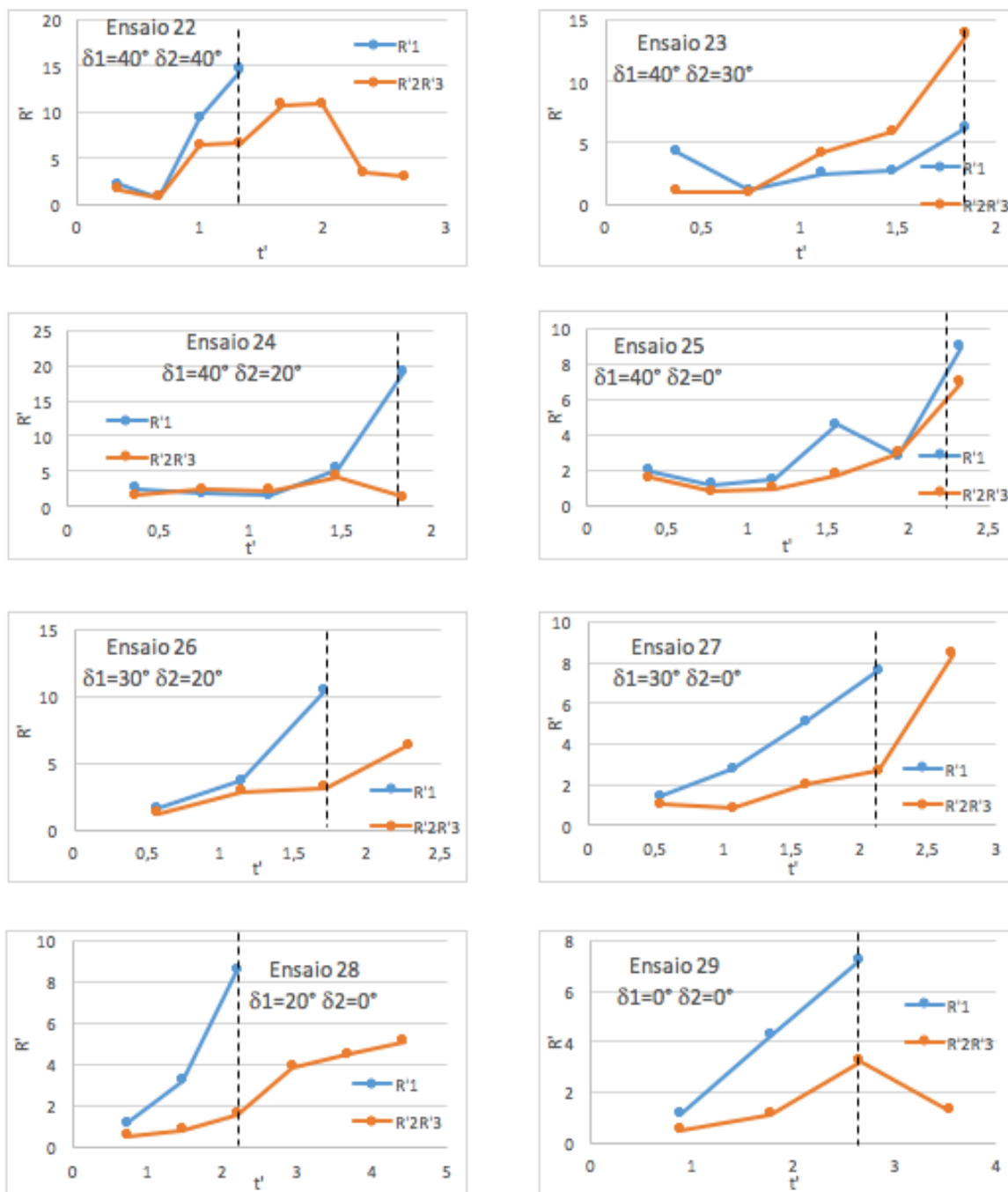


Figura 20. Figura representativa das várias configurações para $\alpha=40^\circ$.

Para a situação $\alpha = 40^\circ$, pode-se fazer uma análise generalizada pois em todos os ensaios o fogo teve um comportamento eruptivo segundo a linha de água principal, que rapidamente entrou em contacto com o topo da mesa segundo a direção D_1 . Particularizando apenas os casos dos ensaios 24 e 25 em que o fogo demorou um pouco mais a desenvolver

e com isso as velocidades de propagação inicialmente eram constantes tanto segundo D_1 Como D_2D_3 .

Podemos concluir que para configurações com $\alpha=40^\circ$ o fogo vai ter acelerações muito altas, que permitem ter velocidades de propagação elevadas mais rapidamente que nos casos anteriores.

5.3. Comparação de velocidades

Para melhor se perceberem as velocidades de propagação segundo as direções D_1 e D_2D_3 com a variação do ângulo α e se perceber que a mudança de declive, no caso do segundo ângulo δ_2 , afeta a velocidade de propagação do fogo, construíram-se gráficos onde se comparam as velocidades segundo D_1 para os vários ensaios, com α a variar entre 0° e 40° , e também gráficos com a velocidade segundo a direção D_2D_3 onde se pode verificar, nos casos em que existe, a mudança de declive, assinalada com um triângulo vermelho nas Figuras 22, 24, 26 e 28.

5.3.1. Velocidades com $\alpha=0^\circ$

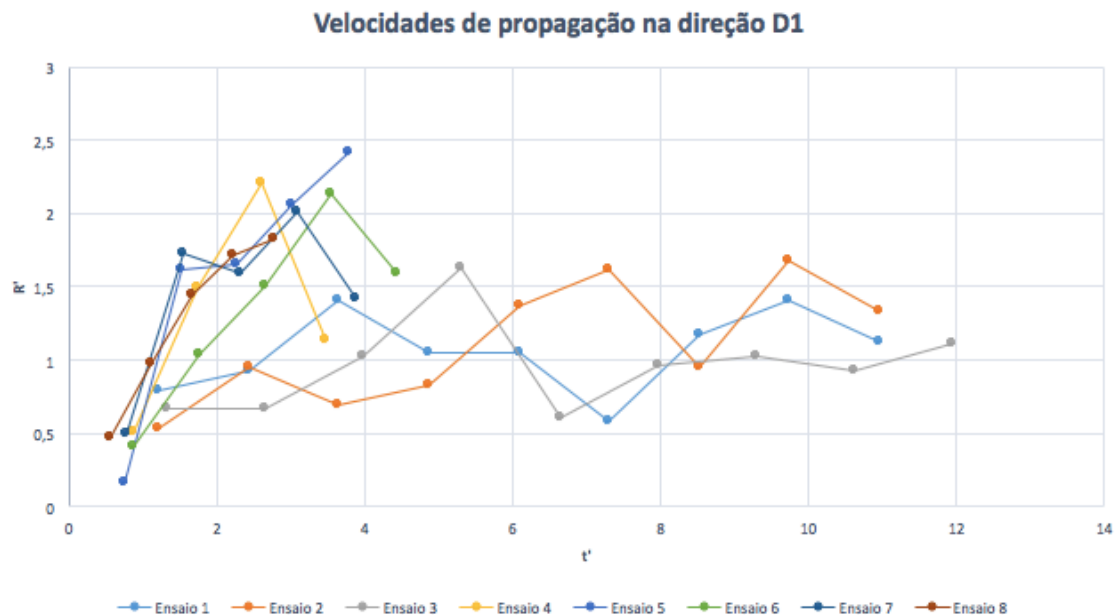


Figura 21. Velocidades $R'1$ para $\alpha=0^\circ$.

Através da observação do gráfico da Figura 21 podemos destacar que, para os casos em que o desfiladeiro formado pela mesa tem uma configuração mais fechada, permite-nos obter velocidades de propagação superiores em relação àqueles que têm uma mais aberta.

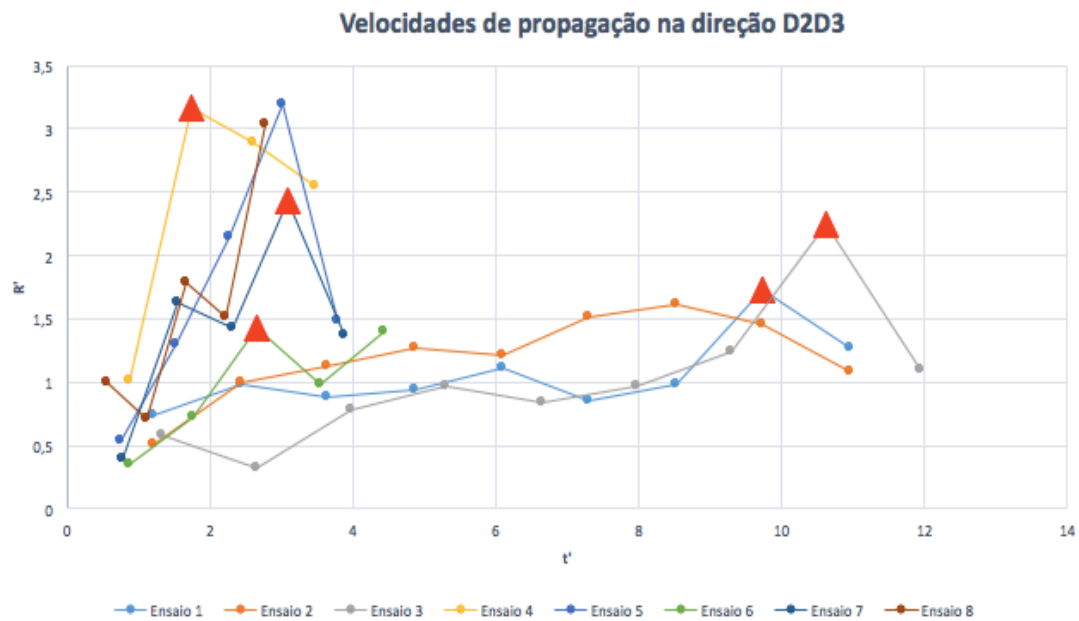


Figura 22. Velocidades $R'2R'3$ para $\alpha=0^\circ$.

Pela análise do gráfico da Figura 22, observamos maiores acelerações da frente de fogo nos ensaios em que o declive formado pelo ângulo δ_1 é maior, e que, quando existe mudança para um declive inferior a velocidade de propagação diminui.

5.3.2. Velocidades com $\alpha=20^\circ$

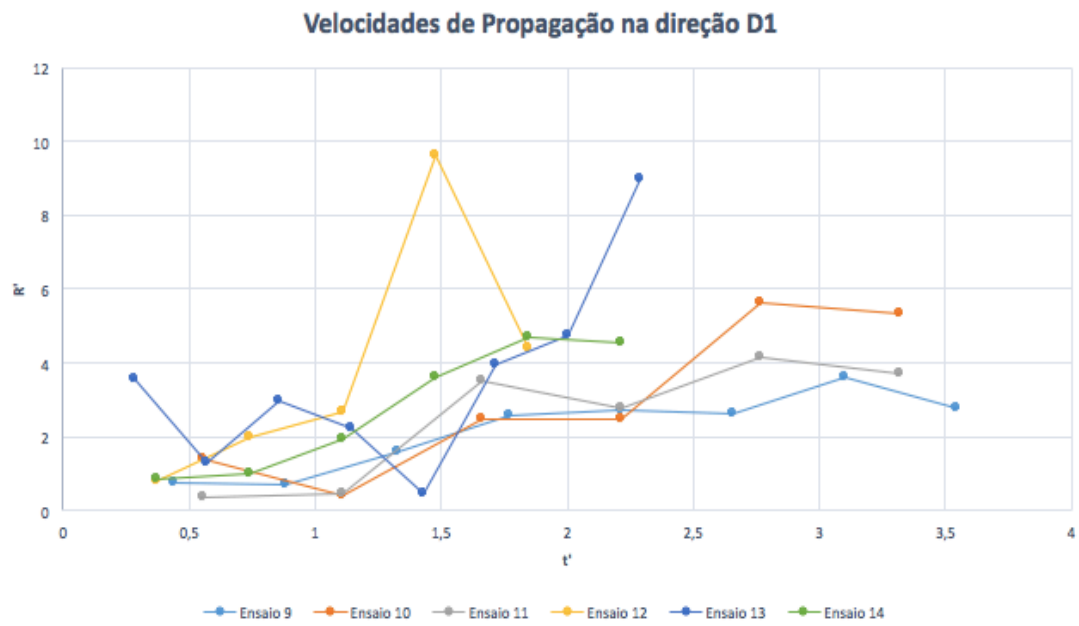


Figura 23. Velocidades $R'1$ para $\alpha=20^\circ$.

No gráfico da Figura 23 podemos observar uma grande semelhança entre todos os ensaios, exceto nos ensaios 12 e 13 em que as velocidades de propagação segundo D_1 atingem velocidades superiores.

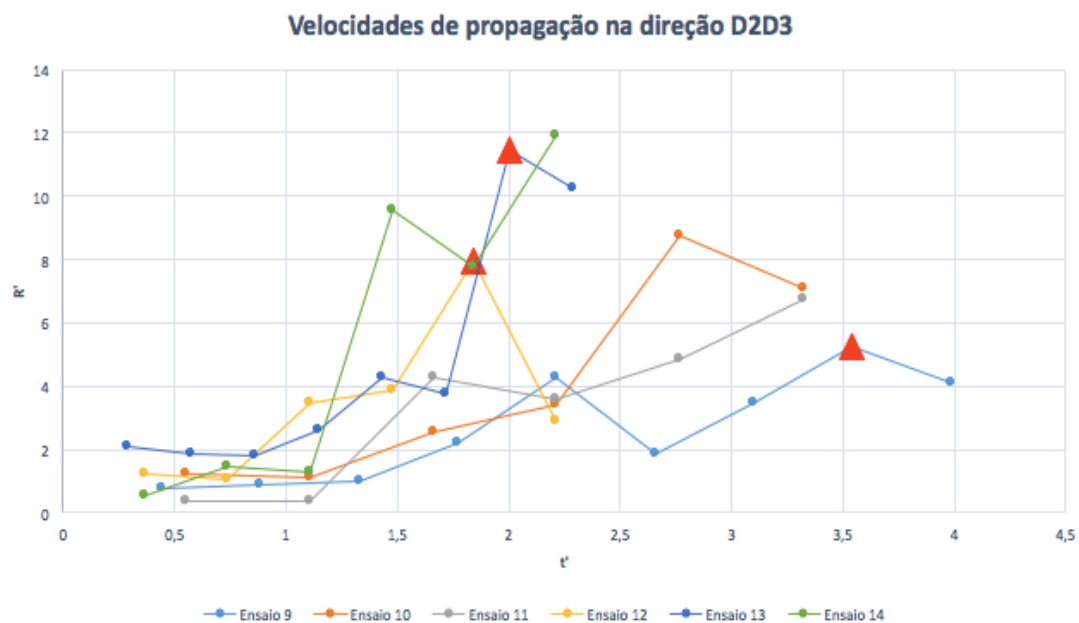


Figura 24. Velocidades $R'2R'3$ para $\alpha=20^\circ$.

No gráfico acima (Figura 24), de notar a diminuição da velocidade aquando da mudança para um declive menor, como se verifica nos casos dos ensaios 9, 12 e 13. Podemos também observar que os ensaios 13 e 14 com $\delta_1 = 40^\circ$, atingem velocidades de propagação superiores na direção D_2D_3 .

5.3.3. Velocidades com $\alpha=30^\circ$

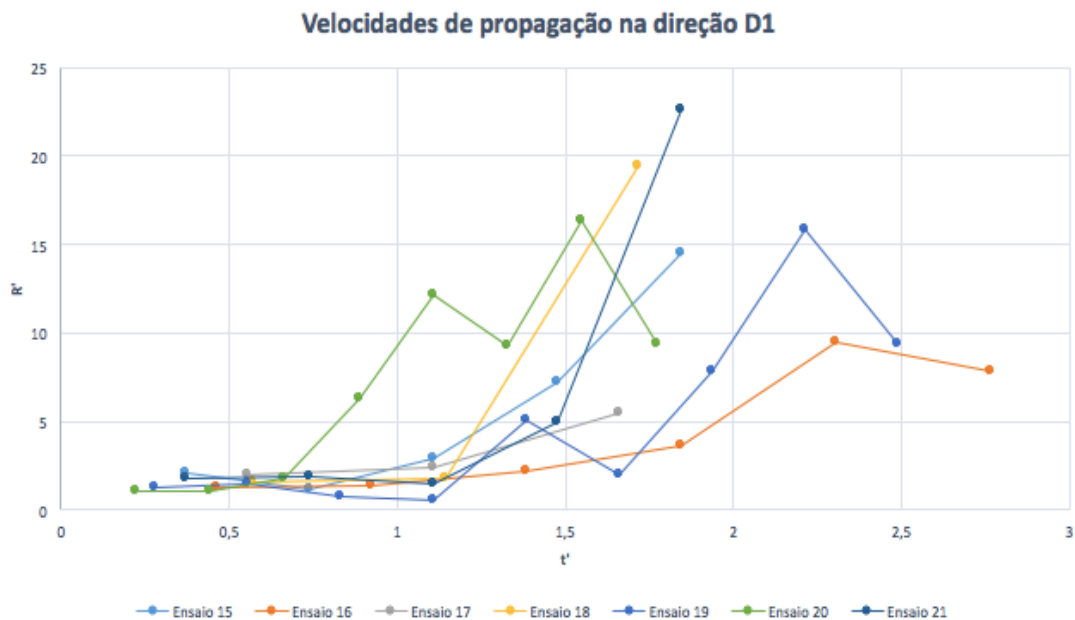


Figura 25. Velocidades $R'1$ para $\alpha=30^\circ$.

Através da observação do gráfico da Figura 25, retiramos que o fogo alcança velocidades superiores relativamente aos casos anteriores em que a inclinação da linha de água era inferior. Nos casos dos ensaios 16 e 17 a aceleração não é tão evidente como nos outros ensaios de $\alpha=30^\circ$.

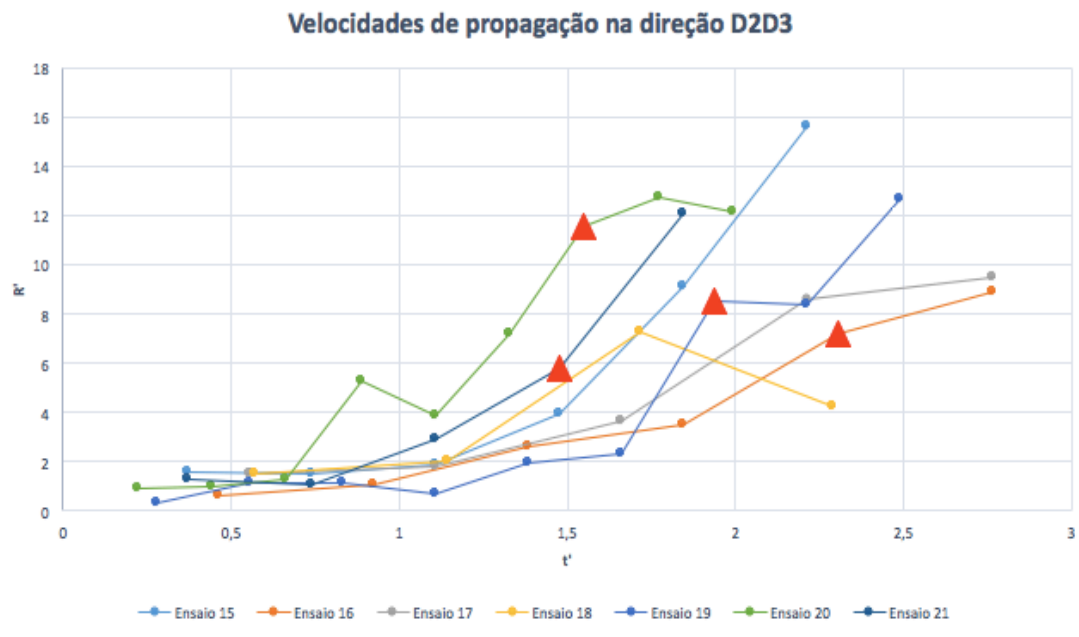


Figura 26. Velocidades $R'_{2R'3}$ para $\alpha=30^\circ$.

No gráfico da Figura 26 podemos observar que aquando da mudança de declive existe apenas uma diminuição da aceleração e não uma diminuição da velocidade de propagação, como acontecia nos casos falados anteriormente. Podemos também observar que os picos de velocidade máxima são superiores aos de $\alpha=0^\circ$ e $\alpha=20^\circ$.

5.3.4. Velocidades com $\alpha=40^\circ$

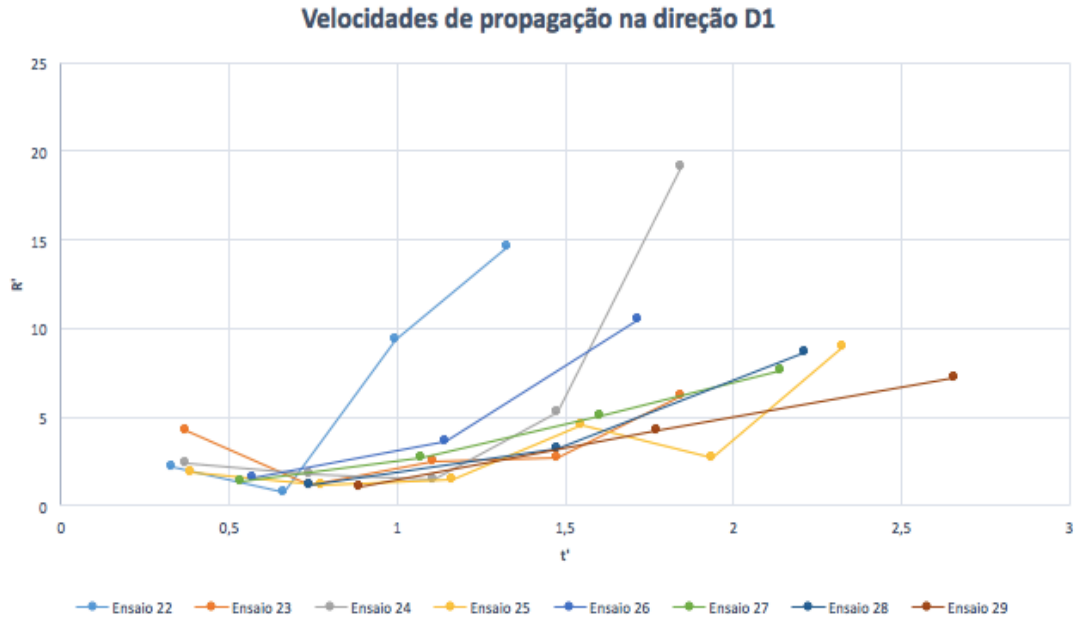


Figura 27. Velocidades R'1 para $\alpha=40^\circ$.

Neste último gráfico da Figura 27, relativo as velocidade de propagação segundo a direção D_1 , registamos uma aceleração brusca nos ensaios 22 e 24 com um pico de velocidade superior aos restantes, que se apresentam muito similares entre eles.

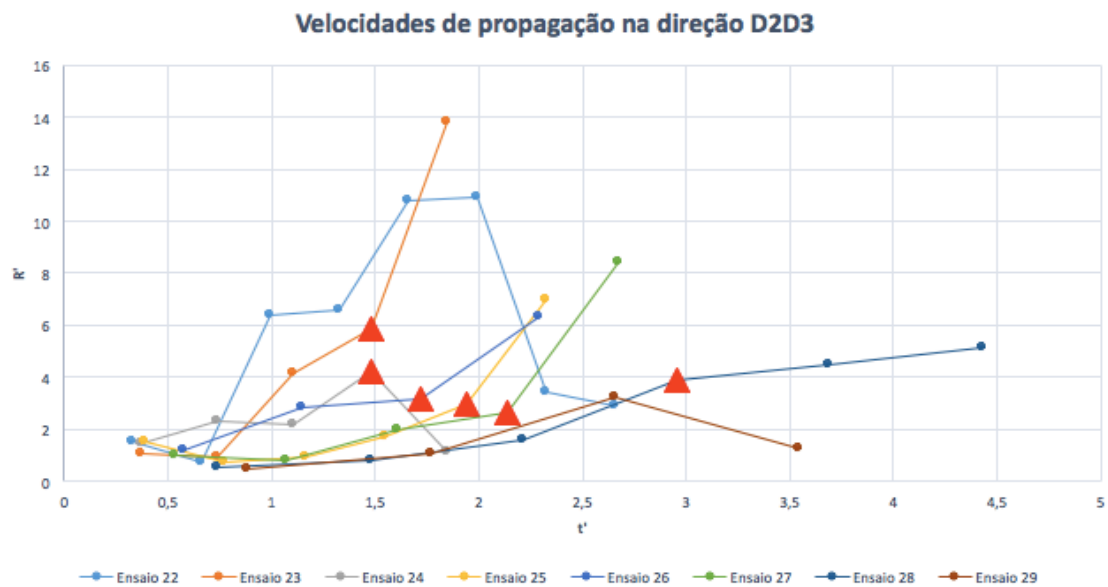


Figura 28. Velocidades $R'2R'3$ para $\alpha=40^\circ$.

Para finalizar, nesta última análise, tal como acontece para $\alpha=30^\circ$ podemos observar que na generalidade dos casos em que existe mudança de declive apenas existe uma diminuição da aceleração, aumentando a velocidade de propagação gradualmente ao longo do tempo.

6. CONCLUSÕES

Este estudo permitiu-me concluir que existem configurações que propiciam fortemente o comportamento do tipo eruptivo. Este comportamento tem tendência a acentuar-se não só com o aumento da inclinação da linha de água, mas também nas mudanças para declives mais acentuados que levam a ocorrência de correntes convectivas originando assim o comportamento eruptivo do fogo, assunto abordado neste trabalho. Apesar de uma maior inclinação na linha de água favorecer também o comportamento eruptivo do fogo, pode-se concluir que uma maior abertura do desfiladeiro pode atenuar esse tipo de comportamento.

De referir também, que este tipo de comportamento é fortemente influenciado por outros fatores externos ao fogo, como por exemplo a temperatura ambiente, a humidade relativa e a humidade dos combustíveis, sendo por isso útil o cálculo de R_0 .

Quanto à mesa utilizada no estudo, poderão ser efetuadas algumas alterações que permitirão outro tipo de configurações e conseqüentemente uma maior variedade de ensaios. Como por exemplo, cilindro hidráulicos de outro tipo e modificações nos painéis.

Com o número de ensaios realizados os objetivos deste estudo foram cumpridos, contudo, um estudo mais aprofundado com outras configurações e novos locais para o ponto de ignição torna-se necessário para melhor se compreender este comportamento do fogo nesta topografia tão complexa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Manzello, Samuel L.; Alexander Maranghides, William E. Mell, Thomas G. Cleary, and Jiann C. Yang. (2006). V International Conference on Forest Fire Research, D. X. Viegas.
- Pastor, E., Zárate, L., Planas, E., and Arnaldos, J. “Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior.” *Progress in Energy and Combustion Science*, 2003: 29, 139-153.
- Raposo, Jorge Rafael. *Extreme Fire behaviour Associated with the Merging of Two Linear Fire Front. PhD Thesis*. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Portugal. 2016
- Rossa, C.G.,. *Dynamic model for fire behaviour prediction. PhD Thesis*. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Portugal. 188pp, 2009.
- Sullivan, A. L. “Wildland surface fire spread modelling; 1990-2007. 1: Physical and quasi-physical models.” *International Journal of Wildfire*, 2009 a: 18(4), 349-368.
- Trejo, Dante Arturo. 1996. *Incendios Florestales*. México: Mundi-Prensa México, S. A. de C. V., 1996.
- Viegas, D.X., C. Rossa, e L.M Ribeiro. *Incêndios Florestais*. Lisboa: Verlag Dashhöfer Edições Profissionais, Unip., Lda., 2011.
- Viegas, D.X. (2004). Slope and Wind effects on fire Propagation. *International Journal of WildlandFire..* 13(2),143-156.
- Viegas, Domingos Xavier. (2004). *Cercados Pelo Fogo*. Minerva Coimbra. Coimbra.
- Viegas, Domingos Xavier. (1998). III International Conference on Forest Fire Research. 14th Conference on Fire and Forest Meteorology. Associação para o desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial. Coimbra.
- Viegas, Domingos Xavier, Silva AJ, Cruz MG (2000) Analysis of Three Fatal Accidents Involving Portuguese Firefighters. In “*Proceedings of 2000 International Wildfire Safety Summit*”.

