



**Ruben David
Costa Sousa**

**SOLUÇÕES DE TRANSIÇÃO DA SOBRELEVAÇÃO
EM PROJETO DE AUTOESTRADAS**



**Ruben David
Costa Sousa**

SOLUÇÕES DE TRANSIÇÃO DA SOBRELEVAÇÃO NO PROJETO DE AUTOESTRADAS

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizado sob a orientação científica do Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais, António Ramiro B. S. Carvalho e Maria Cristina S. C. Carvalho, avós, restante família e namorada, pois todos juntos, com esforço e dedicação, foram e serão o alicerce de todos os meus projetos e ambições.

o júri

presidente

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Limelino Velosa

Professora associada da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Silvino Dias Capitão

Professor coordenador do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (arguente)

Prof. Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta

Professor auxiliar da Universidade de Aveiro.

agradecimentos

Agradeço a todos que de alguma forma foram bastante importantes para o meu percurso até hoje, dos quais enumero:

Ao meu orientador Prof. Doutor Agostinho Benta ao meu coorientador Prof. Doutor Joaquim Macedo, docentes da Universidade de Aveiro, que ao longo deste ano de trabalho foram uma peça fundamental deste trabalho.

Ao Prof. Doutor Adão Silva da Universidade de Aveiro e o Doutor Daniel Castanheira do Instituto de Telecomunicações pelo apoio essencial prestado na formulação do algoritmo do *Superelevation Analyst Script*.

A toda a minha família pela solidez e confiança depositada na minha escolha profissional, em especial aos meus pais, avós e por fim, a minha prima Vera Soares pelo tempo dedicado a ajudar na revisão do trabalho.

A minha namorada, Catarina Moreira, que acompanhou mais de sessenta por cento da minha vida académica, e sempre me apoiou em todas as minhas decisões, contribuindo para o presente trabalho com bastantes conceções construtivas.

E por fim, os meus colegas e amigos que forneceram todo o apoio necessário e partilharam comigo muitas alegrias e tristezas, destacando todos aqueles que sabem que para mim são especiais e incomparáveis.

A todos, um grande obrigado pelo apoio! Sem dúvida foram especiais, agradeço com um grande e forte abraço.

palavras-chave

vias de comunicação, sobrelevação, autoestrada, drenagem, lâmina de água, hidroplanagem, velocidade, curva de transição, curva circular.

resumo

No presente trabalho é proposta uma análise sobre as condições de drenagem de águas pluviais em zonas de transição da sobrelevação nas autoestradas.

A preocupação na redução dos acidentes rodoviários tem sido crescente nos últimos anos. Bastantes acidentes rodoviários são causados diretamente por erros de conceção e projeto das vias da comunicação. Uma problemática bastante pertinente é a acumulação de águas pluviais nas faixas de rodagem, que se traduz na perda de aderência a velocidades menores que as de projeto, através do fenómeno da hidroplanagem.

As zonas de sobrelevação são pontos singulares. As autoestradas apresentam características especiais, por exemplo, um perfil transversal extenso e velocidade de circulação elevada. A combinação destes dois elementos exige uma análise cuidada.

Desta forma, com a utilização de uma ferramenta gráfica e numérica, o *Matlab*, foi desenvolvido um *script* que é um programa que através da introdução dos dados que definem o plano e as chuvadas, são devolvidos valores para analisar a drenagem de água na via e permite também a comparação entre os diferentes tipos de soluções de disfarce.

Como principais conclusões foi possível reter que as soluções parabólicas mais complexas apresentam melhor desempenho na drenagem de água e foi perceptível que a utilização de métodos simples que calculem a altura da lâmina de água apenas através da extensão da linha de escoamento apresentam limitações na utilização de concordâncias longitudinais.

keywords

roads, superelevation, highway, drainage, water surface, hydroplaning, speed, transition curve, circular curve.

abstract

In this work an analysis of the conditions of stormwater drainage in areas of transition from superelevation in highways is proposed.

The concern in reducing road accidents has been increasing in recent years. Plenty of road accidents are caused directly by errors in conceiving and design of communication pathways. A very pertinent issue is the accumulation of rainwater in the lanes, which results in loss of traction at speeds less than the project through the phenomenon of hydroplaning.

The superelevation zones are singular points. The roads have special characteristics, for example, extensive cross-section and higher velocity. The combination of these two elements requires careful analysis.

Therefore, using a graphical and numerical tool, *Matlab*, was developed a script which is a program that by introducing the data that defines the plan and rainstorms, values are returned to analyze the water drainage on the road and also allows the comparison between different solutions.

The main conclusions was possible to retain the most complex parabolic solutions present perform better in water drainage and it was noticeable that the use of simple methods to calculate the height of the water blade only through the extension of the outflow line of the present limitations in the use of longitudinal concordances.

Índice

Índice.....	xv
Índice de Figuras.....	xvii
Índice de Tabelas	xix
Simbologia.....	xxi
1. Considerações iniciais	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Metodologia	3
1.4. Organização da dissertação.....	4
2. Elementos do projeto geométrico	5
2.1. Enquadramento e elementos básicos da zona de disfarce.....	5
2.1.1. Curvas circulares	7
2.1.2. Curvas de transição	9
2.1.3. Concordâncias longitudinal.....	10
2.1.4. Sobrelargura	12
2.2. Elementos aplicáveis às autoestradas	13
2.2.1. Faixa de rodagem e berma	13
2.2.2. Metodologia de disfarce de sobrelevação em perfil transversal.....	14
3. Soluções de transição em autoestrada	16
3.1. Disposições normativas para a sobrelevação e abordagem de disfarces.....	16
3.1.1. Modelo de disfarce da sobrelevação	18
3.1.2. Zona de alinhamento reto afetado pelo disfarce da sobrelevação em disfarce linear	24
3.1.3. Modelo de transição preferível tendo em atenção as considerações de estudos anteriores	25
3.2. Condicionantes e critérios de avaliação das soluções de disfarce.....	25
3.2.1. Grau de incomodidade	25

3.2.2.	Tipologia do pavimento	26
3.2.3.	Drenagem de águas pluviais e velocidade de hidroplanagem.....	27
3.2.4.	Intensidades de precipitação.....	33
4.	Desenvolvimento do modelo de análise de soluções de transição de sobrelevação	36
4.1.	Modelação numérica.....	36
4.1.1.	Fluxograma funcional simplificado	37
4.2.	Dados tipo de output.....	38
4.3.	Análise de dados:.....	39
4.3.1.	Estudo das rugosidades do pavimento	40
4.3.2.	Estudo da influência da intensidade de precipitação	43
4.3.3.	Estudo da influência da inclinação longitudinal.....	46
4.3.4.	Estudo da influência do fator da sobrelevação	49
4.3.5.	Estudo da influência do tipo de disfarce em concordâncias longitudinais.....	52
5.	Discussão	65
5.1.	Interpretação dos dados da modelação	65
5.2.	Medidas corretivas ou preventivas	69
5.2.1.	Sinalização.....	69
5.2.2.	Medidas mitigadoras do risco.....	71
6.	Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	78
	Referências bibliográficas	80
	Anexos.....	84
	Anexo A1 – Manual de Utilizador <i>Superelevation analyst script</i>	84
	Anexo A2 – Introdução de dados.....	84
	Anexo A3 – Formulas implementadas	84
	Anexo A4 – Resultados obtidos.....	84

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Forças aplicadas num veículo em movimento em zona inclinada, adaptado de Branco et al. (1996).....	5
Figura 2.2 - Elementos básicos da diretriz, adaptado de Branco et al. (1996).....	6
Figura 2.3 - Combinação de raios, (INIR, 2010).....	8
Figura 2.4 - Representação esquemática de uma clotóide, (INIR, 2010)	9
Figura 2.5 - Concordância horizontal (Branco et al., 1996).....	10
Figura 2.6 – Esquema do movimento de um veículo em curva, explicação da necessidade da sobrelargura (Filho, 1998).....	12
Figura 2.7 - Traçado de curva típico (SANRAL, 2013)	12
Figura 2.8 - Perfil transversal, adaptada de INIR (2008).....	13
Figura 2.9 – Perfis transversais de autoestrada, adaptado (INIR, 2008).....	15
Figura 3.10 - Modelo de disfarce em estradas de separador central, adaptado de França (2008)	16
Figura 3.11 - Zona de disfarce da sobrelevação em faixa única de dois sentidos, INIR (2010)	17
Figura 3.12-Variação linear, adaptado de França (1988).....	18
Figura 3.13 - Disfarce parabólico do 3º grau (Tipo I), adaptado de França (1988)	19
Figura 3.14 - Disfarce parabólico do 3º grau (Tipo II), adaptado de França (1988).....	20
Figura 3.15 - Modelo do disfarce tipo 4.....	22
Figura 3.16 - Modelo do disfarce tipo 5.....	23
Figura 3.17 – Macrorugosidade e microrugosidade de um pavimento, adaptado de MINISTRY OF TRANSPORTATION OF ONTARIO, (2010)	26
Figura 3.18 - Esquematização de um <i>French Drain</i> em corte transversal.....	28
Figura 3.19 - Representação gráfica das expressões de Agrawal e Gallaway (França, 1988)...	31
Figura 3.20 - Linhas de escoamento de perfil de inclinação variável, adaptado de Soares (2011).....	32

Figura 3.21 - Linhas de escoamento de perfil de inclinação constante, adaptado de Soares (2011).....	32
Figura 3.22 - Recordes de precipitação em Portugal e no Mundo (Brandão et al., 2001).....	34
Figura 3.23 - Isolinhas das precipitações máximas históricas para a duração de 1 hora, considerando uma série udográfica, (Brandão et al., 2001).....	35
Figura 4.24 - Fluxograma geral de cálculo	37
Figura 4.25 - Exemplo de output gráfico devolvido pelo programa.....	38
Figura 4.26 - Concordância longitudinal côncava, análise 16, disfarce tipo 1.....	53
Figura 4.27 – Trajetórias de escoamento em concordância longitudinal côncava, análise 19, disfarce tipo 2	56
Figura 4.28 - Concordância longitudinal convexa, análise 13, disfarce tipo 5	58
Figura 4.29 – Trajetórias de escoamento em concordância longitudinal convexa, análise 20, disfarce tipo 2	61
Figura 4.30 - Comparação de linhas de escoamento de diversas análises	64
Figura 5.31 - Painel eletrónico “COM CHUVA MODERE VELOCIDADE” (INIR, n.d.)....	70
Figura 5.32 - Painel eletrónico "TRABALHOS SEJA PRUDENTE" (Certif, n.d.)	70
Figura 5.33 - Exemplo de sinalização temporária	71
Figura 5.34 - Aplicação de ranhuras no pavimento em zona de disfarce (Soares, 2011).....	71
Figura 5.35 - Solução de dreno transversal a via.....	72
Figura 5.36 - Solução de dreno longitudinal com ligações transversais	73
Figura 5.37 - Soluções comerciais com grelha (ULMA, n.d.-a)	74
Figura 5.38 - Soluções comerciais sem grelha (ULMA, n.d.-b)	74
Figura 5.39 - Corte tipo do dreno proposto.....	75
Figura 5.40 - Projeção tridimensional do tipo de dreno proposto	75
Figura 5.41 - Tubo de dreno perfurado (Canário Group, n.d.).....	76
Figura 5.42 – Sistema de elevada vazão <i>FUNNEL</i> ®, (MUFLE, 2010).....	77
Figura 6.43 - Linhas de escoamento do disfarce tipo 1 vs disfarce tipo 5	78

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Coeficientes de atrito transversal, (INIR, 2010)	7
Tabela 2.2 - Raios mínimos em planta, (INIR, 2010).....	8
Tabela 2.3 - Parâmetros do traçado em perfil longitudinal (INIR, 2010).....	11
Tabela 2.4 - Eixo de rotação da sobrelevação em estradas 2x2 (INIR, 2010)	14
Tabela 3.5 - Valor da sobrelevação em autoestradas adotando o valor do raio (INIR, 2010) .	16
Tabela 3.6 – Variação da inclinação máxima da transição da sobrelevação, Norma Traçado (2010).....	17
Tabela 3.7 - Tipologia do pavimento em função da sua rugosidade adaptado de França, 1988	27
Tabela 3.8 - Coeficientes para o cálculo da altura da lâmina de água, adaptado do método de França (1988).....	29
Tabela 4.9 - Tabela tipo de registo de dados numéricos	39
Tabela 4.10 - Tabela de resumo das análises a efetuar no estudo da rugosidade do pavimento	40
Tabela 4.11 - Resumo do estudo da influência da rugosidade do pavimento	41
Tabela 4.12 - Tabela de resumo do estudo da influência da intensidade de precipitação	43
Tabela 4.13 - Resumo do estudo da influência da intensidade de precipitação	44
Tabela 4.14 - Tabela de resumo do estudo da influência da inclinação longitudinal.....	46
Tabela 4.15 - Resumo do estudo da influência da inclinação longitudinal.....	47
Tabela 4.16 - Tabela de resumo do estudo da influência do fator de sobrelevação	49
Tabela 4.17 - Relação entre o raio da curva circular com a sobrelevação	49
Tabela 4.18 - Resumo do estudo da influência da sobrelevação	50
Tabela 4.19 - Valores balizados para o estudo das concordâncias horizontais.....	52
Tabela 4.20 - Análise de concordâncias longitudinais.....	52
Tabela 4.21 - Análise 14, 16 e 18	54
Tabela 4.22 – Resultado da análise 14, análise 16 e análise 18	55

Tabela 4.23 - Análise 14, 19 e 21	56
Tabela 4.24 – Resultado da análise 14, análise 19 e análise 21	57
Tabela 4.25 - Análise 13, 15 e 17	59
Tabela 4.26 – Resultado da análise 13, análise 15 e análise 17	60
Tabela 4.27 - Análise 13, 20 e 22	61
Tabela 4.28 – Resultado da análise 13, análise 20 e análise 22	62
Tabela 5.29 - Análise dos resultados da influência da rugosidade	65
Tabela 5.30 - Comparação de concordâncias longitudinais	67

Simbologia

a	Largura do eixo ao bordo da faixa de rodagem
A	Parâmetro da clotóide
Aa	Altura obtida do ensaio da Areia
AR	Alinhamento reto
CC	Curva circular
CT	Curva de transição
d	Inclinação do perfil longitudinal
F _c	Força centrífuga
F _t	Força de atrito
g	Aceleração da gravidade
h	Altura da lâmina de água acima do pavimento
i	Inclinação
i ₁	Inclinação do trainel de entrada em concordância longitudinal
i ₂	Inclinação do trainel de saída em concordância longitudinal
ip	Intensidade de precipitação
iw	Inclinação média da linha de água
j	Grau de incómodo
K	Coefficiente de roçusidade
L	Distância total da zona de disfarce da sobrelevação
Ld	Zona de alinhamento reto no disfarce da sobrelevação
Lw	Comprimento da linha de água
R	Raio da curva em planta
R _{long}	Raio da curva em perfil longitudinal
RN	Raio mínimo normal

RA	Raio absoluto
S.A.S.	Abreviatura do nome do <i>Software Superelevation Analyst Scrip</i>
Se	Sobrelevação
SL	Sobrelargura
V	Velocidade
Vh	Velocidade de hidroplanagem
W	Peso do veículo
Δi	Obliquidade da transição de sobrelevação
ϵ_1	Altura das rugosidades do pavimento
δ	Diferença de inclinação entre os bordos de intradorso e extradorso

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Introdução

A sobrelevação é um conceito que consiste de forma simplificada numa variação da inclinação transversal de uma faixa de rodagem em zona de curva, com a mudança de pendente transversal.

A necessidade de promover nas vias uma inclinação transversal adicional em zona de curva advém da necessidade de aumentar a comodidade aos utilizadores da via, elevando o atrito entre o pneu e o pavimento através do aumento do coeficiente de atrito e promover valores de aceleração centrípeta mais cómodos. A zona onde se efetua a variação da inclinação, além de respeitar as questões de comodidade, deve também promover a segurança com uma drenagem eficaz das águas pluviais. O estudo destes fatores é importante para a segurança dos utilizadores não só por questões de conforto, mas também para evitar a acumulação excessiva de água que provoque hidroplanagem.

A drenagem das águas pluviais é especialmente importante nas vias de perfil transversal largo, como é o caso das autoestradas, pois a drenagem superficial de águas envolve maior área a drenar, com maior propensão à acumulação desta na faixa de rodagem. Ponto especialmente crítico é a zona de plataforma próxima de declive nulo, que é propensa à acumulação de lâminas de águas perigosas para a aderência dos veículos (Nogueira, 2012).

Pretendendo projetar este tipo de elementos deverá ter-se em conta o valor de sobrelevação máximo adotar, tendo em atenção as condições topográficas, de implantação e climáticas próprias da região (DeIDot, 2004). O atrito lateral também é fator decisivo nesta escolha, pois promove a estabilidade do veículo dentro da curva. Na mesma linha de consideração deverá ter-se em atenção o impedimento de rotação do veículo (capotamento) por sobrelevação excessiva, parâmetro problemático em veículos de centro de gravidade mais elevado como é o caso dos veículos de mercadorias nomeadamente os transportes especiais de granéis líquidos e de caixa fechada (SANRAL, 2013).

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver o estudo comparativo das diferentes formas de disfarce da sobrelevação nas autoestradas, debruçando a atenção no que toca a critérios de comodidade, segurança e perigo de zonas potenciadoras de acumulação de água e causadoras de *hidroplaning*, em português, hidroplanagem. Como elementos de base estará a atual Revisão da Norma Traçado, cuja proposta data do ano de 2010.

Com este propósito, irá ser apresentado um programa S.A.S (*Superelevation Analyst Script*) desenvolvido com o recurso à ferramenta informática *Matlab* utilizando modelação numérica, com o intuito de obter dados gráficos e numéricos que permitam uma análise expedita da melhor solução de disfarce em função das limitações introduzidas.

Assim a partir dos dados de projeto será possível prever qual a melhor solução de disfarce em cada caso de estudo, debruçando a atenção para a segurança de circulação através da velocidade e área de hidroplanagem.

Serão ainda apresentadas medidas que poderão mitigar o risco de acidente rodoviário, impossível de eliminar na totalidade. Além do referido, será analisado um método de drenagem de água plausível de ser aplicado em zonas onde a velocidade de hidroplanagem seja inferior à velocidade de circulação, adiante designadas de zonas críticas de hidroplanagem.

Deve efetuar-se a ressalva que o programa foi desenvolvido para verificar pontos singulares de percurso e não dimensionar, sendo efetivamente concebido para ser inteiramente independente de normas e regulamentos, cabendo ao utilizador o aperfeiçoamento do projeto inserido, tendo em conta além das regras, as boas práticas e costumes do dimensionamento do projeto geométrico. Posto isto, é de elevado interesse expor que os elementos analisados seguem apenas dados numéricos e procuram situações gravosas mesmo que estas sejam desaconselháveis, mas permitidas e executadas em exceções.

1.3. Metodologia

O presente trabalho teve cinco fases bem definidas e delineadas com o intuito de obter resultados.

Inicialmente, e como primeira fase, fez-se uma revisão bibliográfica exaustiva onde se pretendia a aquisição de conhecimentos sobre a temática através da análise trabalhos e estudos anteriores.

A segunda fase do estudo voltou-se para a criação duma metodologia a implementar, definindo os parâmetros necessários para se obter os resultados, optando por formas de cálculo, cujo conhecimento foi desenvolvido durante a pesquisa bibliográfica. Com esses conhecimentos foi desenvolvido, numa terceira fase, o modelo numérico em *Matlab*, que utilizou os parâmetros previamente estudados e por fim deu origem ao *software*, *Superelevation Analyst Script*, para obter os resultados pretendidos. Surgiu durante este desenvolvimento a necessidade de criar um manual de utilização do *script*, que fez parte deste trabalho no anexo A1. Através deste, iniciou-se a quarta fase, onde foi efetuado um conjunto de análises previamente estabelecidas para conseguir uma análise comparativa. Esta contou com vinte e duas análises para cada tipo de disfarce, resumidas no anexo A4.

Para finalizar, desenvolveu-se a quinta fase, onde se compararam resultados, obtiveram-se conclusões e propuseram-se soluções mitigadores para minimizar a problemática da drenagem de águas pluviais, Como ultimo tópico do trabalho propuseram-se questões para estudos futuros.

1.4. Organização da dissertação

Este trabalho está organizado em cinco grandes capítulos.

O primeiro capítulo é capítulo introdutório, onde se abordam as considerações gerais.

O segundo capítulo diz respeito à revisão bibliográfica, onde se estudaram os elementos de projeto geométrico.

O capítulo três aborda as soluções de transição. Nestas foram propostas duas metodologias alternativas, além das três soluções existentes e estudadas no trabalho.

O quarto capítulo centra-se no modelo numérico desenvolvido, programação, grafismo e na análise de resultados.

No quinto e último capítulo, abordam-se a propõem-se medidas mitigadoras que impeçam a acumulação da lâmina de água, enuncia-se as principais conclusões obtidas e propõem-se abordagens para estudos futuros.

Por fim, incluíram-se quatro anexos ao presente trabalho, sendo o primeiro um manual de utilização do *script*, dois anexos com código de programação e um anexo com os resultados obtidos das modelações efetuadas.

2. ELEMENTOS DO PROJETO GEOMÉTRICO

2.1. Enquadramento e elementos básicos da zona de disfarce

A circulação de um veículo em curva a determinada velocidade está sujeita a forças que tendem a instabilizar a trajetória a percorrer, proporcionando o despiste para fora da via. Assim, surge necessidade de criar zonas sobrelevadas nos perfis transversais de uma estrada para contrariar a força centrífuga (F_c). Com a inclinação adicional da via tende-se a aumentar a força de atrito (F_t) entre os pneus e a pista (Branco, Santos, & Capitão, 1996).

Posto isto, a circulação em curva está condicionada a questões de equilíbrio, sendo estas descritas pela equação 1 e representadas graficamente na Figura 2.1, sendo a parcela de $\frac{V^2}{R}$ que simboliza a aceleração centrífuga (Silva, 2010).

$$F_c = \frac{W}{g} \times \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

Em que:

- W – Peso do veículo
- g – Aceleração da gravidade
- V – Velocidade
- R – Raio

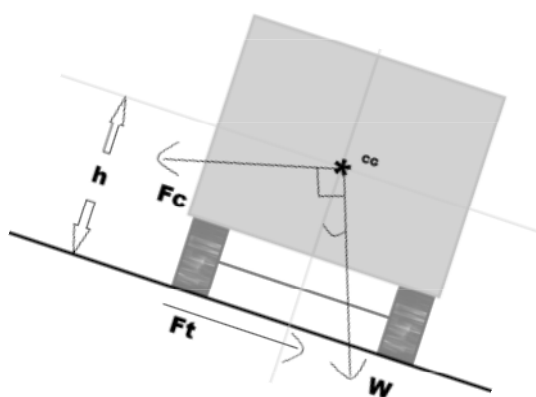


Figura 2.1 - Forças aplicadas num veículo em movimento em zona inclinada, adaptado de Branco et al. (1996)

A zona de disfarce da sobrelevação ocorre entre a curva circular (CC) e o alinhamento reto (AR), ou seja, desenvolve-se substancialmente na zona da curva de transição (CT), podendo abranger um troço em alinhamento reto. Esta zona apenas passou a ser considerada

no dimensionamento após o plano rodoviário de 1945, que estabeleceu a imposição da utilização deste elemento (Francisco, 2009).

Anteriormente a 1945, a sobrelevação era efetuada por três opções diferentes: na curva circular, no alinhamento reto ou uma opção mista (iniciando-se no alinhamento reto e terminando na curva circular). Com esta solução foi demonstrado que, na maioria das situações, a inclinação do perfil transversal era insuficiente para contrariar a força de arrastamento, que tende a empurrar o veículo para fora da trajetória circular tornando a via mais perigosa e suscetível de causar acidentes (Francisco, 2009), contrariando a ideologia em que se deve promover vias mais seguras e menos suscetíveis de sinistralidade.

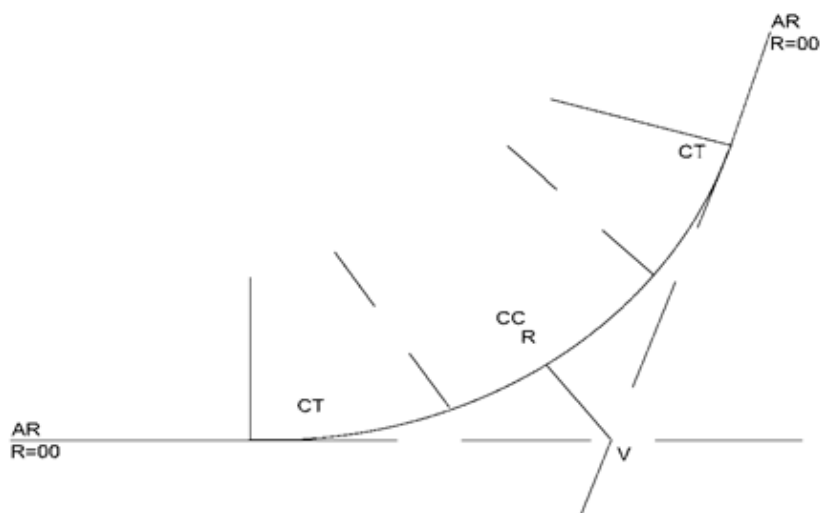


Figura 2.2 - Elementos básicos da diretriz, adaptado de Branco et al. (1996)

A Figura 2.2 representa graficamente a localização em planta dos elementos básicos da diretriz. Nos seguintes subcapítulos explicar-se-á de forma detalhada cada elemento, começando pela abordagem às curvas circulares e sendo feita uma posterior referência às curvas de transição.

2.1.1. Curvas circulares

A utilização de curvas circulares no traçado prende-se com condicionantes geográficas que obrigam a via a mudar a sua direção. Sendo consideradas elementos singulares de percurso que em caso de mau dimensionamento poderão causar elevados índices de sinistralidade. O dimensionamento de curvas circulares, de forma simplificada, prende-se com o raio a implantar e através do qual se adota a sobrelevação (INIR, 2010).

Assim, deve-se ter presente o problema dos raios mínimos absolutos (RA), que traduzem uma relação entre a força centrífuga, massa do veículo e velocidade, procurando também a situação de equilíbrio relativamente ao deslizamento lateral, tendo em atenção o coeficiente de atrito transversal (f_t), equação 3 (INIR, 2010).

$$F = \frac{M \cdot V^2}{R} \quad (2)$$

$$R = \frac{V^2}{127(f_t + S_e)} \quad (3)$$

Tabela 2.1 - Coeficientes de atrito transversal, (INIR, 2010)

Velocidade base (km/h)	Ft
40	0,16
50	0,16
60	0,15
70	0,14
80	0,14
90	0,13
100	0,12
110	0,10
120	0,09
130	0,08
140	0,06

A Norma Traçado vigente faz também referência aos raios mínimos normais (RN), definindo-os como sendo os valores que asseguram uma circulação confortável e em segurança, tendo por base um valor correspondente a cerca de 50% do valor máximo admissível da aceleração centrífuga (INIR, 2010).

Portanto, para valores de sobrelevação de 7%, a Norma Traçado define os valores de raios absolutos e mínimos normais presentes na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Raios mínimos em planta, (INIR, 2010)

Velocidade base (km/h)	RA (m)	RN (m)
40	55	110
50	85	180
60	130	250
70	180	350
80	240	450
90	320	550
100	420	700
110	560	850
120	700	1000
130	900	1200
140	1200	1400

Concluindo, a presença de curvas circulares sucessivas deve ser estudada de forma exaustiva, considerando, além do alinhamento reto mínimo entre curvas, também relações de raio a evitar. Este problema prende-se com a necessidade de obter um traçado homogêneo por questões de segurança e comodidade. A obtenção das relações a evitar na Figura 2.3 foi obtida com a análise do comportamento dos condutores e ocorrência de sinistros (INIR, 2010).

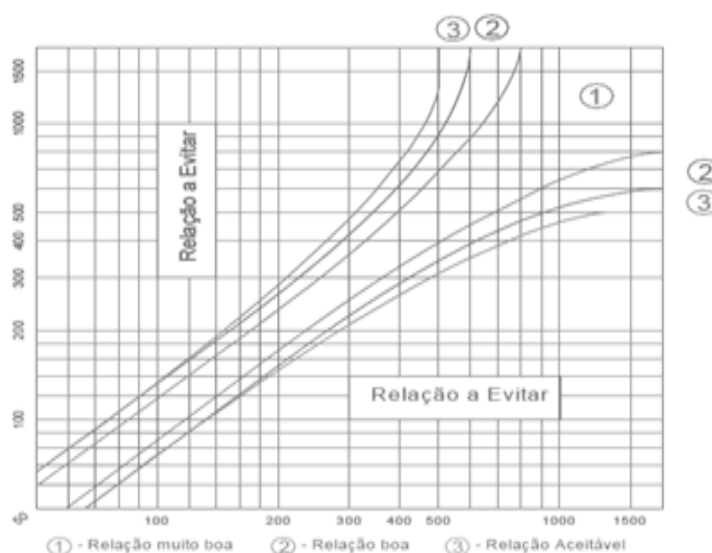


Figura 2.3 - Combinação de raios, (INIR, 2010)

2.1.2. Curvas de transição

A necessidade de criar as chamadas curvas de transição, advém do facto de não expor um veículo que sai de um alinhamento reto e entra em zona de curva a uma força centrífuga de forma imediata, criando assim uma zona de progresso aumentando o conforto e diminuindo a perigosidade através da introdução gradual da respetiva força, cujo seu pico máximo ocorre na curva circular (Branco et al., 1996).

Pode desta forma concluir-se que as curvas de transição são projetadas com a finalidade de facilitar a circulação do veículo dentro da faixa de rodagem, permitindo o disfarce da sobrelargura, da sobrelevação e o aumento da comodidade do condutor (Branco et al., 1996).

O método proposto de cálculo segundo a Norma Traçado é uso de clotóide, uma curva onde o raio sofre uma variação linear (INIR, 2010) caracterizada pela equação (4), onde A é o parâmetro da clotóide, R o raio da curva em cada ponto e L a extensão (Pereira, 2013). A Figura 2.4 pretende ilustrar o traçado em planta de uma clotóide.

$$A^2 = R \times L \quad (4)$$

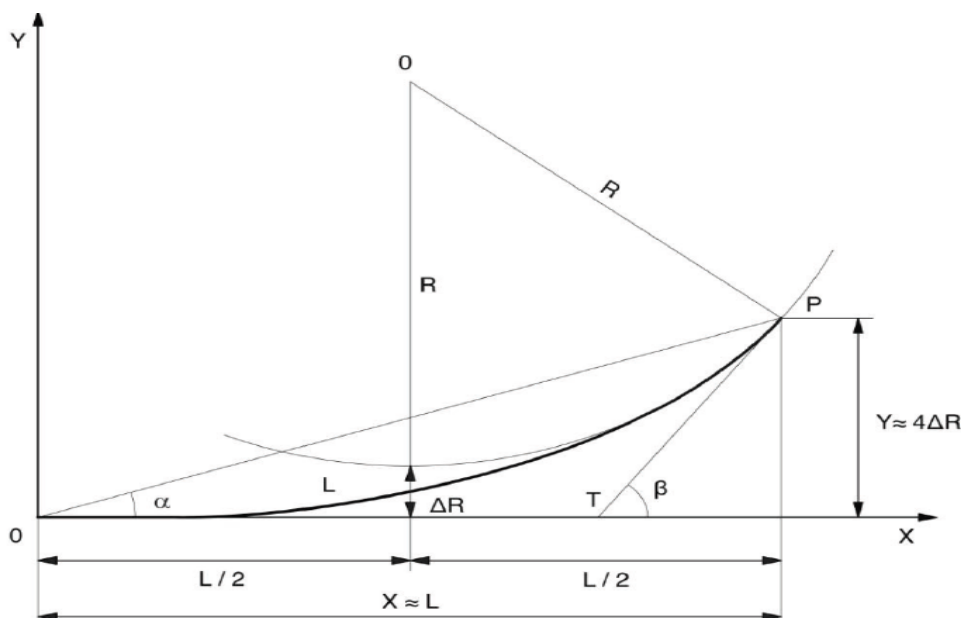


Figura 2.4 - Representação esquemática de uma clotóide, (INIR, 2010)

Outros métodos de disfarce podem ser usados apesar de menos usuais, por exemplo o recurso à equação de lemniscata ou à parábola cúbica (Pereira, 2013).

2.1.3. Concordâncias longitudinal

A zona de sobrelevação poderá se implementada em cinco tipos de perfil longitudinal, patamar, trainel ascendente ou descendente, zona de concordância côncava e zona de concordância convexa.

A situação mais simples de todas é exatamente o trainel de inclinação ascendente ou descendente, para o qual basta conhecer a inclinação do mesmo.

As zonas de concordância côncava ou convexa obrigam ao conhecimento de um raio para o perfil longitudinal, o seu desenvolvimento e a inclinação de entrada. Seguidamente serão apresentados na Figura 2.5 as incógnitas necessárias para o cálculo de uma concordância horizontal para aplicação da fórmula 5 e 6.

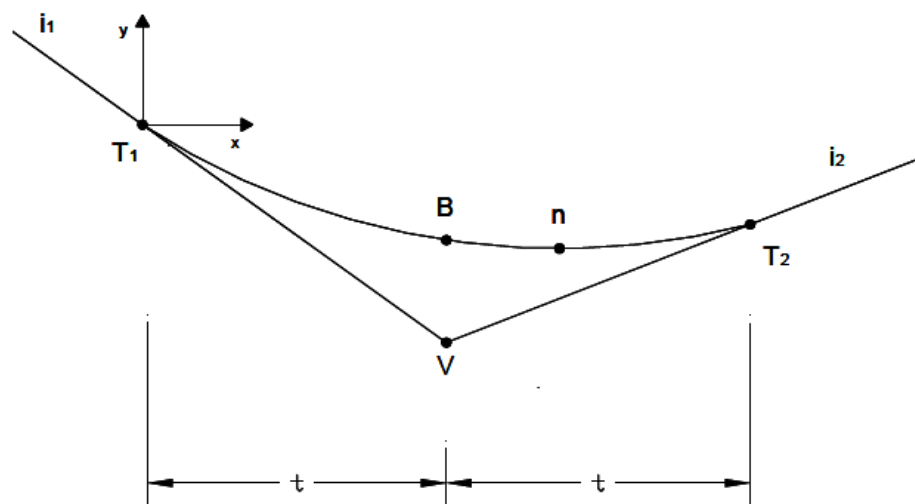


Figura 2.5 - Concordância horizontal (Branco et al., 1996)

$$y = i_1 \cdot x - \frac{x^2}{2 \cdot R_{long}} \quad (5)$$

$$t = \frac{R}{2} \cdot (i_1 - i_2) \quad (6)$$

Encontram-se definidas na atual Norma Traçado, parâmetros mínimos para conceber e projetar este tipo de concordância bem como, com recurso à utilização dos apontamentos da Universidade de Coimbra (Branco et al., 1996) foi possível extrair a equação 5 e 6, que define a curva, em função dos parâmetros da Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Parâmetros do traçado em perfil longitudinal (INIR, 2010)

	Velocidade Base (km/h)									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140
Inclinação máxima do trainel (%)	8	8	7	7	6	5	5	4	4	3
Extensão crítica (m)	120	120	150	150	180	230	230	265	300	420
Raio mínimo normal de concordâncias concavas (m)	1500	2100	3000	4200	6000	8500	12500	13000	16000	20000
Raio mínimo normal de concordâncias convexas (m)	1000	1500	2500	3500	3500	4500	5500	6000	7000	8000
Desenvolvimento mínimo (m)	60		120							140

2.1.4. Sobrelargura

Como já foi referido, nas curvas de transição promove-se o disfarce da sobrelargura (SL), ou seja, um alargamento da via na zona de curva que, segundo a Norma Traçado, se efetua linearmente ao longo da clotóide de transição. Esta necessidade de alargamento aparece porque o veículo ao descrever a trajetória de uma curva precisa de mais espaço que em alinhamento reto, visto que o percurso dos rodados traseiros não coincide com os frontais (Branco et al., 1996).

Apresenta-se na Figura 2.6 e Figura 2.7 a representação em planta da trajetória em curva de veículos.

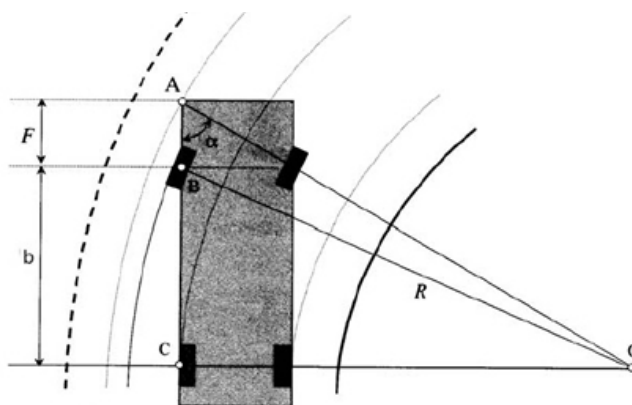


Figura 2.6 – Esquema do movimento de um veículo em curva, explicação da necessidade da sobrelargura (Filho, 1998)

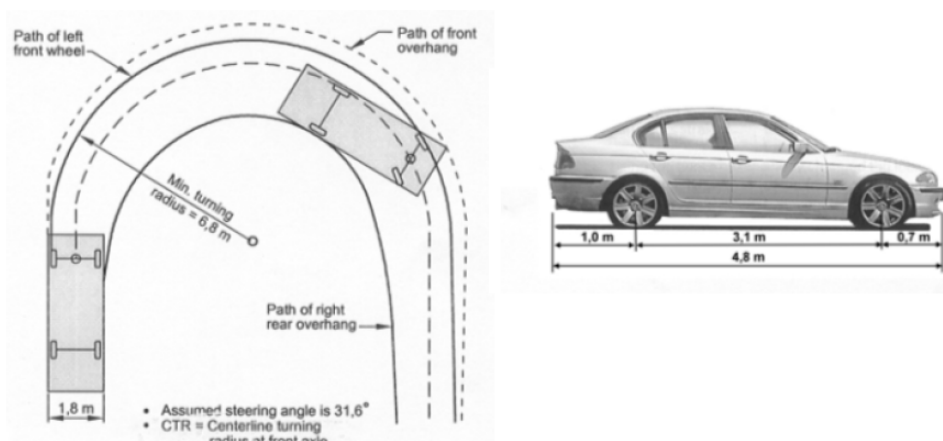


Figura 2.7 - Traçado de curva típico (SANRAL, 2013)

2.2. Elementos aplicáveis às autoestradas

2.2.1. Faixa de rodagem e berma

As autoestradas são estradas multivias, este facto torna a análise da sobrelevação uma questão bastante importante essencialmente associada aos problemas de drenagem, visto que, devido à existência de um perfil transversal largo, existe uma maior área de drenagem (O'Flaherty, 1967).

A nível de dimensões, a Norma Traçado prevê para as autoestradas a largura de faixa de 3,75m (INIR, 2010), a Figura 2.8 representa em corte um perfil transversal típico de autoestrada 2x2 em curva, onde se ilustram as dimensões da via (INIR, 2008).

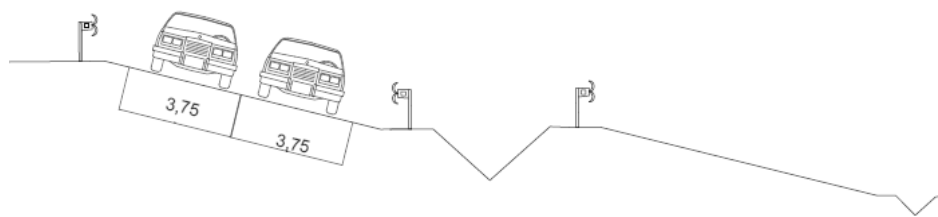


Figura 2.8 - Perfil transversal, adaptada de INIR (2008)

Ainda segundo o mesmo documento, Norma Traçado, define-se que para o caso de autoestradas, deve existir uma berma pavimentada à esquerda de largura 1,00m e a berma pavimentada à direita de largura 3,00m (INIR, 2010).

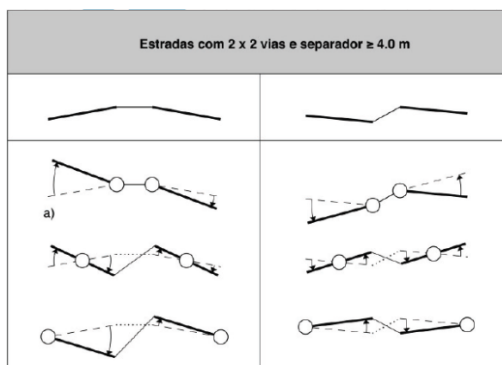
A existência de bermas, advém da necessidade de criação de uma zona de refúgio em caso de avaria ou emergência e circulação de veículos de emergência em caso de obstrução das faixas de rodagem. Normalmente, a berma adota a mesma inclinação da faixa de rodagem bem como o mesmo tipo de pavimento e por este facto é importante considerá-las, pois representam mais área a drenar (Nogueira, 2012).

2.2.2. Metodologia de disfarce de sobrelevação em perfil transversal

Nas imposições normativas da Norma Traçado surge definido que, no caso de pavimentos betuminosos, a inclinação de perfil transversal nas estradas 2x2 vias deverá ser em V invertido com a diretriz na zona do separador central. Se possível, na situação 2x3 vias deverá proceder-se à inclinação de duas vias para a zona exterior e uma para a zona interior (INIR, 2010).

Nas zonas da sobrelevação, a situação preferível é a que se encontra assinalada por a Tabela 2.4, onde a rotação se processa no eixo de simetria da via, apesar disso, existem inúmeras variantes, o que promove uma necessidade elevada de efetuar a análise das vantagens e desvantagens do ponto de vista da comodidade e da segurança através de uma boa drenagem (INIR, 2010).

Tabela 2.4 - Eixo de rotação da sobrelevação em estradas 2x2 (INIR, 2010)



O uso da zona do eixo da estrada, onde se situa o separador para a rotação, prende-se com a necessidade de diminuir a diferença de altitudes entre os dois bordos bem como, reduzir dificuldades construtivas que se prendem com a inclinação na zona do separador central (Francisco, 2009).

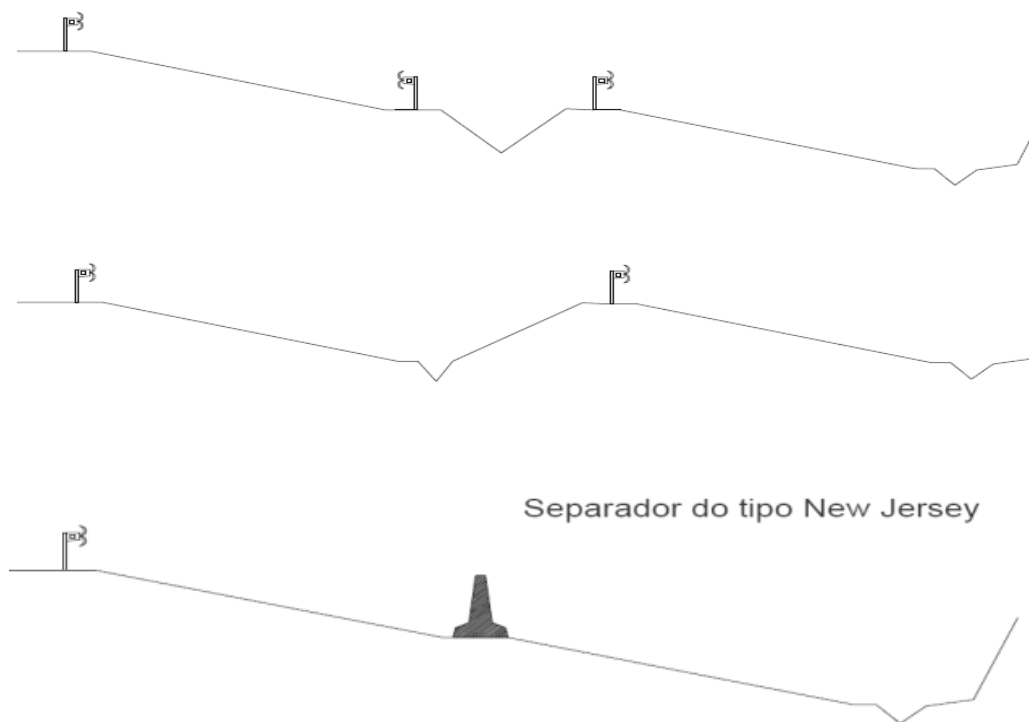


Figura 2.9 – Perfis transversais de autoestrada, adaptado (INIR, 2008)

A Figura 2.9 apresenta três tipos de perfis de autoestrada correntes, sendo corrente adoção do primeiro e do terceiro.

No estudo de autoestradas é preciso uma análise cuidada de diversos fatores que as fazem um caso particular. Por exemplo, o risco de hidroplanagem é mais elevado devido à largura superior da faixa o que origina maior área de retenção pluvial, conjugado com o facto da velocidade de circulação ser superior, comparativamente com as estradas de duas vias e dois sentidos.

3. SOLUÇÕES DE TRANSIÇÃO EM AUTOESTRADA

3.1. Disposições normativas para a sobrelevação e abordagem de disfarces

Como já referido, a zona de disfarce da sobrelevação na sua essência ocorre ao longo da curva de transição, zona onde a inclinação (i) vai variar, promovendo a comodidade e drenagem eficiente (Francisco, 2009).

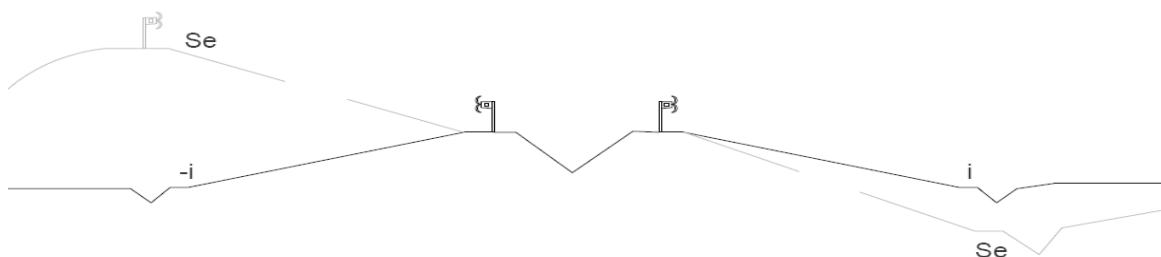


Figura 3.10 - Modelo de disfarce em estradas de separador central, adaptado de França (2008)

A Norma Traçado sugere que a sobrelevação deve ser independente da velocidade base para que a via foi concebida, isto porque muitos condutores circulam a velocidades superiores às estabelecidas, originando o conceito de velocidade de tráfego (INIR, 2010). A velocidade de tráfego é a velocidade média real de circulação em determinada via ou troço, por norma superior a velocidade base. A adoção do valor da sobrelevação deverá então ter em atenção o raio adotado, como surge na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Valor da sobrelevação em autoestradas adotando o valor do raio (INIR, 2010)

Estradas com dupla faixa de rodagem (Autoestradas)	
Raio (m)	Sobrelevação (%)
<1100	7.0
1100	6.5
1300	6.0
1500	5.5
1750	5.0
2000	4.5
2250	4.0
2600	3.5
3000	3.0
3500<R<5000	2.5
≥5000	-

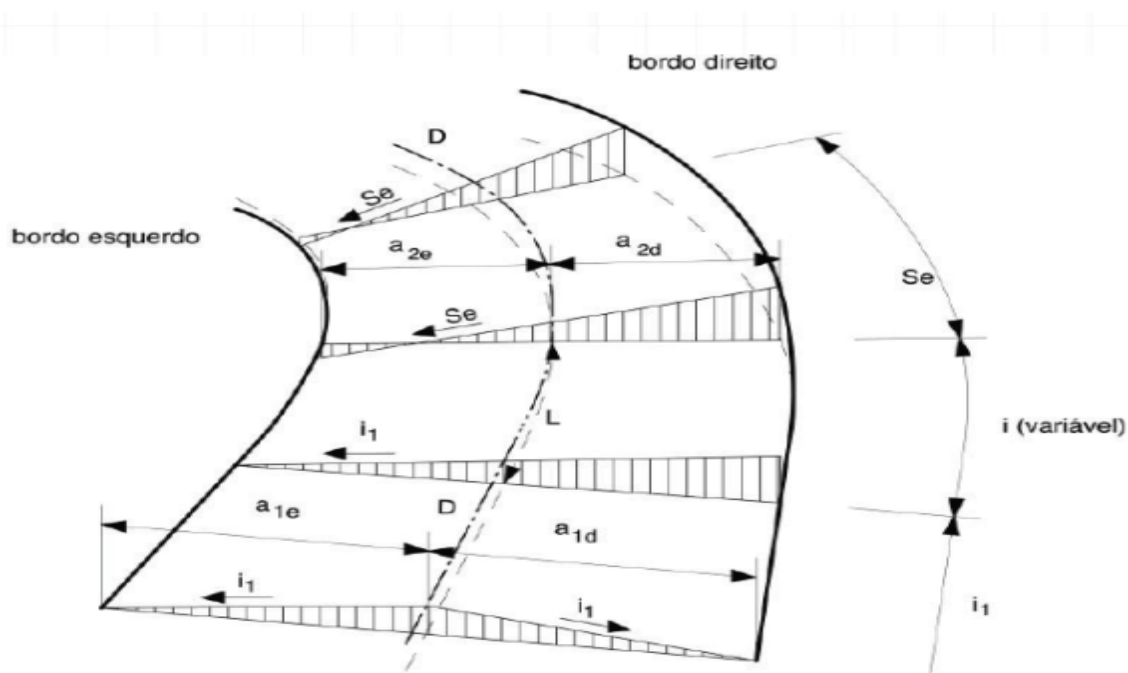


Figura 3.11 - Zona de disfarce da sobrelevação em faixa única de dois sentidos, INIR (2010)

Um fator a considerar deverá ser a variação da inclinação na transição da sobrelevação, Δi , que se pode obter pela equação 7.

$$\Delta i_{\min} (\%) = 0,1 \cdot a \tag{7}$$

Aqui a assume-se como sendo a distância do eixo de rotação ao bordo da faixa de rodagem, encontram-se tabelados também os valores máximos (Tabela 3.6) e que têm dependência direta da velocidade (INIR, 2010).

Tabela 3.6 – Variação da inclinação máxima da transição da sobrelevação, Norma Traçado (2010)

Velocidade (km/h)	< 40	40 < Vt < 80	> 80
Δi máx (%)	1.5	1.0	0.8

3.1.1. Modelo de disfarce da sobrelevação

3.1.1.1. Método linear

O método linear caracteriza-se pelo uso de uma metodologia de disfarce gradual para que se faça de forma constante, ou seja, o Δi é um valor constante ao longo do comprimento L que resulta da junção do alinhamento afetado em zona de transição e do comprimento afetado em curva circular. Assim, o método linear poderá ser representado longitudinalmente de forma gráfica pela Figura 3.12 e é caracterizado pela utilização de um ritmo constante no disfarce da sobrelevação (Nogueira, 2012).

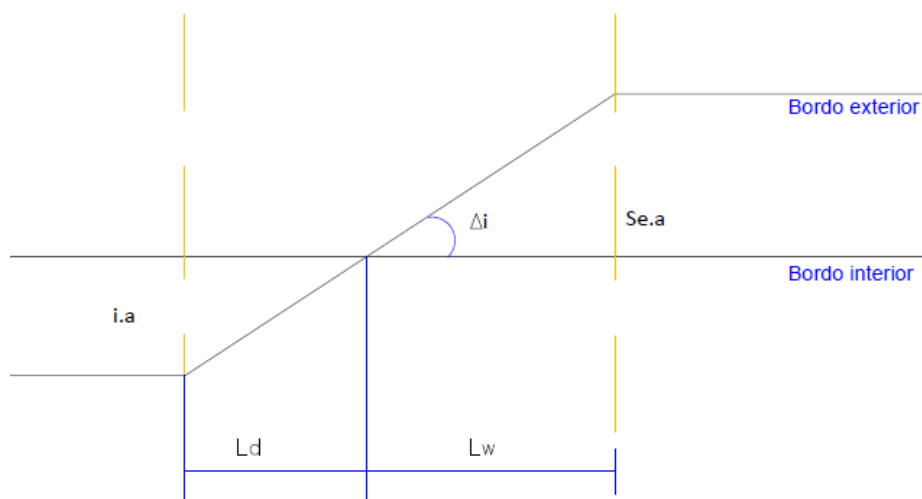


Figura 3.12-Variação linear, adaptado de França (1988)

L_d – zona de alinhamento reto no disfarce

L_w – distância da origem

L – distância total de disfarce da zona de sobrelevação ($L=L_d+L_w$)

Δi – diferença de inclinações entre o extradorso e o intradorso

i – inclinação da via do intradorso na zona de alinhamento reto

Se – sobrelevação máxima do arco de clóide

d – inclinação do perfil longitudinal

a – largura da faixa de rodagem

Assim, como referência Francisco (2009), em vias de 2x2 (7,5m de faixa e 3,5m de berma) $\Delta i_{\min} = 0,9\%$ é superior ao que aparece referenciado na norma vigente do INIR (2010) $\Delta i_{\max} = 0,8\%$. Sendo este, por exemplo, um fator penalizador para a utilização do modelo linear.

3.1.1.2. Disfarce parabólico do 3º grau (tipo I)

Este método caracteriza-se pelo uso de uma equação do 3º grau que pelas suas características de forma, durante o comprimento L cria uma zona onde o progresso do disfarce ocorre de forma mais acentuada, sendo essa a zona que atravessa a banda onde o declive da faixa seria próximo de zero.

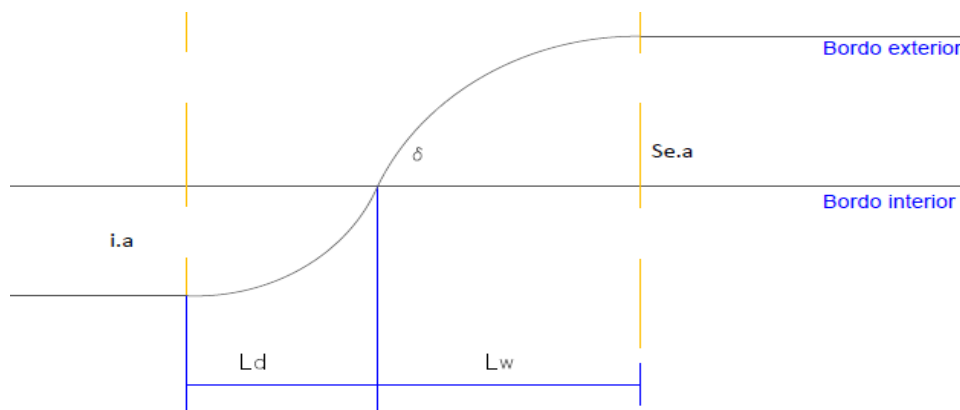


Figura 3.13 - Disfarce parabólico do 3º grau (Tipo I), adaptado de França (1988)

Considerando um referencial XY tal como propõe o estudo elaborado por França (1988), as expressões que se dividem entre a clotóide de entrada (Equação 8) e clotóide de saída (Equação 9).

$$y = d.x + a. \left[\left(3 - \frac{2x}{l} \right) \left(\frac{x}{l} \right)^2 (Se + i) \right] - i.a \quad (8)$$

$$y = d.x + a. \left[\left(\frac{l-x}{l} \right)^2 \left(3 - \frac{2(l-x)}{l} \right) (Se + i) \right] - i.a \quad (9)$$

- y – coordenada segundo o eixo YY
- x – coordenada segundo o eixo XX
- l – distância total de disfarce da zona de sobrelevação (L=Ld+Lw)
- i – inclinação da via do intradorso na zona de alinhamento reto
- Se – sobrelevação máxima do arco de clotóide
- d – inclinação do perfil longitudinal
- a – largura da faixa de rodagem
- δ - diferença de inclinação entre os bordos de intradorso e extradorso

Assim, com base na dissertação elaborada por França (1988) e em todo o desenvolvimento numérico, obtêm-se as seguintes conclusões:

- Este tipo de disfarce torna-se mais satisfatório na resolução do problema de hidroplanagem, visto que, a inclinação secundária, δ , é superior à inclinação média, $\delta_{\text{média}}$, que se obteria no regime de disfarce linear, e que garante desta forma uma maior qualidade na zona crítica de inclinação do perfil, ponto próximo de inclinação nula (Francisco, 2009).
- Acarreta duas desvantagens que são um ligeiro acréscimo na incomodidade e a difícil implantação em terreno das cotas do extradorso com rigor admissível (Francisco, 2009).

3.1.1.3. Disfarce parabólico do 3º grau (tipo II)

Este método distingue-se do anterior por uma clara divisão do alinhamento reto para o alinhamento curvo, onde o disfarce parabólico do bordo exterior engloba o alinhamento reto para que o perfil se situe numa posição da clotóide de raio infinito (Francisco, 2009). Alguns autores apresentam o desenho gráfico desta solução em dois esquemas distintos, um para o alinhamento reto e outro para a zona de curva de transição.

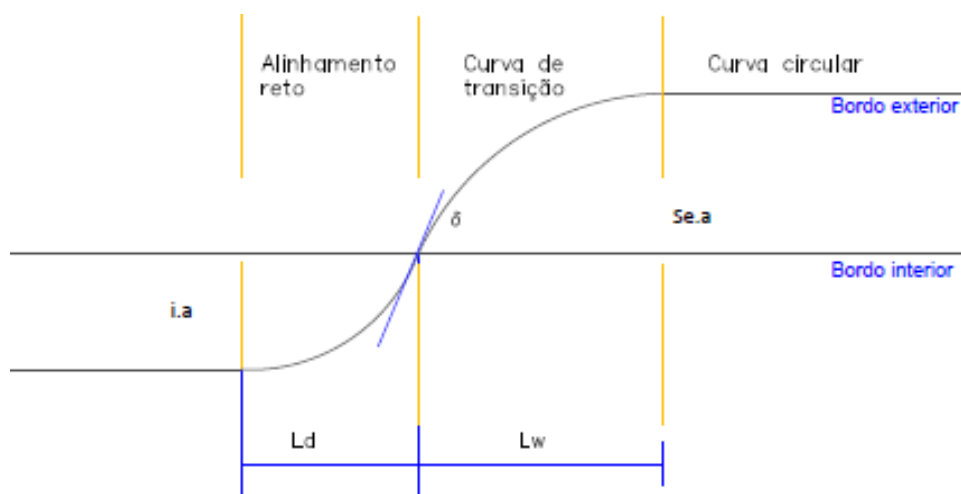


Figura 3.14 - Disfarce parabólico do 3º grau (Tipo II), adaptado de França (1988)

Assim:

- “A sobrelevação no ponto de osculação da reta com a clotóide é igual a 0%” “chegando a osculação com a curva circular no valor da sobrelevação” (França, 2011, citado em Nogueira, 2012)
- “A inclinação longitudinal do bordo exterior no ponto de osculação da reta com a clotóide deve ser igual à inclinação do bordo interior mais δ/a ” (França, 2011, citado em Nogueira, 2012)
- A inclinação inicial no alinhamento reto deverá ser igual à inclinação considerada para esta mesma zona, de valor igual a i (França, 2011).

França (1988) propõem as seguintes expressões para a obtenção da curva, sendo a equação 10 para a zona de alinhamento reto e a equação 11 para a zona de curva de transição.

$$y = d \cdot x + \left(\frac{2a \cdot (Se + i)}{l} \right) \left(x - \frac{i \cdot l}{Se + i} \right) + \left(\frac{a(Se + i)^2}{i \cdot l^2} \right) \left(x - \frac{i \cdot l}{Se + i} \right)^2 \quad l < Ld \quad (10)$$

$$y = d \cdot x + \left(\frac{2a \cdot (Se + i)}{l} \right) \left(x - \frac{i \cdot l}{Se + i} \right) - \left(\frac{a(Se + i)^2}{Se \cdot l^2} \right) \left(x - \frac{i \cdot l}{Se + i} \right)^2 \quad l > Ld \quad (11)$$

y – coordenada segundo o eixo YY
 x – coordenada segundo o eixo XX
 l – distância total de disfarce da zona de sobrelevação ($L=Ld+Lw$)
 i – inclinação da via do intradorso na zona de alinhamento reto
 Se – sobrelevação máxima do arco de clotóide
 d – inclinação do perfil longitudinal
 a – largura da faixa de rodagem
 δ - diferença de inclinação entre os bordos de intradorso e extradorso
 Ld – zona de alinhamento reto no disfarce

Importa salientar que L representa o comprimento total entre o início e o fim da zona de disfarce e Ld poderá ser obtido pela seguinte expressão:

$$Ld = \frac{i \cdot l}{Se + i} \quad (12)$$

l – distância total de disfarce da zona de sobrelevação ($L=Ld+Lw$)
 i – inclinação da via do intradorso na zona de alinhamento reto
 Se – sobrelevação máxima do arco de clotóide
 Ld – zona de alinhamento reto no disfarce

3.1.1.4. Outros disfarces implementados para teste

No presente estudo, efetuou-se uma implementação nova que consistiu na combinação do modelo linear e parabólico do tipo I, onde no primeiro se efetuou uma parábola pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior, adiante designado de disfarce tipo 4. Estas soluções fazem parte de uma metodologia piloto, com algumas limitações iniciais que se prendem com problemas de definição da rasante, apenas aplicável em estradas não complementares e definição do eixo de disfarce.

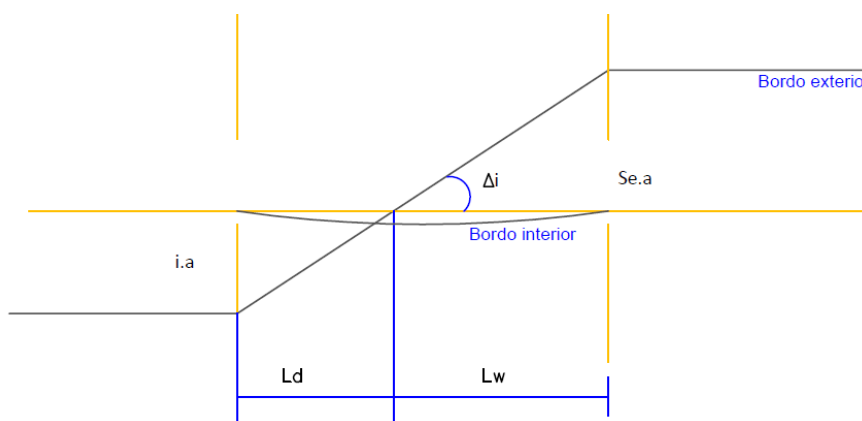


Figura 3.15 - Modelo do disfarce tipo 4

Para o bordo exterior a progressão será linear, sendo que no bordo interior foi implementada a equação 13, formulada tendo por base as equações do disfarce parabólico 3º grau tipo I.

$$y = \frac{d \cdot 2 \cdot x^2}{l} - \frac{d \cdot 3 \cdot x}{l^2} \quad (13)$$

y – coordenada segundo o eixo YY

x – coordenada segundo o eixo XX

l – distância total de disfarce da zona de sobrelevação (L=Ld+Lw)

d – inclinação do perfil longitudinal

O segundo modelo implementado, será um disfarce parabólico quer pelo bordo interior quer pelo bordo exterior, adiante designado de disfarce tipo 5.

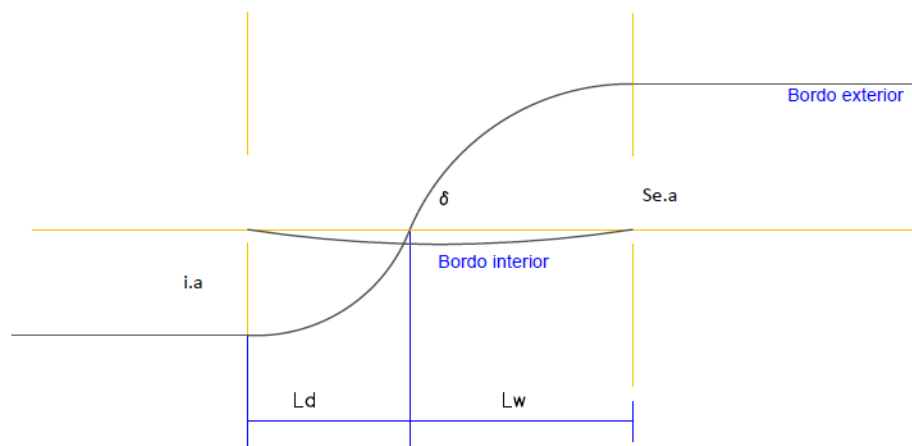


Figura 3.16 - Modelo do disfarce tipo 5

Para o bordo exterior, as expressões são para a clotóide de entrada (Equação 14) e clotóide de saída (Equação 15), iguais às propostas por França (1988) para o método de disfarce parabólico 3º grau tipo I.

$$y = d \cdot x + a \cdot \left[\left(3 - \frac{2x}{l} \right) \left(\frac{x}{l} \right)^2 (Se + i) \right] - i \cdot a \quad (14)$$

$$y = d \cdot x + a \cdot \left[\left(\frac{l-x}{l} \right)^2 \left(3 - \frac{2(l-x)}{l} \right) (Se + i) \right] - i \cdot a \quad (15)$$

- y – coordenada segundo o eixo YY
- x – coordenada segundo o eixo XX
- l – distância total de disfarce da zona de sobrelevação (L=Ld+Lw)
- i – inclinação da via do intradorso na zona de alinhamento reto
- Se – sobrelevação máxima do arco de clotóide
- d – inclinação do perfil longitudinal
- a – largura da faixa de rodagem

Para o bordo interior a proposta será igual á equação 13 no disfarce anterior.

No programa desenvolvido, aplicaram-se estes métodos como sendo soluções alternativas e que a análise de dados revelará as suas vantagens e inconvenientes a nível de drenagem de água e conseqüente segurança na circulação.

Será de salientar que os disfarces aqui apresentados possuem apenas um carácter experimental, não sendo avaliada a sua viabilidade de implementação em questões de comodidade, projeto geométrico ou dificuldades de implementação, remetendo esta análise para posteriores estudos, caso se revelem vantajosos.

Relativamente a sua implementação prática, têm características para ser bem-sucedida desde que cumpra determinados requisitos, como por exemplo, estrada com separador central e faixas de rodagem não complementares e em que o eixo do disfarce tem de ser no eixo da faixa.

3.1.2. Zona de alinhamento reto afetado pelo disfarce da sobrelevação em disfarce linear

Como foi observado, a metodologia de disfarce além de afetar as curvas de transição, conta com o uso de alinhamentos retos, sendo calculado o comprimento abrangido por esta situação em disfarce linear com o recurso à Equação 13. Analisando os estudos levados a cabo por Francisco (2009).

$$Ld = \frac{i \cdot a}{\Delta i} \quad (16)$$

Ld – Extensão do alinhamento reto afetada

i (%) – inclinação transversal da via em alinhamento reto

a – Largura da faixa de rodagem

Δi (%) – diferença de inclinação entre o bordo e o eixo ($\Delta i = 0.1 \times$ metade da largura de faixa de rodagem)

França (1988) sugeriu a adoção máxima de 80% do valor Δi_{\min} daquele que é vulgarmente utilizado. Propondo ainda na sua dissertação a expressão (14) para obter a zona de alinhamento reto afetado em disfarce parabólico do tipo I.

$$Ld = \frac{i \cdot L}{Se + i} \quad (17)$$

3.1.3. Modelo de transição preferível tendo em atenção as considerações de estudos anteriores

A comparação dos diversos modelos leva à aceitação de diversas informações já obtidas por estudos anteriores:

- Um afastamento mais célere do ponto de rotação de inclinação nula reduz o risco de ocorrência de hidroplanagem
- É notório que com a utilização de um δ mais elevado vá diminuindo o grau de comodidade no percurso da zona de disfarce

Com esta dualidade, ocorre a procura pela solução mais eficaz nos dois parâmetros como sugere Francisco (2009), segundo a dissertação deste autor, o modelo preferível de disfarce que é composto pela utilização do modelo linear na faixa do intradorso e a utilização do modelo de disfarce parabólico do 3º grau no extradorso, modelo parabólico do 3º grau (Tipo II).

3.2. Condicionantes e critérios de avaliação das soluções de disfarce

3.2.1. Grau de incomodidade

Define-se grau de incomodidade como sendo a variação da aceleração centrífuga (a_c) na unidade de tempo, potenciadora de causar sensação de incómodo no percurso de uma curva (Branco et al., 1996).

$$L = \frac{0,0214 \cdot V^3}{R \cdot j} \quad (18)$$

L – desenvolvimento da curva de transição;
R – raio da curva circular
j - grau de incómodo

Assim, as atuais Normas Traçado, definem um valor máximo do grau de incomodidade de $0,5\text{m/s}^3$ (INIR, 2010). Com o exposto, deverá proceder-se à limitação desse valor considerando esse como o primeiro critério no dimensionamento (França, 1988).

3.2.2. Tipologia do pavimento

Um pavimento rodoviário deverá ser projetado e estruturado de forma a assegurar uma superfície de circulação sólida garantindo o conforto e a segurança. Para tal, será necessária a elaboração de um bom projeto, tendo em atenção a qualidade funcional e qualidade estrutural, adaptando a via à sua envolvente prevalecendo um enquadramento adequado (Branco, Ferreira, & Picado Santos, 2011).

Para o presente estudo, interessa avaliar a macrorugosidade e microrugosidade do pavimento responsáveis pela circulação de uma lâmina de água nas cavidades do pavimento. Interessa assim, distinguir a existência de pavimentos cuja sua génese apresenta características hidráulicas ou betuminosas, influenciando diretamente as questões de rugosidade (Branco et al., 2011).

A macrorugosidade representa a irregularidade superficial do pavimento, podendo ser quantificada com o recurso ao ensaio mancha de areia. É bastante importante para a absorção de alguma espessura da lâmina de água (Trepado, 2013).

A microrugosidade esta interligada com questões de granulometria interna, sendo o fator de classificação do pavimento superficial, podendo considerar a camada superficial como rugosa ou polida (Soares, 2011). A Figura 3.17 ilustra esquematicamente a microrugosidade e macrorugosidade.

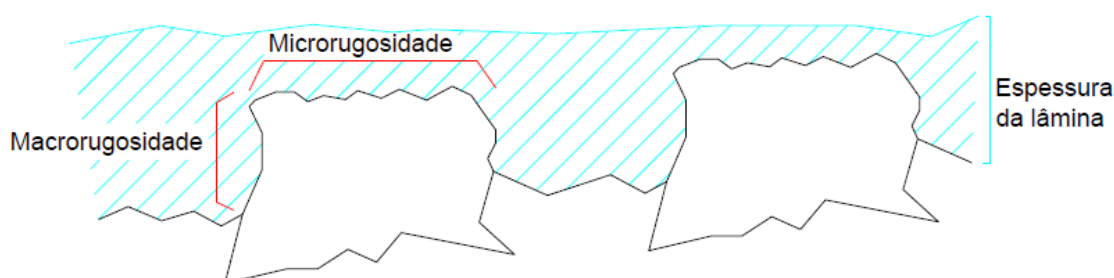


Figura 3.17 – Macrorugosidade e microrugosidade de um pavimento, adaptado de MINISTRY OF TRANSPORTATION OF ONTARIO, (2010)

Seguindo o método de França (1988), poderemos caracterizar o pavimento com quatro combinações de rugosidade descritas no seguinte quadro, Tabela 3.7, tendo em atenção a classificação quantitativa da rugosidade, o coeficiente de rugosidade (K) e a altura das ásperas do pavimento ϵl .

Tabela 3.7 - Tipologia do pavimento em função da sua rugosidade adaptado de França, 1988

Tipo de revestimento superficial do pavimento:	Macrorugosidade	Microrugosidade	K [$m^{1/3}/s$]	ϵl [mm]
Betuminoso rugoso	Elevada	Elevada	60	5,0
Betuminoso polido	Elevada	Baixa	80	4,5
Betão betuminoso rugoso	Baixa	Elevada	60	2,4
Betão betuminoso polido	Baixa	Baixa	80	0,2

3.2.3. Drenagem de águas pluviais e velocidade de hidroplanagem

O desempenho, na travagem, de um veículo com via molhada é, do ponto de vista da sinistralidade, um estudo bastante importante. Os acidentes que ocorrem devido a hidroplanagem têm na sua origem, a diminuição do atrito no contato entre pneu e pavimento com a presença de água na interface. Assim, deverá evitar-se a acumulação de lâminas espessas de água, que devem, ser mantidas abaixo dos 4mm com preferência para espessuras na ordem dos 2,5mm sendo esta, a altura da lâmina a que a hidroplanagem tende a começar. O deslizamento em estrada molhada depende também de fatores como o estado do pneumático e a rugosidade da via (O'Flaherty, 1967).

Em suma, é bastante importante dotar as vias de uma adequada inclinação transversal, devendo também promover inclinação longitudinal na tentativa de atenuar a acumulação de água na faixa através de uma drenagem rápida (O'Flaherty, 1967).

3.2.3.1. Sistemas de drenagem

Qualquer utilizador que percorra uma autoestrada em período chuvoso, facilmente se apercebe do bom ou mau funcionamento sistema de drenagem que a constitui. De forma simplificada, a água proveniente da precipitação escoar ao longo da faixa até ao final da berma, zona onde normalmente se situa a valeta.

O escoamento ao longo da via provoca uma bacia que, como já foi referenciado, tende a ser potenciadora de hidroplanagem. Para atenuar a espessura de lâmina de água, O'Flaherty (1967) na sua obra, refere alguns métodos como *Combined surface and groundwater filter drains*, por exemplo os *French drains*.

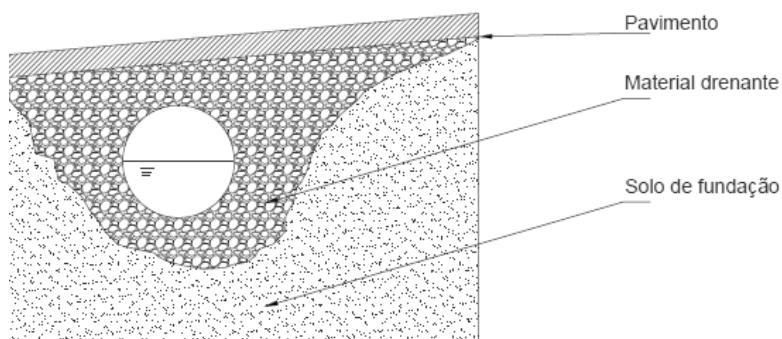


Figura 3.18 - Esquemática de um *French Drain* em corte transversal

A utilização de pavimentos drenantes seria uma evidente solução para a redução da lâmina de água. A título de exemplo “*O BBD (Betão Betuminoso Rugoso) é uma mistura betuminosa aberta (porosidade de 22 a 30%), de granulometria descontínua com diâmetro nominal máximo do agregado de 14 mm. Usado em camada de desgaste com cerca de 4 cm de espessura permite que a drenagem da água, que atinge o pavimento, se dê através do interior da camada superficial até às bermas e não à superfície como é habitual (Menezes, 2008)*”. Este tipo de solução do ponto de vista teórico seria ótimo, sendo que permitiria o escoamento ao longo do percurso de modo sub-superficial de uma grande percentagem da lâmina de água. Tal solução, não foi considerada no presente estudo, visto que a utilização deste tipo de pavimento apresenta algumas limitações como a menor resistência às ações mecânicas, ao tráfego e a neve, situação que ocorre devido as perturbações geradas nas camadas inferiores, como por exemplo, o arrastamento de finos (Menezes, 2008).

3.2.3.2. Espessura da lâmina de água e quantificação da velocidade de hidroplanagem

O problema do aumento da espessura da lâmina de água tende a agravar-se quando, devido à inversão do sentido da sobrelevação, a inclinação se aproxima para valores próximos de zero.

A inclinação das vias interfere na espessura da lâmina de água que em colaboração com a velocidade, o pneumático e a rugosidade do pavimento são potenciadoras de acidente (França, 1988).

França (1988), na sua dissertação simplificou a fórmula proposta por Berthier, tornando-a menos limitativa:

$$h = \left(\frac{Lw \cdot ip}{\beta \cdot iw^{0,5}} \right)^{0,6} - \varepsilon \quad (19)$$

h – altura de água em relação à superfície do pavimento (m)

Lw – comprimento da linha de água (m)

ip – intensidade de precipitação (m/h)

iw – inclinação das linhas de água (m/m)

$\beta; \varepsilon$ – depende da macrorugosidade e da microrugosidade

Tabela 3.8 - Coeficientes para o cálculo da altura da lâmina de água, adaptado do método de França (1988)

Macrorugosidade	Microrugosidade	β	ε	K [$m^{1/3}/s$]	εl [mm]
Elevada	Elevada	$60 \times 0,5^{2/3}$	0,0025	60	5,0
Elevada	Baixa	$80 \times \left(\frac{2}{\pi}\right)^{2/3}$	0,00096	80	4,5
Baixa	Elevada	$60 \times \sin(50^\circ)^{2/3}$	0,0024/2	60	2,4
Baixa	Baixa	8	0,002/2	80	0,2

É notório que a lâmina de água está muito dependente da extensão das linhas de escoamento, cuja trajetória depende das inclinações longitudinais e transversais do pavimento. Esse comprimento depende ainda da largura da via, incluído bermas, bem como a inclinação do longitudinal ou a tipologia da concordância. Assim, conclui-se que o veículo entra em

hidroplanagem total quando a lâmina ultrapassa a altura crítica e o veículo circula a velocidade superior á crítica (Soares, 2011).

O'Flaherty (1967) no seu livro propôs uma fórmula do *Transport Research Laboratory* para autoestradas, que relaciona a altura de água (h em cm) com a intensidade de precipitação (ip em cm/h), comprimento de drenagem (Lw em m) e o fluxo de inclinação do perfil (N).

$$h = 0,015 \times (Lw \cdot ip)^{0,5} N^{0,2} \quad (20)$$

h – altura de água em relação à superfície do pavimento (cm)
 Lw – comprimento da linha de água (m)
 ip – intensidade de precipitação (cm/h)
 N – fluxo de inclinação do perfil

Além deste método, outros aparecem referidos na literatura, como é o caso do estudo levado a cabo por Soares (2011) onde se apresenta também o modelo de Gallaway (1979) e Anderson (1998). Soares (2011) nos seus estudos pelo método de Anderson prova que este é o método mais conservativo, incluindo a influência da taxa de infiltração do pavimento e fatores como a temperatura do fluido.

Explorando de forma simplificada o problema da hidroplanagem, considera-se este como um fenómeno simples, basicamente, quando existe a presença de uma lâmina de água com espessura suficiente para dificultar a expulsão da água entre o pneu e o pavimento, ocorre uma perda de aderência entre os dois elementos passando a ocorrer um deslizamento entre os dois elementos potenciador da perda de direção e um aumento da distância de travagem. O problema é agravado com o aumento da velocidade de circulação, visto que, com velocidades de circulação superiores ocorre uma redução do contacto entre o pneu pavimento, facilitando na presença de um lençol de água a perda de aderência. (Soares, 2011).

França (1988), considerou a expressão seguinte baseada na expressão de Gallaway para a velocidade crítica de hidroplanagem relacionando com a macrorugosidade do pavimento medida pelo ensaio da areia (Aa), altura da lâmina de água acima das rugosidades do pavimento (h) e altura das rugosidades do pavimento (ϵ_1).

$$Vh = 4,580 \times (1,181 \cdot \varepsilon_1 + 1)^{0,06} \times A \quad (21)$$

ε_1 – Altura das rugosidades do pavimento

Vh – Velocidade de hidroplanagem

Em que A é calculado pela seguinte expressão:

$$A = \text{máx} \left[\frac{12,639}{h^{0,06}} + 3,507; \left(\frac{22,351}{h^{0,06}} - 4,970 \right) \times Aa^{0,14} \right] \quad (22)$$

h – altura de água em relação à superfície do pavimento

Aa – macrorugosidade medida pelo ensaio da mancha de areia

Mas a expressão de Gallaway, na qual se baseia a expressão de França (1988) não se deve aplicar em alturas (h) de lâminas de água muito finas, logo só deverá ser aplicada se $h > 2,413\text{mm}$, para valores de h inferiores deverá ser aplicada a fórmula de Agrawall (Soares, 2011).

$$Vh = 96,899 \times h^{-0,259} \quad (23)$$

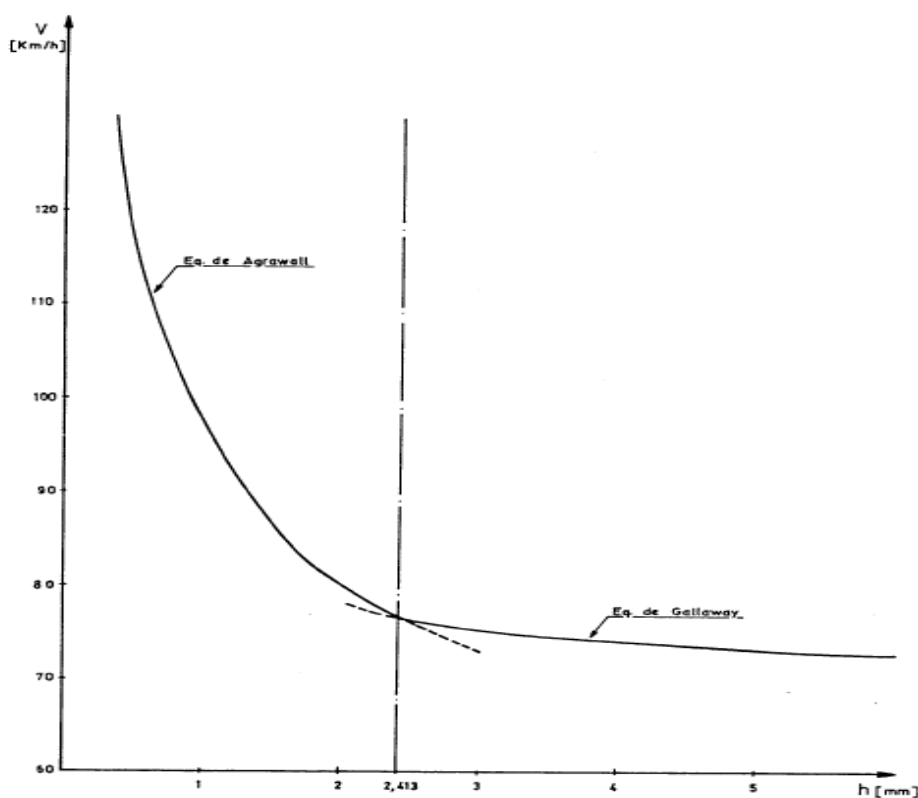


Figura 3.19 - Representação gráfica das expressões de Agrawall e Gallaway (França, 1988)

Relativamente ao pneumático, estudos provam a relação entre a largura do pneu e a ocorrência de hidroplanagem, sendo que quanto mais largo o pneu, maior probabilidade de ocorrência de hidroplanagem. Também tendo em consideração a tipologia do rasto, ser radial ou diagonal, trará vantagens e desvantagens relativamente à velocidade de ocorrência da hidroplanagem, sendo que o pneu radial apresenta significativamente velocidades de hidroplanagem mais baixas (Soares, 2011).

Tendo em consideração os pneumáticos, existe a análise da altura do frisado dos pneus, em que tendo em consideração o “Despacho DGV n.º17/96 de 22 de Maio” (1996) a altura mínima para os sulcos dos pneus é 1,6mm para veículos ligeiros e 1,0mm para veículos pesados, entrando em contraordenação veículos com rasto inferior a esses valores.

Para concluir, é importante conhecer a metodologia de cálculo do comprimento das linhas de escoamento, começando por definir as inclinações médias equação (21) (Soares, 2011) e o comprimento da linha de água dado pela equação (22).

$$i_w = \left(i_{trv}^2 + i_{long}^2 \right)^{0,5} \quad (24)$$

i_{trv} – inclinação transversal (m/m)

i_{long} – inclinação longitudinal (m/m)

$$L_w = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (25)$$

Em que X, Y e Z correspondem às coordenadas cartesianas do plano.

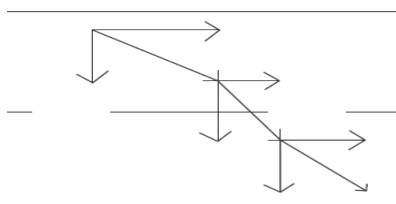


Figura 3.20 - Linhas de escoamento de perfil de inclinação variável, adaptado de Soares (2011)

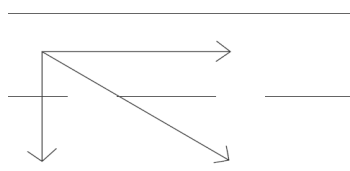


Figura 3.21 - Linhas de escoamento de perfil de inclinação constante, adaptado de Soares (2011)

3.2.4. Intensidades de precipitação

A intensidade de precipitação, também designada no presente trabalho de *ip*, define a quantidade de precipitação acumulada (quantificada através da espessura da lâmina de água) num espaço temporal.

Este parâmetro depende de condições naturais difíceis de estimar com precisão, podendo no entanto ser estimado com recurso ao uso das curvas IDF (Carvalho, 2012).

No presente estudo, deverá ter-se em consideração os picos de precipitação bem como a sua duração. Esta análise será necessária visto que, se ocorrer uma chuvada de duração superior, a acumulação de água tende a aumentar o que condiciona francamente a velocidade máxima admissível de circulação (Carvalho, 2012).

Assim, não sendo o objetivo desta dissertação quantificar a quantidade de precipitação exata para as análises, mas sim aproximada, foi importante conhecer a ordem de valores associada e para tal recorreu-se ao estudo do documento da Direção dos Serviços de Recursos Hídricos, *“Análise de fenómenos extremos de precipitação intensas em Portugal Continental”*.

“(…) máximos de precipitação em 30 minutos superiores a 50 mm verificados em quatro zonas - norte litoral (Minho litoral), interior montanhoso central (Serra da Estrela), e barlavento e sotavento do Algarve (sul mediterrânico) - contra valores inferiores a 25 mm (metade, portanto) no norte transmontano e litoral centro (Aveiro) e sul (Sines).

(Brandão, Rodrigues, & Pinto, 2001)”

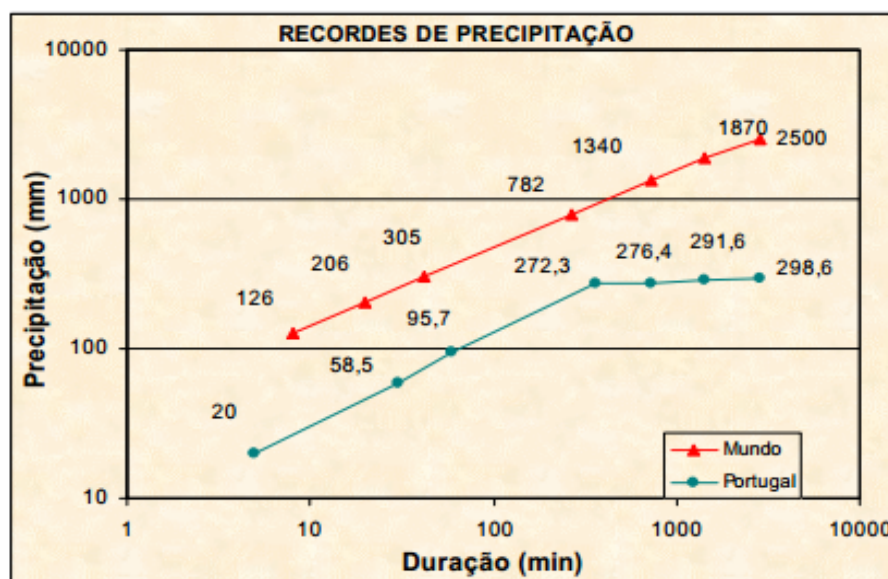


Figura 3.22 - Recordes de precipitação em Portugal e no Mundo (Brandão et al., 2001)

Com base nos dados da Figura 3.22 e Figura 3.23, preveem-se as precipitações máximas para este estudo correspondentes a uma unidade horária de 60mm/h. Nos exemplos apresentados, irão ser vertidas análises numéricas representativas para a generalidade do território nacional com base no gráfico apresentado na Figura 3.23.

Assim, com base na Figura 3.23., serão considerados três níveis de precipitação sendo 30mm/h (zona norte e algumas zonas do litoral, por exemplo Aveiro), 47mm/h (uma grande faixa do litoral, incluindo por exemplo Lisboa e Porto) e 55mm/h (a zona interior, chegando à fronteira com Espanha, como por exemplo o distrito da Guarda).

É notório que na presente definição de índices de precipitação, existe uma clara exclusão dos picos atingidos, visto que o estudo realizado pretende apenas e só uma análise corrente das condições de hidroplanagem, não tendo em consideração efeitos extremos.

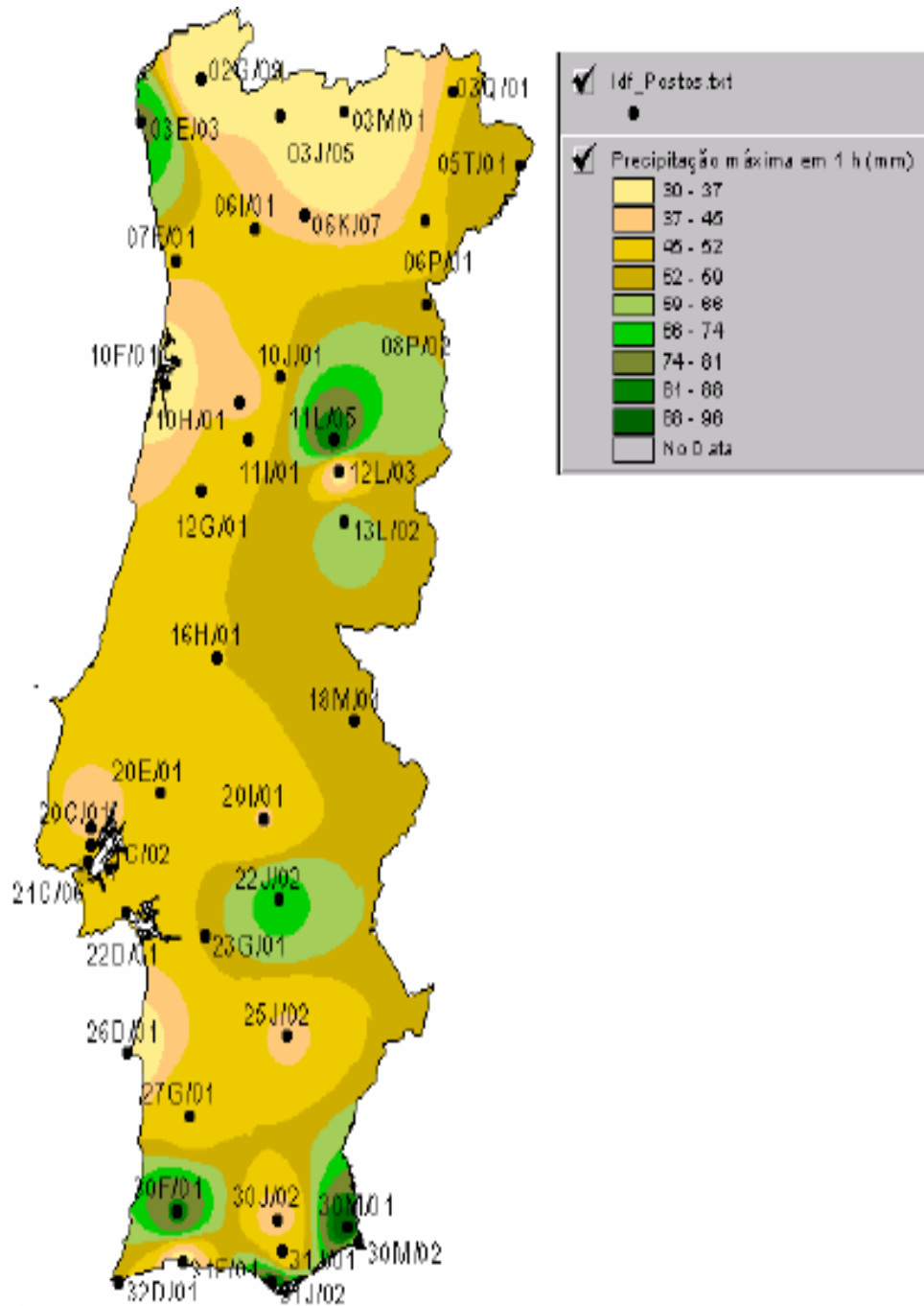


Figura 3.23 - Isolinhas das precipitações máximas históricas para a duração de 1 hora, considerando uma série udográfica, (Brandão et al., 2001).

4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE TRANSIÇÃO DE SOBRELEVAÇÃO

4.1. Modelação numérica

Como já foi referido anteriormente, utilizou-se o *software Matlab* para efetuar a modelação pretendida.

Através da utilização do *Matlab*, elaborou-se um *script* ao qual se atribuiu o nome de *Superelevation Analyst Script* (S.A.S.) que permitiu a modelação do objetivo estabelecido no início do presente trabalho, que era o desenvolvimento de um método e modelo de estudo comparativo de soluções de disfarce da sobrelevação, com incidência sobre a análise da drenagem de água e subsequente efeito de hidroplanagem. Com esta finalidade, foi necessário o recurso a conhecimentos de programação. Através do exposto, foi desenvolvido um algoritmo com base em expressões apresentadas no capítulo 2 e capítulo 3.

Em anexo, será incluído um pequeno manual de utilização do S.A.S. com o intuito de fornecer a qualquer utilizador ferramentas que permitam uma utilização simples, eficiente e completa.

Apresenta-se no seguinte subcapítulo 4.1.1., um organograma funcional simplificado do funcionamento do *script*, que permite de uma forma breve analisar a resolução numérica efetuada, cujo seu objetivo é a compreensão da metodologia seguida.

4.1.1. Fluxograma funcional simplificado

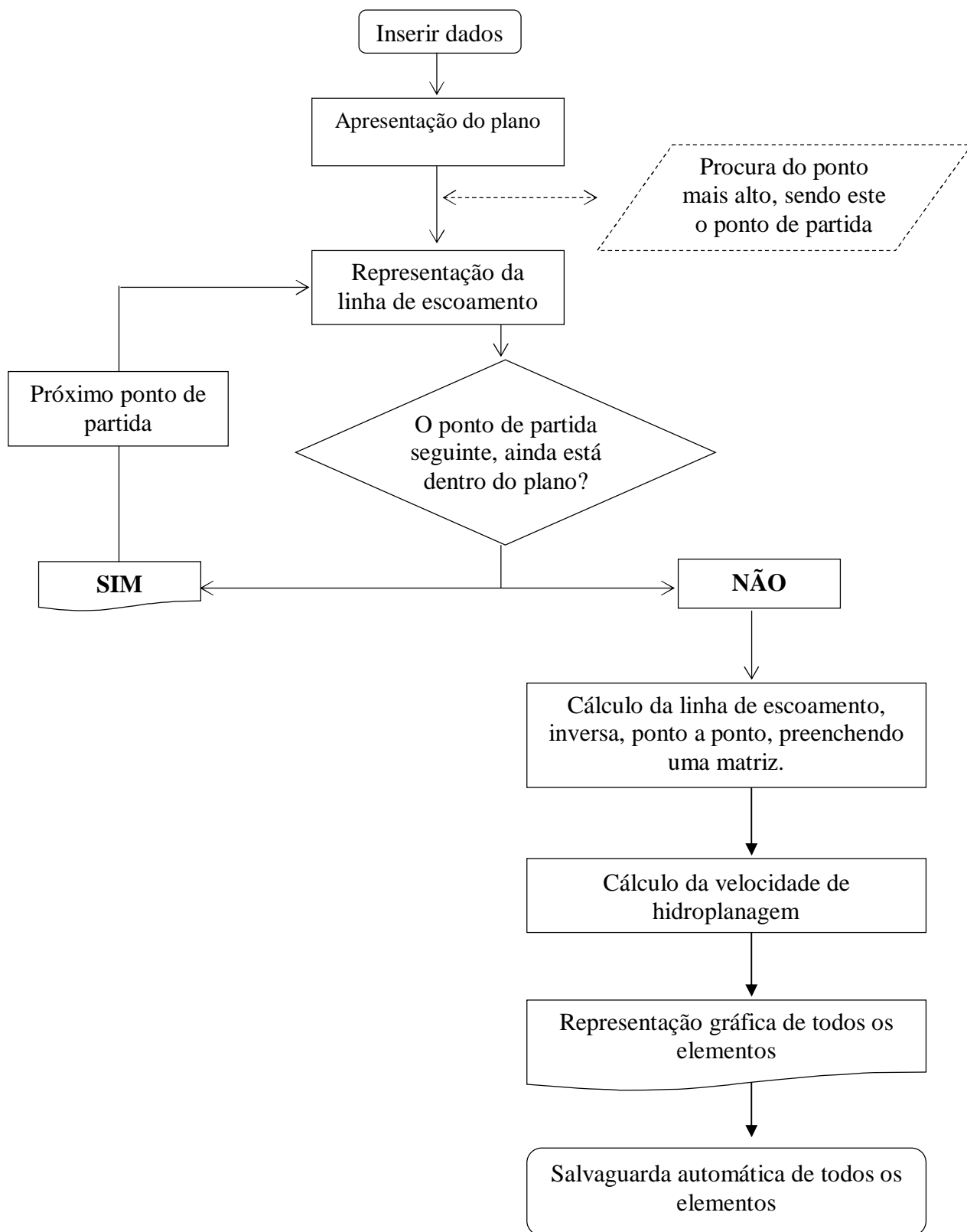


Figura 4.24 - Fluxograma geral de cálculo

4.2. Dados tipo de output

O programa desenvolvido devolve quatro dados gráficos uniformizados.

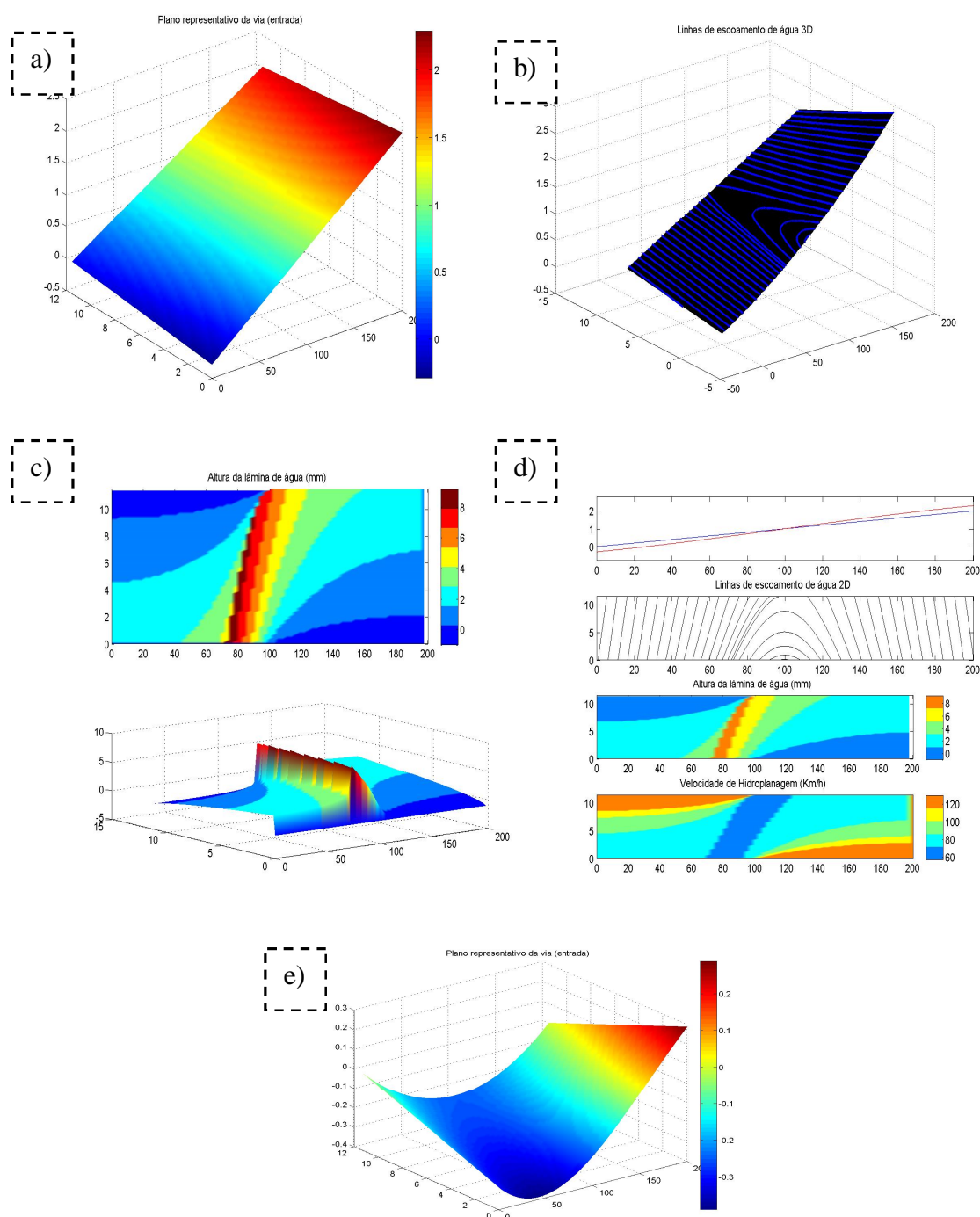


Figura 4.25 - Exemplo de output gráfico devolvido pelo programa

- Gráfico do plano representativo em tranel de inclinação contínua;
- Representação das linhas de escoamento sobre um plano de inclinação contínua;
- Gráfico representativo da espessura da lâmina de água em 2D e 3D;
- Resumo de dados, incluindo gráfico de projeção do plano a 2D, linhas de escoamento a 2D espessura da lâmina de água e velocidade de hidroplanagem em *colormap*;
- Gráfico de um plano representativo de uma concordância longitudinais.

Além destes dados gráficos, serão apresentados os dados numéricos em tabelas normalizadas. Esses dados provêm do ficheiro txt salvaguardado automaticamente pelo *scrit* que serão importantes para obter resultados para a análise pretendida, essencialmente através da velocidade de hidroplanagem, da localização da zona crítica segundo o eixo X e da área crítica de hidroplanagem.

Tabela 4.9 - Tabela tipo de registo de dados numéricos

Velocidade de hidroplanagem mínima:			Área crítica de hidroplanagem aproximada (m ²)
km/h	Coordenada XX (m)	Coordenada YY (m)	
----	-----	-----	-----

4.3. Análise de dados:

Com vista a efetuar a análise de dados de forma mais eficaz e eficiente, conseguindo uma comparação do(s) disfarce(s) que melhor desempenho promovam na circulação, iremos compartimentar esta questão de forma a balizar valores. O critério de seleção da melhor forma de disfarce recairá sobre o grau de desempenho, velocidade mais elevada de hidroplanagem, menor área crítica.

Inicialmente, efetuou-se a imposição de um desenvolvimento equivalente da zona de sobrelevação de 200m, velocidade base 120km/h (velocidade máxima típica das autoestradas portuguesas) e imposição de 2 vias por sentido, seguindo também a adoção da tipologia corrente das autoestradas portuguesas.

Será efetuada uma análise comparativa dos disfarces adiante designados de 1, 2, 3, 4 e 5 sendo respetivamente o disfarce linear, parabólico do tipo I, parabólico do tipo II, parabólica pelo bordo interior e exterior e parabólica pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior.

4.3.1. Estudo das rugosidades do pavimento

Com o objetivo de obter a melhor rugosidade do pavimento, foram levadas a cabo 4 análises, combinando macrorugosidades baixas ou elevadas com microrugosidades baixas ou elevadas, na Tabela 4.10 resumidas.

Este estudo foi simplificado para um tranel ascendente de 1% de inclinação longitudinal e intensidade de precipitação de 30mm/h.

Assim, com a realização deste estudo será possível, adotar para os estudos seguintes a rugosidade que melhor desempenho apresente, ressalvando que esta escolha tem como critério apenas a circulação, não tendo em consideração as questões económicas ou de comodidade.

Tabela 4.10 - Tabela de resumo das análises a efetuar no estudo da rugosidade do pavimento

Descrição	Macro rugosidade	Micro rugosidade	Inclinação longitudinal (%)	Número de vias	Velocidade de projeto (km/h)	Inclinação transversal (%)	Raio da curva circular (m)	Desenvolvimento (m)	Índice de pluviosidade (mm/h)
Análise 1	Baixa	Baixa	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00
Análise 2	Alta	Baixa	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00
Análise 3	Baixa	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00
Análise 4	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00

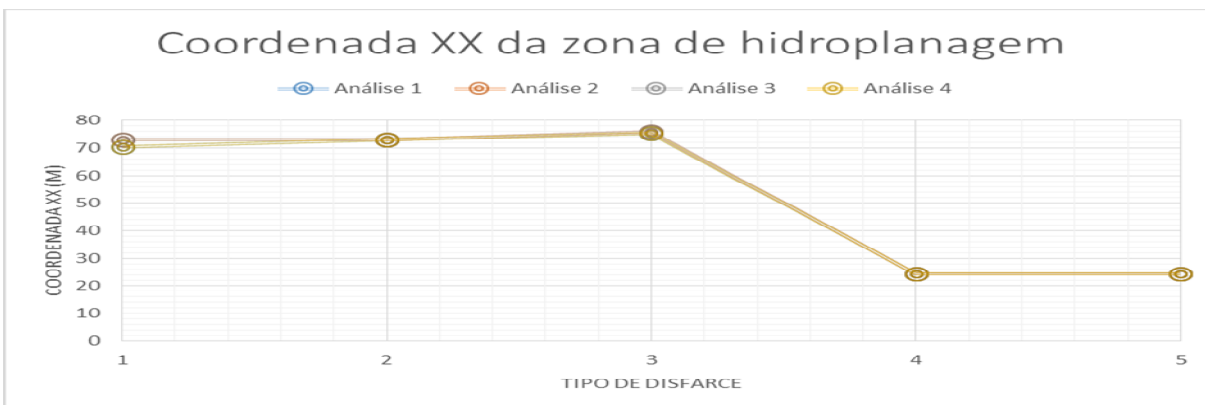
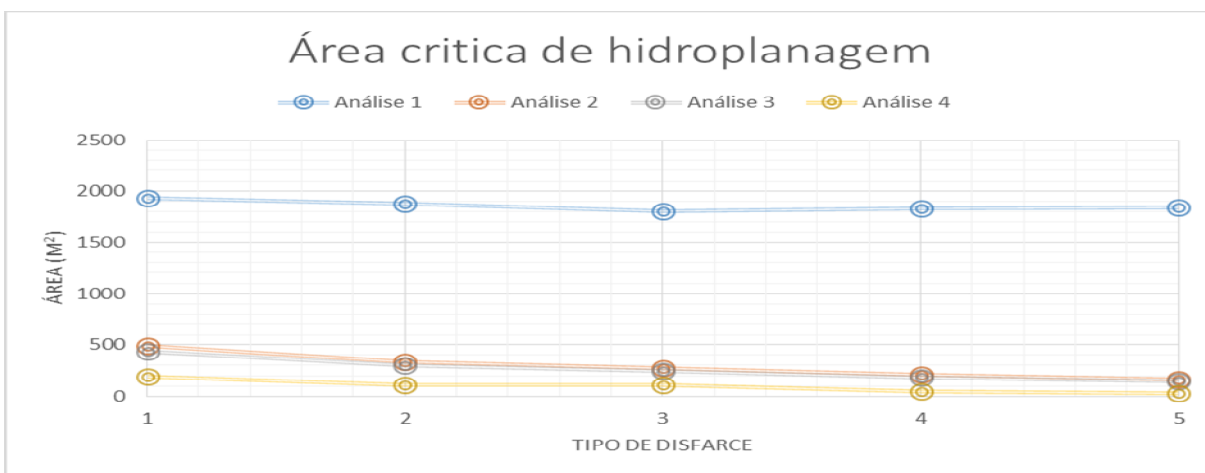
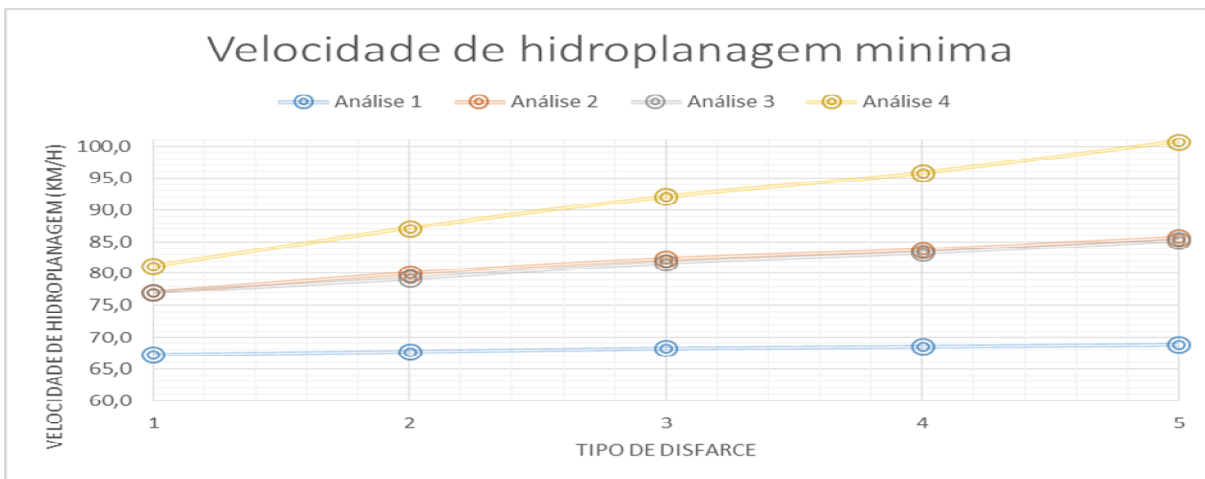
Através da combinação das 4 análises é possível obter a interpretação de dados que seguidamente se apresentam na Tabela 4.11. com a apresentação de 3 gráficos, um comparativo das diferentes análises, um com o valor aproximado da área afetada e outro que representa a coordenada do ponto crítico segundo o eixo XX (onde se localiza o valor mínimo da velocidade).

Tabela 4.11 - Resumo do estudo da influência da rugosidade do pavimento

Análise da influência da rugosidade do pavimento na hidroplanagem

Legenda:

Disfarce tipo 1 -	Disfarce linear
Disfarce tipo 2 -	Disfarce parabólico do 3º grau tipo I
Disfarce tipo 3 -	Disfarce parabólico do 3º grau tipo II
Disfarce tipo 4 -	Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e bordo exterior
Disfarce tipo 5 -	Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior



A situação preferível para esta análise deverá apresentar a maior velocidade de hidroplanagem que, por consequência, do ponto de vista teórico se deverá traduzir numa menor área de hidroplanagem, bem como numa menor distância de atravessamento. Considerando estes como critérios de desempenho da via.

O objetivo do presente estudo, como já foi referido, será estabelecer o pavimento ideal tendo em consideração a acumulação e drenagem de água. Deve-se ainda acrescentar, que é notório uma tendência gráfica igual nas diferentes análises tendo em atenção o tipo de disfarce, apresentando-se a análise 4 como a melhor solução, correspondente a um pavimento com maiores índices de rugosidade.

Assim, como conclusão deste primeiro estudo, é evidente que o pavimento preferível é um pavimento betuminoso rugoso com macrorugosidade e microrugosidade elevada. Já o pavimento com menor desempenho será o elaborado em betão betuminoso polido (macrorugosidade e microrugosidade baixas).

Apesar do exposto, um pavimento com o aumento da rugosidade apresenta melhores características na drenagem mas, em contrapartida, apresenta maior atrito entre os pneumáticos e a via o que promove maior consumo de combustível e um desgaste superior do pneu.

Nos restantes estudos será utilizada a solução com melhor desempenho, ou seja, macrorugosidade e microrugosidade elevadas.

4.3.2. Estudo da influência da intensidade de precipitação

A realização deste estudo prende-se com a necessidade de perceber a influência do aumento da intensidade de precipitação sobre a altura da lâmina de água e por consequência o efeito na velocidade de hidroplanagem.

Com este objetivo realizaram-se três análises com as chuvadas já definidas no capítulo 3.2.4. de 30mm/h, 47mm/h e 55mm/h.

O modelo de via utilizado será um modelo simplificado de 2 vias (tipologia corrente nas autoestradas portuguesas em cada sentido) e inclinação longitudinal constante de 1%. Os restantes parâmetros encontram-se resumidos na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Tabela de resumo do estudo da influência da intensidade de precipitação

Descrição	Macro rugosidade	Micro rugosidade	Inclinação longitudinal (%)	Número de vias	Velocidade de projeto (km/h)	Inclinação transversal (%)	Raio da curva circular (m)	Desenvolvimento (m)	Índice de pluviosidade (mm/h)
Análise 4	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00
Análise 5	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	47,00
Análise 6	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	55,00

Seguindo a linha da análise do estudo anterior, a comparação será efetuada por questões de desempenho da via, velocidade de hidroplanagem e estimativa da área crítica de hidroplanagem, desprezando a coordenada XX da localização da zona de velocidade de hidroplanagem mínima, visto o seu interesse ser irrelevante.

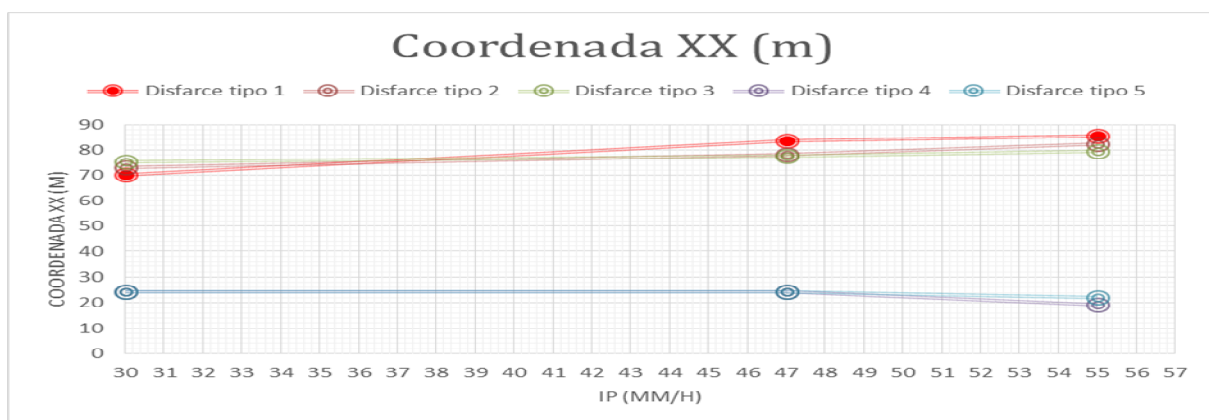
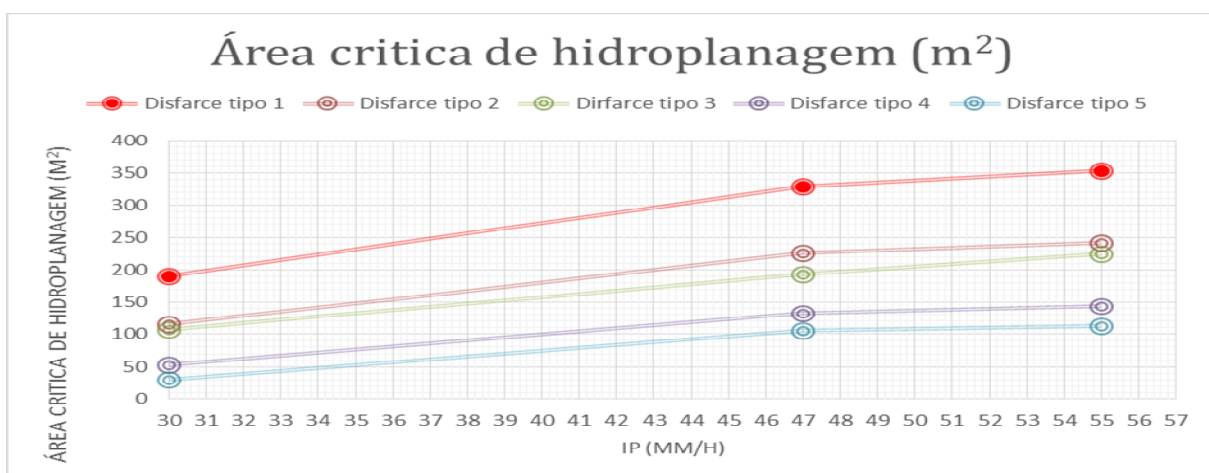
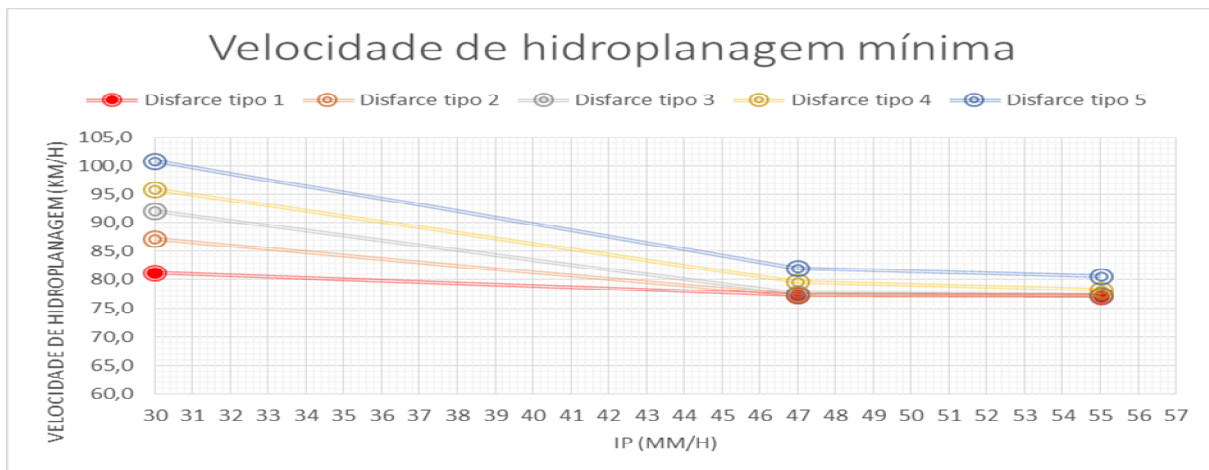
Apesar do explanado, as análises para os seguintes estudos, irão ocorrer balizando e uniformizando o valor da intensidade de precipitação em 30mm/h, servindo este conjunto de análises para perceber o comportamento da via com o aumento da chuva.

Tabela 4.13 - Resumo do estudo da influência da intensidade de precipitação

Análise da influência da intensidade de precipitação na hidroplanagem

Legenda:

- | | |
|-------------------|--|
| Disfarce tipo 1 - | Disfarce linear |
| Disfarce tipo 2 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I |
| Disfarce tipo 3 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo II |
| Disfarce tipo 4 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e bordo exterior |
| Disfarce tipo 5 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior |



Através dos dados obtidos, e assim como seria previsível através da análise dos gráficos da Tabela 4.13, o comportamento da velocidade de hidroplanagem com o aumento da chuvada não é linear apontando aparentemente para uma assíntota, inclusive, o gráfico da área crítica de hidroplanagem e a zona de atravessamento apresentam comportamento semelhante.

Com estes dados é possível concluir que, em proporção, quanto maior o valor do índice de precipitação, menor a sua influência no meio. Por exemplo, no disfarce 5, começamos com uma velocidade de hidroplanagem de 100,8km/h com uma chuvada de 30mm/h decaímos para 82,1km/h para a chuvada de 47mm/h e para a chuvada de 55mm/h ocorre uma redução para a velocidade de 81,7km/h.

Com base nos dois estudos, 4.3.1 e 4.3.2, é possível começar a observar claras vantagens do disfarce tipo 5 relativamente ao desempenho do veículo na via, velocidade de hidroplanagem superior e menor área crítica. Já pela localização o disfarce referido revela vantagens, visto que a nível da coordenada XX aparece bastante mais cedo que os outros disfarces, podendo isto revelar que a localização da zona potenciadora de hidroplanagem ainda ocorre em alinhamento reto, situação que potencia menor probabilidade de ocorrência de despiste.

No seguinte estudo irá ser analisada a influência da inclinação longitudinal.

4.3.3. Estudo da influência da inclinação longitudinal

Com o intuito de obter um estudo mais rigoroso, é vantajoso e necessário perceber e interpretar a influência da inclinação longitudinal em treineis com inclinação longitudinal ascendente ou descendente.

Antes iniciar o estudo, é esperado que a extensão da linha de água aumente com o acréscimo da inclinação longitudinal majorando a área crítica de hidroplanagem. Tal poderá ser contrariado com as propriedades do escoamento, principalmente o aumento da velocidade de escoamento através do incremento da inclinação.

Com o objetivo de caracterizar esta situação foram desenvolvidas quatro análises, cuja inclinação longitudinal será variada. Na seguinte tabela encontra-se em resumo às análises efetuadas.

Tabela 4.14 - Tabela de resumo do estudo da influência da inclinação longitudinal

Descrição	Macro rugosidade	Micro rugosidade	Inclinação longitudinal (%)	Número de vias	Velocidade de projeto (km/h)	Inclinação transversal (%)	Raio da curva circular (m)	Desenvolvimento (m)	Índice de pluviosidade (mm/h)
Análise 4	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00
Análise 7	Alta	Alta	0,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00
Análise 8	Alta	Alta	0,50%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00
Análise 9	Alta	Alta	2,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00

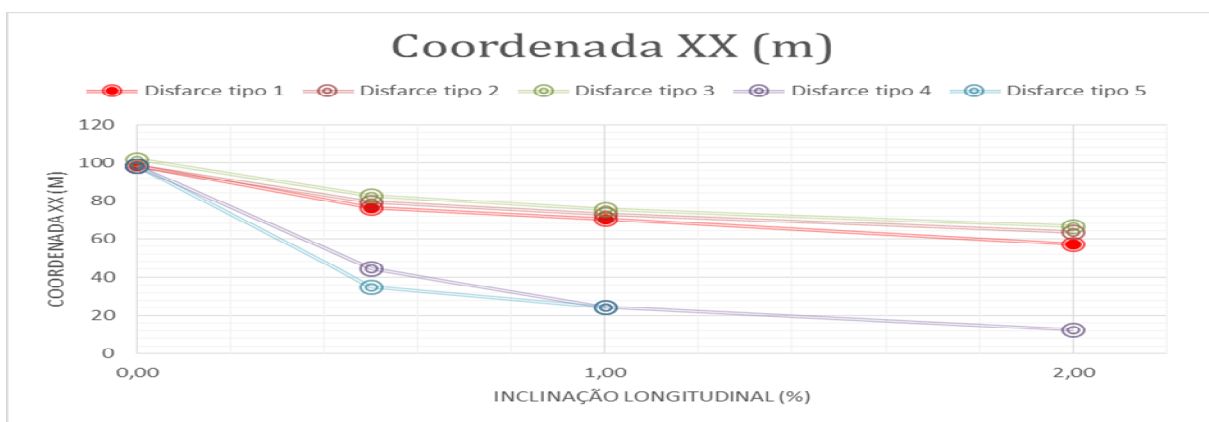
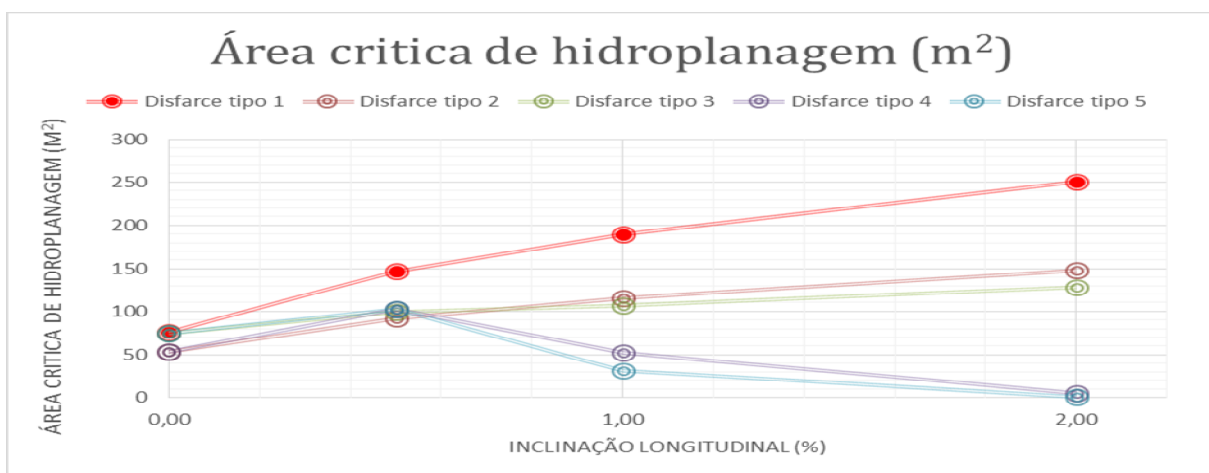
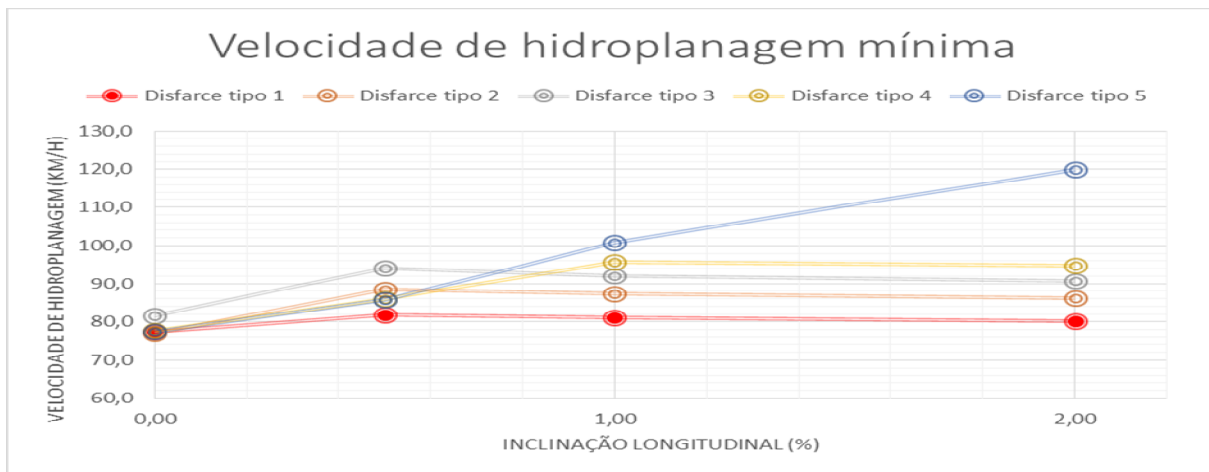
Convém efetuar a ressalva que, apesar da análise 8 apresentar um valor de inclinação longitudinal de 0,00%, na realidade da implementação prática, este poderá tender para zero mas nunca ser chegando a esse valor, sendo que para efetuar esta análise introduziu-se o valor de $0,1 \times 10^{-8}$, arredondado na apresentação de dados para 0,00%. Esta situação ocorre devido às fórmulas implementadas que não permitem a utilização do valor zero, refletindo na realidade o que ocorre na prática em que é improvável a construção de uma via, cuja sua inclinação seja exatamente zero, inclusive derivado ao próprio processo construtivo.

Tabela 4.15 - Resumo do estudo da influência da inclinação longitudinal

Análise da influência da inclinação longitudinal na hidroplanagem

Legenda:

- | | |
|-------------------|--|
| Disfarce tipo 1 - | Disfarce linear |
| Disfarce tipo 2 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I |
| Disfarce tipo 3 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo II |
| Disfarce tipo 4 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e bordo exterior |
| Disfarce tipo 5 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior |



Através da análise dos dados apresentados na Tabela 4.15, é possível observar que o aumento da inclinação longitudinal não se traduz num comportamento passível de ser caracterizado de modo linear. Por exemplo, é claramente visível que o uso de uma inclinação de 0,5% no disfarce tipo 1, 2 e 3 é menos gravosa que o uso de uma inclinação de 1% ou de 0%, já tal não se verifica no disfarce tipo 4 e 5, em que o aumento da inclinação cria um aumento francamente positivo no desempenho do veículo que circule na via prevista.

Contudo, e apesar de ser necessário um estudo mais aprofundado sobre esta temática com o objetivo de interpretar o comportamento em função da inclinação longitudinal, é possível concluir que o disfarce tipo 5 apresenta desempenho superior tendo em conta a velocidade de hidroplanagem, a bacia de hidroplanagem e por consequência a distância de atravessamento em inclinações superiores a aproximadamente 0,75%.

Tendo em conta inclinações inferiores, abaixo dos 0,5%, é notória uma vantagem para o disfarce tipo 3, disfarce parabólico do 3º grau tipo II, que favorece um melhor desempenho na via permitindo uma velocidade de circulação superior e uma zona de hidroplanagem com menor área.

A próxima análise debruçará a sua atenção sobre a influência da sobrelevação na hidroplanagem.

4.3.4. Estudo da influência do fator da sobrelevação

O objetivo do estudo da influência da sobrelevação na drenagem das águas pluviais, surge devido à necessidade de perceber o comportamento do desempenho da via em função da variação do raio da curva em planta que influencia a sobrelevação.

Para tal, serão efetuadas três novas análises fazendo uso da análise 4 para completar o lote. Estas análises serão apresentadas na seguinte tabela em forma de resumo.

Tabela 4.16 - Tabela de resumo do estudo da influência do fator de sobrelevação

Descrição	Macro rugosidade	Micro rugosidade	Inclinação longitudinal (%)	Número de vias	Velocidade de projeto (km/h)	Inclinação transversal (%)	Raio da curva circular (m)	Desenvolvimento (m)	Índice de pluviosidade (mm/h)
Análise 4	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	4900,00	200,00	30,00
Análise 10	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	2500,00	200,00	30,00
Análise 11	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	1500,00	200,00	30,00
Análise 12	Alta	Alta	1,00%	2	120,00	2,50%	500,00	200,00	30,00

Tabela 4.17 - Relação entre o raio da curva circular com a sobrelevação

Raio da curva circular (m)	Intervalo (m)	Sobrelevação (%)
4900,00	3000 – 5000	2,5
2500,00	2250 – 2600	3,5
1500,00	1300 – 1500	5,5
500,00	< 1100	7,0

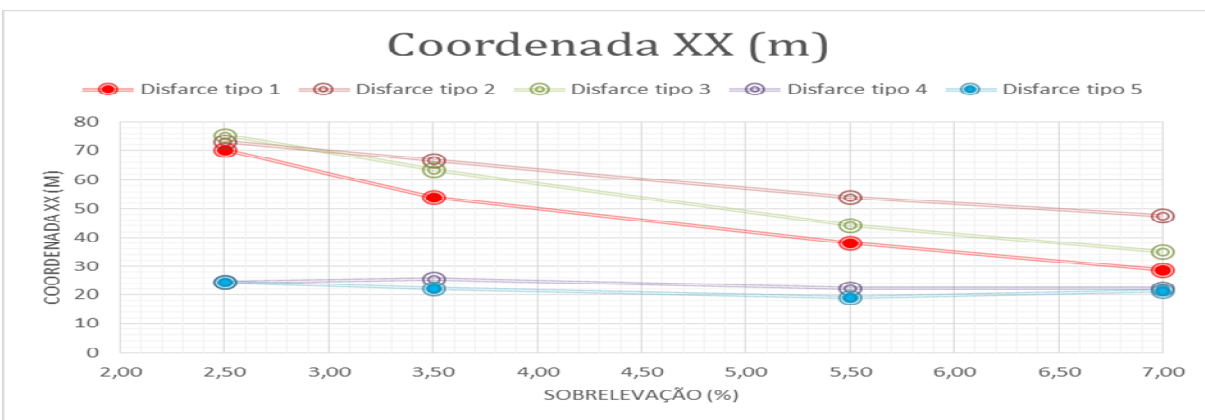
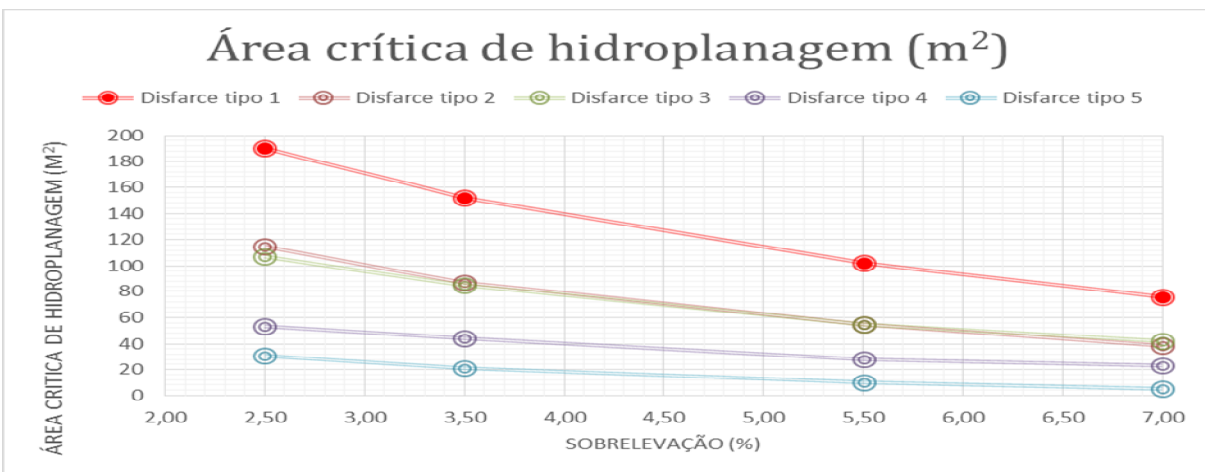
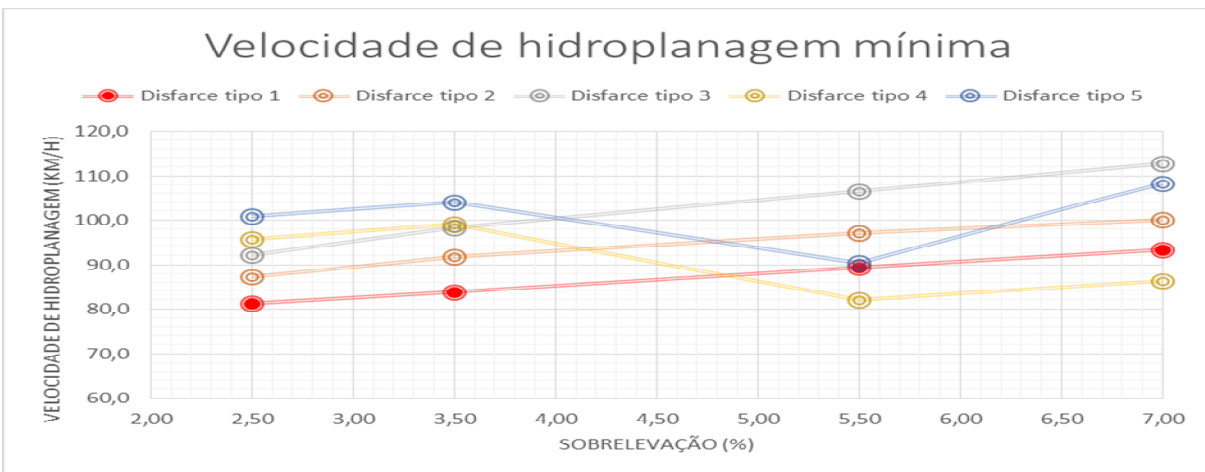
Os resultados do presente estudo serão analisados seguindo a linha de pensamento anterior e encontram-se na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 - Resumo do estudo da influência da sobrelevação

Análise da influência da sobrelevação na hidroplanagem

Legenda:

- | | |
|-------------------|--|
| Disfarce tipo 1 - | Disfarce linear |
| Disfarce tipo 2 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I |
| Disfarce tipo 3 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo II |
| Disfarce tipo 4 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e bordo exterior |
| Disfarce tipo 5 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior |



Como é conhecido, a diminuição do raio da curva leva a um aumento da sobrelevação que, por consequência, aumenta a eficiência da drenagem da água do pavimento, aumentando a velocidade a que ocorre a hidroplanagem. Contudo, a diminuição do raio da curva circular para valores reduzidos é promotora do aumento da incomodidade e da diminuição da segurança. Através dos factos expostos, encontra-se uma clara dualidade que é preciso desenvolver e estudar caso a caso, tendo em conta a aplicação em modelos reais. É evidente que, o principal critério deve recair sobre a segurança, quer de circulação corrente, quer em condições atmosféricas adversas propícias a circulação em piso molhado e fomentadoras da redução de visibilidade ao condutor.

Através da observação das análises da Tabela 4.18 é evidente, através do gráfico da velocidade de hidroplanagem, que o disfarce preferível até uma sobrelevação de cerca de 4% é o disfarce tipo 5, sendo que após esse valor se deveria optar por um disfarce tipo 3.

Apesar disso, é visível que o disfarce tipo 5 apresenta sempre menor área de hidroplanagem e menor zona de atravessamento, revelando isto, que após a sobrelevação ultrapassar os 4% a espessura de lâmina de água que se encontra é bastante superior.

Os disfarce 4 e 5, apesar de apresentarem melhorias em determinadas situações relativamente aos existentes, como por exemplo, a zona de hidroplanagem surge a uma cota XX inferior, dando-se o atravessamento da zona mais sensível mais próximo do alinhamento reto, situação favorável para evitar despistes, visto que a perda de aderência crítica ainda ocorre em trajetória linear.

É possível concluir que a combinação da sobrelevação com o tipo de disfarce deverá ser analisada caso a caso, tendo atenção inclusive, como já foi referido, ao fator da comodidade, visibilidade e segurança na circulação em curva. Ficou evidente, que é possível existir um disfarce com velocidade de hidroplanagem superior mas que apresentam a área crítica superior, o que implica uma maior distância de atravessamento mas de uma lâmina mais reduzida em altura. Com isto, até poderão surgir situações em a velocidade de hidroplanagem seja inferior, mas que forme uma zona de atravessamento tão curta que a hidroplanagem ocorra primeiro apenas nos pneumáticos da frente e posteriormente nos da retaguarda sem ocorrência em simultânea em todos os eixos do veículo, podendo assim tornar-se uma situação vantajosa.

4.3.5. Estudo da influência do tipo de disfarce em concordâncias longitudinais

Os quatro estudos anteriormente apresentados debruçam a sua atenção sobre a variação de parâmetros na zona de sobrelevação em trainel com inclinação longitudinal.

Neste quinto estudo serão analisados os fatores inerentes a zona de sobrelevação em concordâncias verticais côncavas e convexas, tentando assim compreender a influência do tipo de disfarce nas diversas situações.

O tipo de solução apresentada nos seguintes estudos é a solução mais gravosa de se poder encontrar no sistema rodoviário, sendo mesmo desaconselhada na atual Norma Traçado. A coordenação entre traçado em perfil ou planta deverá ser estudada evitando a existência de curvas horizontais em zonas de transição, optando por as combinar com as curvas circulares. Para finalizar, optou-se por este estudo porque do ponto de vista é a situação que deverá apresentar piores resultados, logo vantajosa de estudar.

Tabela 4.19 - Valores balizados para o estudo das concordâncias horizontais

Macro rugosidade	Micro rugosidade	Número de vias	Velocidade de projeto (km/h)	Inclinação transversal (%)	Desenvolvimento (m)	Índice de pluviosidade (mm/h)
Alta	Alta	2	120,00	2,50%	200,00	30,00

Tabela 4.20 - Análise de concordâncias longitudinais

Descrição	I1 (%)	I2 (%)	Raio da concordância longitudinal (m)	Raio da curva circular (m)	T (m)
Análise 13	0,50	-0,50	20000	4900	100
Análise 14	-0,50	0,50	-20000	4900	100
Análise 15	0,50	-0,50	20000	2500	100
Análise 16	-0,50	0,50	-20000	2500	100
Análise 17	0,50	-0,50	20000	1000	100
Análise 18	-0,50	0,50	-20000	1000	100
Análise 19	-0,20	1,00	-16667	4900	100
Análise 20	0,20	-1,00	16667	4900	100
Análise 21	-0,50	0,10	-33333	4900	100
Análise 22	0,50	-0,10	33333	4900	100

Será necessário, no presente estudo agrupar os resultados em diversas análises, tendo em conta os parâmetros analisados e a tipologia de concordância longitudinal, que poderá ser côncava, convexa ou em tranel, como usado nos anteriores estudos.

Inicialmente serão apresentados os dados em concordâncias côncavas, cuja Figura 4.26 ilustra. O agrupamento de análise de dados juntará a comparação dos resultados da análise 14, 16 e 18, estudando assim da influência do fator sobrelevação através da variação do raio da curva circular. Para concluir, serão agrupados os resultados obtidos das análises 14, 19 e 21 que pretende demonstrar a influência do raio da concordância longitudinal no tipo de disfarce.

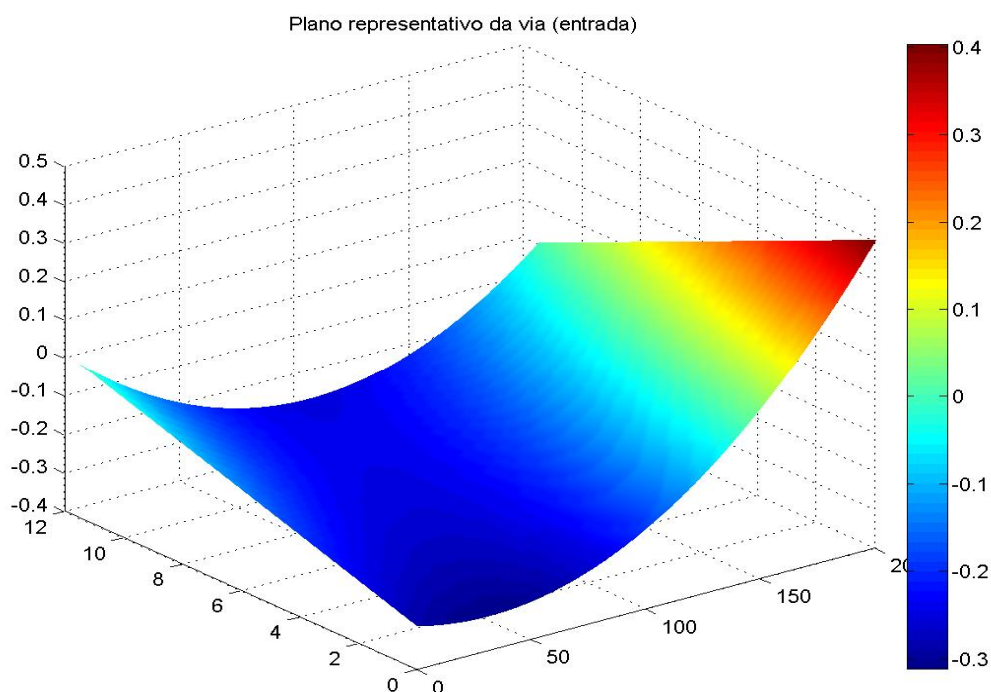


Figura 4.26 - Concordância longitudinal côncava, análise 16, disfarce tipo 1

Seguidamente na Tabela 4.22, serão apresentados os dados obtidos da simulação da análise 14, 16 e 18 em que se promoveu a variação do raio da curva circular utilizando concordâncias côncavas. Utilizou-se para a análise 14 um raio de 4900m correspondente a uma sobrelevação de 2,5%, para a análise 16 um raio de 2500m correspondente a uma sobrelevação de 3,5% e por último na análise 18 um raio de 1000m correspondente a sobrelevação de 7%.

Tabela 4.21 - Análise 14, 16 e 18

Descrição	I1 (%)	I2 (%)	Raio da concordância longitudinal (m)	Raio da curva circular (m)	T (m)
Análise 14	-0,50	0,50	-20000	4900	100
Análise 16	-0,50	0,50	-20000	2500	100
Análise 18	-0,50	0,50	-20000	1000	100

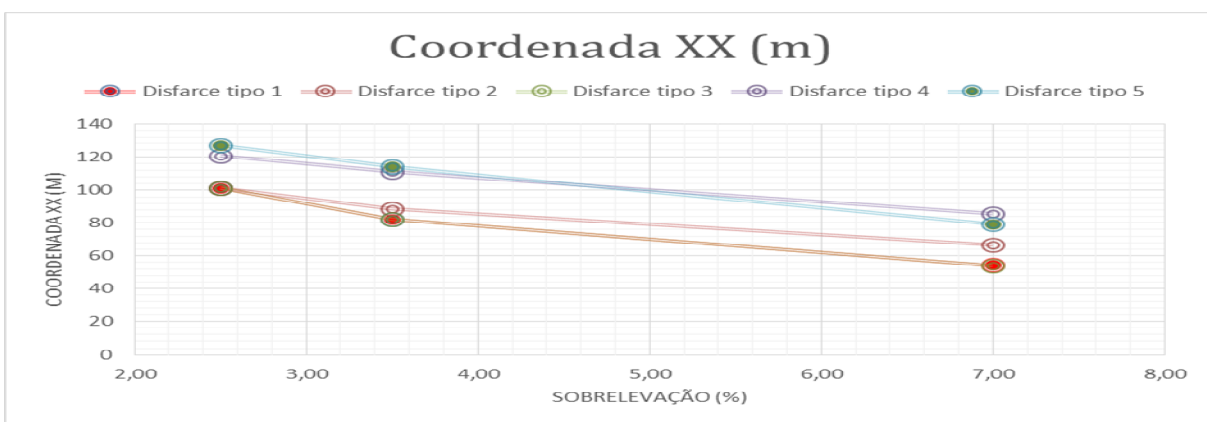
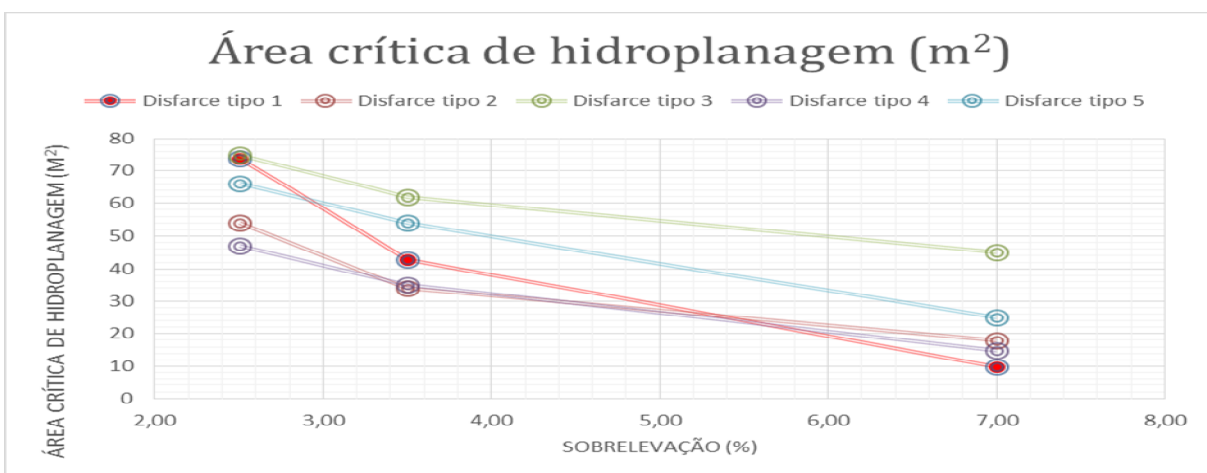
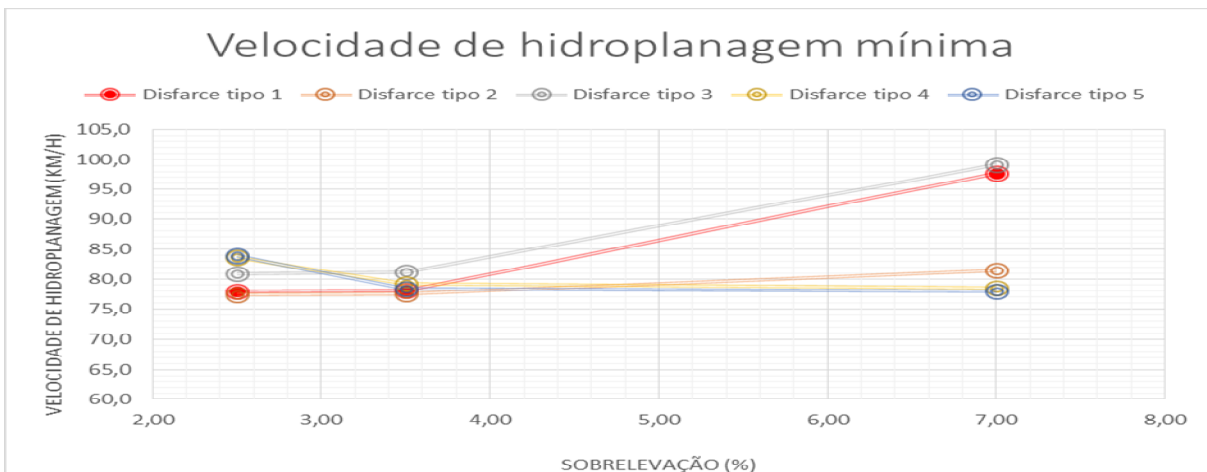
Com estas três análises foi possível contruir um gráfico que compara as velocidades de hidroplanagem, a distância de atravessamento, a localização da zona de hidroplanagem segundo o eixo XX e a área crítica de hidroplanagem aproximada.

Tabela 4.22 – Resultado da análise 14, análise 16 e análise 18

Análise da influência da sobrelevação em concordâncias côncavas

Legenda:

- Disfarce tipo 1 - Disfarce linear
- Disfarce tipo 2 - Disfarce parabólico do 3º grau tipo I
- Disfarce tipo 3 - Disfarce parabólico do 3º grau tipo II
- Disfarce tipo 4 - Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e bordo exterior
- Disfarce tipo 5 - Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior



Através da análise dos dados obtidos, é possível concluir que, o disfarce tipo 3 apresenta melhores características de desempenho em concordância côncava e com sobrelevação superior a aproximadamente 3%, ou seja, correspondente a um raio da curva circular inferior a 3000m. O disfarce tipo 4, apresenta evidentes vantagens em sobrelevação inferior a 3%, ou seja, raios superiores a 3000m.

Seguidamente simularam-se três análises, sendo elas a número 14, 19 e 21, onde se variou o raio da concordância longitudinal côncava fixando o raio da curva circular no valor de 4900m.

A análise destes dados foi abordada de forma semelhante à anterior, com recurso aos dados obtidos dos três ensaios efetuou-se a sua compilação de forma gráfica e reuniram-se na Tabela 4.24.

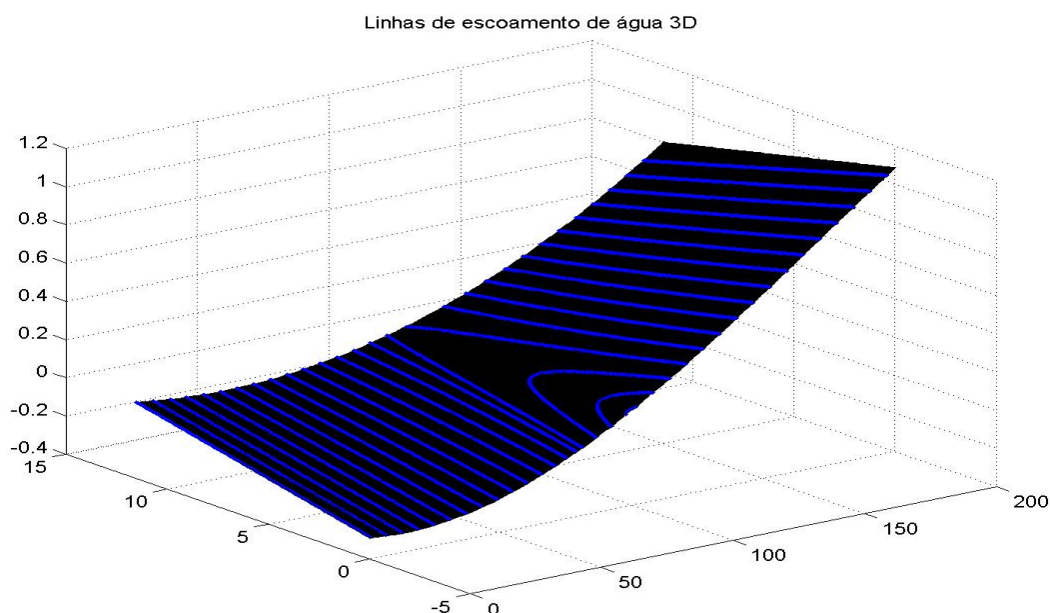


Figura 4.27 – Trajetórias de escoamento em concordância longitudinal côncava, análise 19, disfarce tipo 2

Tabela 4.23 - Análise 14, 19 e 21

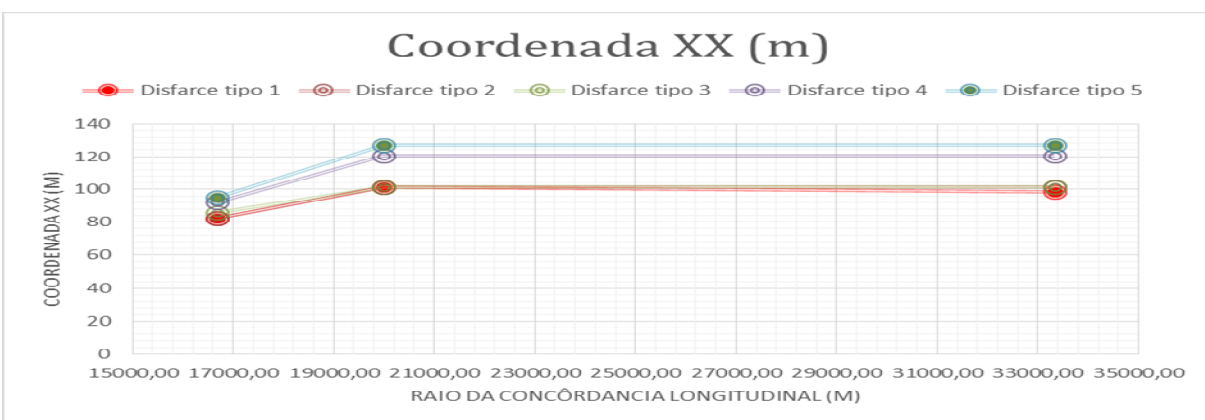
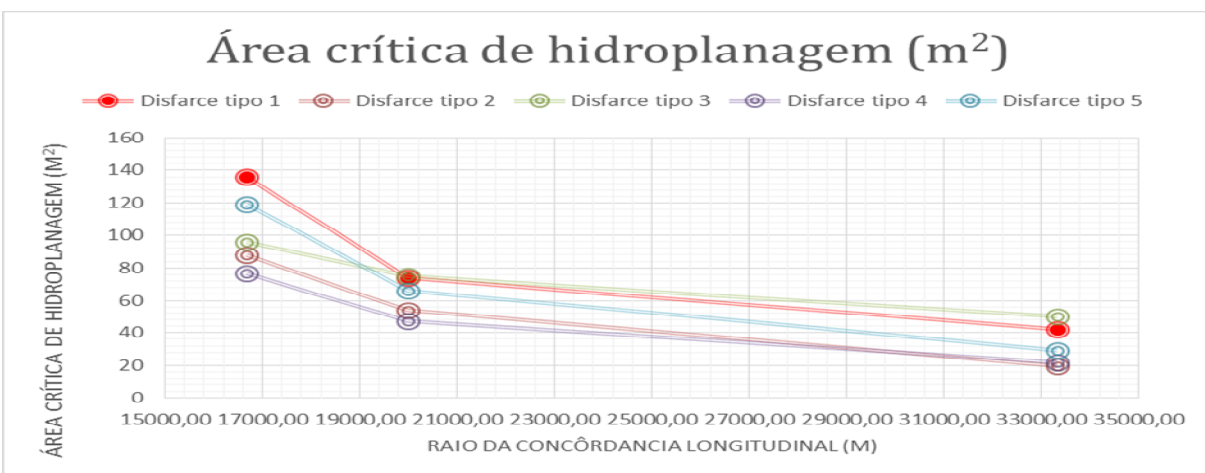
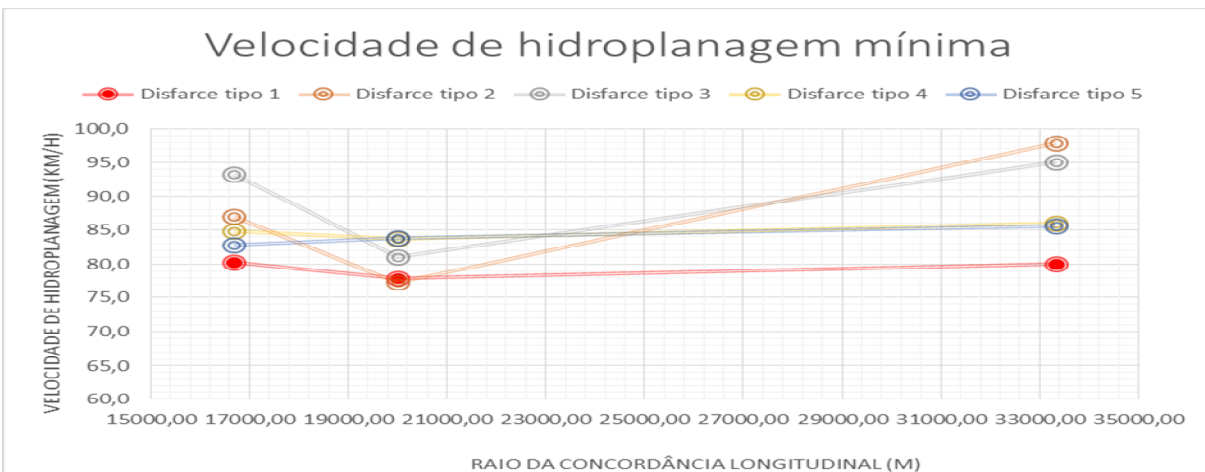
Descrição	I1 (%)	I2 (%)	Raio da concordância longitudinal (m)	Raio da curva circular (m)	T (m)
Análise 14	-0,50	0,50	-20000	4900	100
Análise 19	-0,20	1,00	-16667	4900	100
Análise 21	-0,50	0,10	-33333	4900	100

Tabela 4.24 – Resultado da análise 14, análise 19 e análise 21

Análise da influência do raio longitudinal em concordâncias côncavas

Legenda:

- | | |
|-------------------|--|
| Disfarce tipo 1 - | Disfarce linear |
| Disfarce tipo 2 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I |
| Disfarce tipo 3 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo II |
| Disfarce tipo 4 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e bordo exterior |
| Disfarce tipo 5 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior |



Após a análise dos dados apresentados é possível concluir que o comportamento é bastante diferenciado, não sendo plausível retirar conclusões sobre o disfarce mais favorável em concordâncias concavas, devendo em casos de aplicação real neste tipo de concordâncias efetuar-se o estudo caso a caso.

Os ensaios realizados para observar o comportamento em concordâncias côncavas será abordado agora em concordâncias convexas, cuja Figura 4.28 ilustra a título de exemplo.

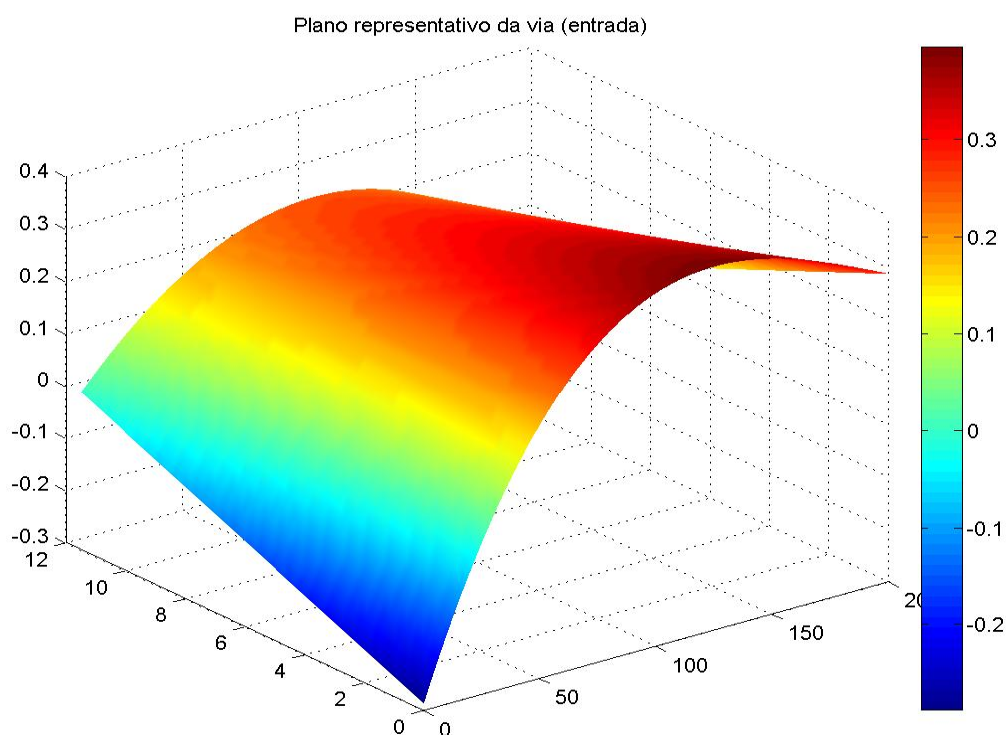


Figura 4.28 - Concordância longitudinal convexa, análise 13, disfarce tipo 5

O agrupamento de dados segue a interpretação dos mesmos em relação às análises 13, 15 e 17 que comparam o fator da sobrelevação, variando os raios da curva em planta. Seguidamente será analisada a influência do raio da curva longitudinal através do agrupamento de resultados das análises 13, 20 e 22.

Tabela 4.25 - Análise 13, 15 e 17

Descrição	I1 (%)	I2 (%)	Raio da concordância longitudinal (m)	Raio da curva circular (m)	T (m)
Análise 13	0,50	-0,50	20000	4900	100
Análise 15	0,50	-0,50	20000	2500	100
Análise 17	0,50	-0,50	20000	1000	100

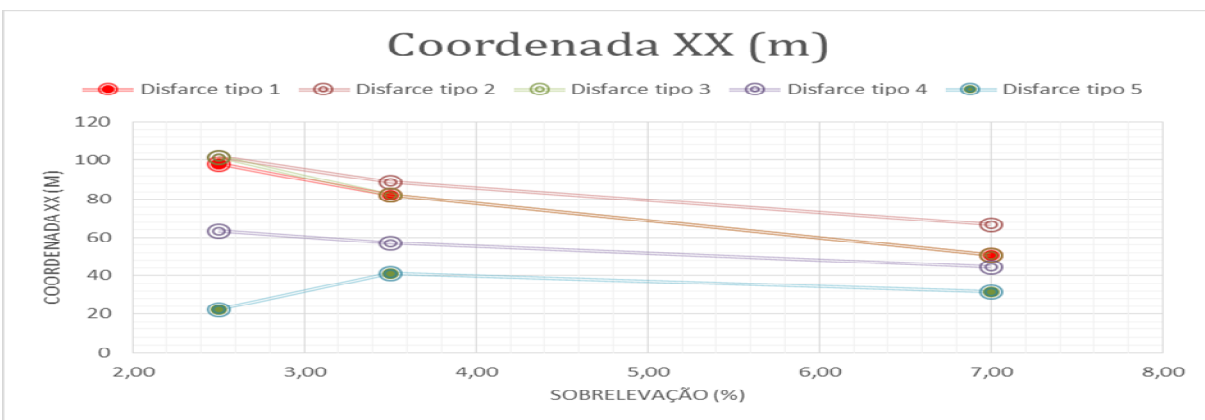
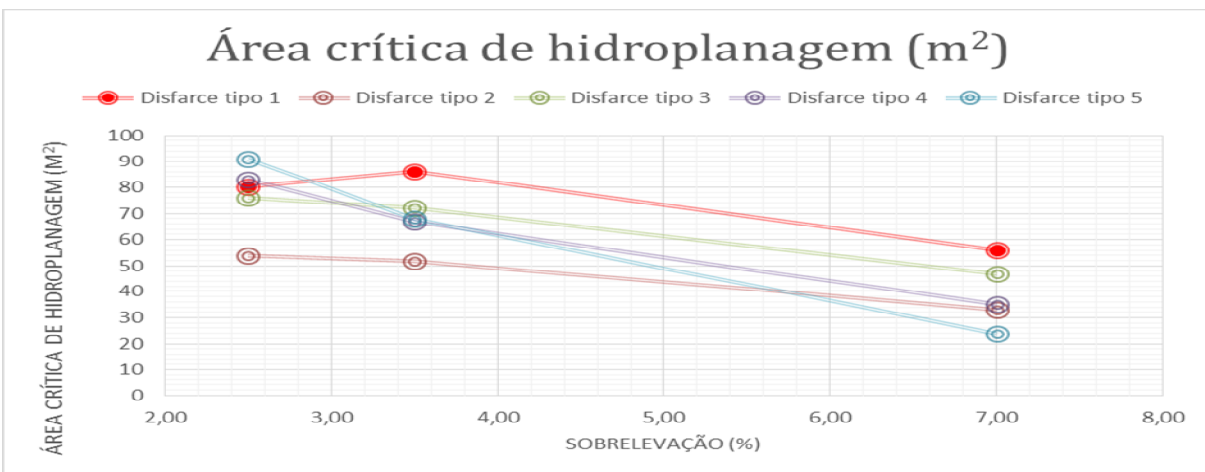
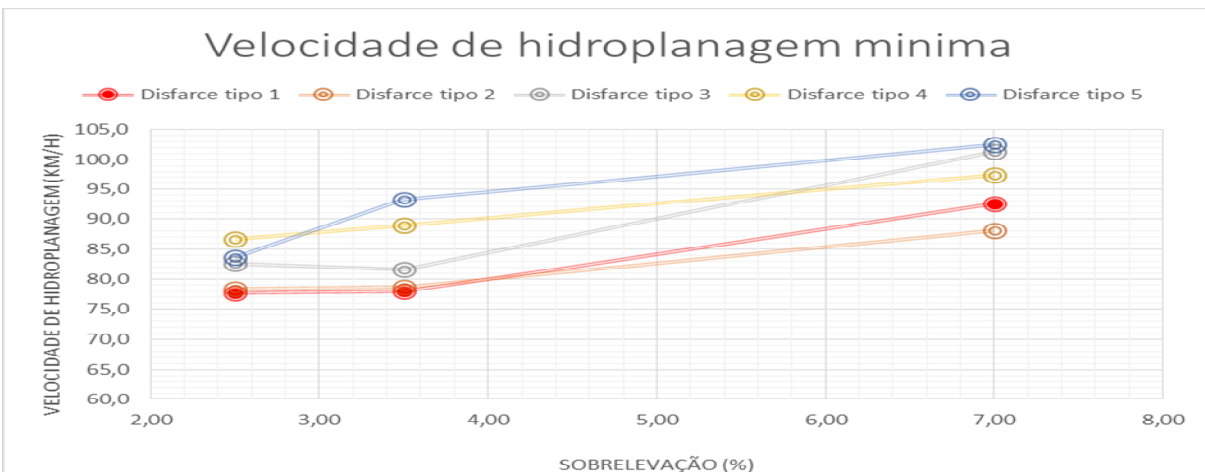
Utilizou-se para a análise 13 um raio de 4900m correspondente a uma sobrelevação de 2,5%, para a análise 15 um raio de 2500m correspondente a uma sobrelevação de 3,5% e por último na análise 17 um raio de 1000m correspondente a sobrelevação de 7%.

Tabela 4.26 – Resultado da análise 13, análise 15 e análise 17

Análise da influência da sobrelevação em concordâncias cônvexas

Legenda:

- Disfarce tipo 1 - Disfarce linear
- Disfarce tipo 2 - Disfarce parabólico do 3º grau tipo I
- Disfarce tipo 3 - Disfarce parabólico do 3º grau tipo II
- Disfarce tipo 4 - Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e bordo exterior
- Disfarce tipo 5 - Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior



Através da análise dos dados obtidos, é possível concluir que o disfarce tipo 5 apresenta uma velocidade de hidroplanagem superior, exceto em zona de sobrelevação próximas de 2,5%, ou seja, curvas de raio entre 3 000m e 5 000m. Para sobrelevação próxima de 2,5% o disfarce preferível será o 4.

Apesar de se tornarem maioritariamente vantajosos os disfarces tipo 4 e 5, no que tem em conta a velocidade superior de hidroplanagem. Além desta característica, outra vantagem tem que ver com o surgimento da zona de hidroplanagem mais adjacente da origem.

É possível concluir assim, que a aplicação deste tipo de soluções depende bastante das características da implantação da via e da sua envolvente requerendo um estudo caso a caso.

Seguidamente simularam-se três análises, a número 13, 20 e 22, onde se variou o raio da concordância longitudinal côncava, fixando o raio da curva circular no valor de 4900m.

Tabela 4.27 - Análise 13, 20 e 22

Descrição	I1 (%)	I2 (%)	Raio da concordância longitudinal (m)	Raio da curva circular (m)	T (m)
Análise 13	0,50	-0,50	20000	4900	100
Análise 20	0,20	-1,00	16667	4900	100
Análise 22	0,50	-0,10	33333	4900	100

A análise destes dados foi abordada de forma semelhante à anterior que, com recurso aos dados obtidos dos três ensaios, efetuou-se a sua compilação de forma gráfica e reuniram-se na Tabela 4.28.

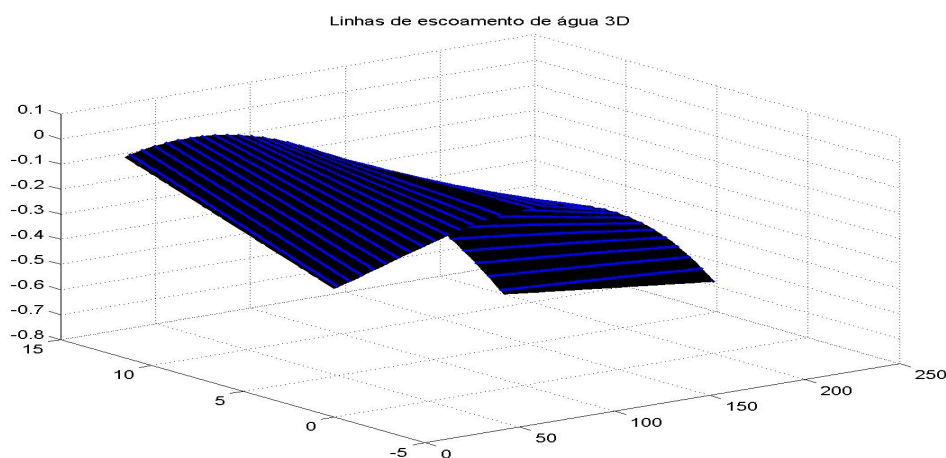


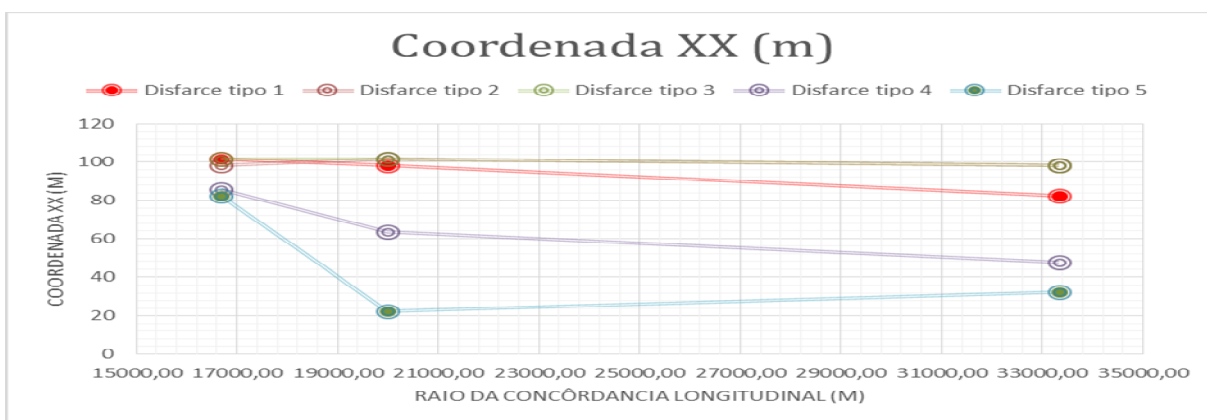
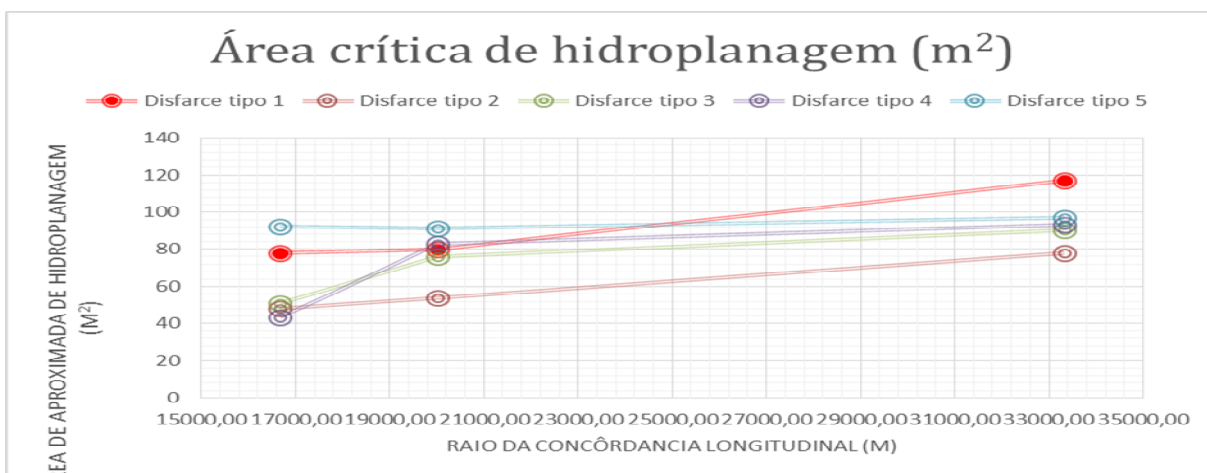
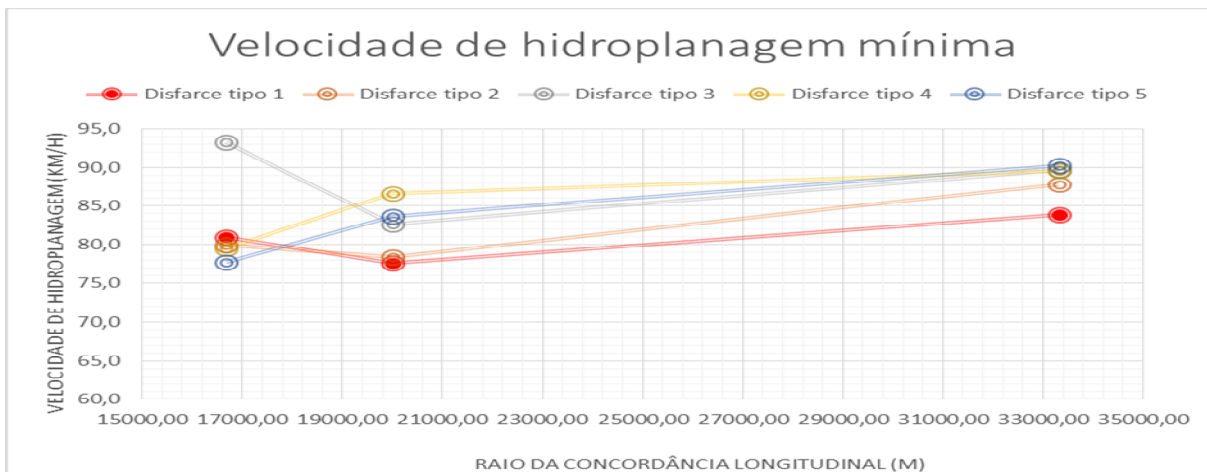
Figura 4.29 – Trajetórias de escoamento em concordância longitudinal convexa, análise 20, disfarce tipo 2

Tabela 4.28 – Resultado da análise 13, análise 20 e análise 22

Análise da influência do raio longitudinal em concordâncias cônvexa

Legenda:

- | | |
|-------------------|--|
| Disfarce tipo 1 - | Disfarce linear |
| Disfarce tipo 2 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I |
| Disfarce tipo 3 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo II |
| Disfarce tipo 4 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e bordo exterior |
| Disfarce tipo 5 - | Disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior |



Concluindo assim esta última análise, é possível afirmar que neste tipo de transições o disfarce preferível será o tipo 4 em raios superiores a 18000m aproximadamente e o disfarce tipo 3 em raios inferiores a esse valor, sendo que a menor área crítica de hidroplanagem surge na situação do disfarce tipo 2, parabólico de 3º grau tipo I.

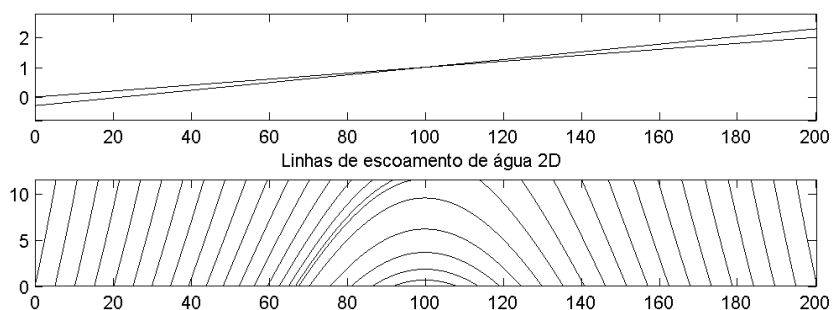
Apesar disso, torna-se evidente que na análise e aplicação de um disfarce em específico, se estude a sua implementação caso a caso, devido às suas singularidades. Contudo ficaram claramente evidentes as vantagens que o disfarce tipo 4 apresenta, onde se promove uma variação do bordo interior com recurso a uma função parabólica do 3º grau tipo I pelo bordo exterior, apresentando melhorias de drenagem em comparação aos disfarces já existentes.

Assim, através do presente trabalho foi possível concluir que as soluções de melhor desempenho, são as que promovem um afastamento rápido da inclinação próxima de 0% através do incremento de inclinação transversal com o intuito de obter linhas de escoamento mais curtas.

Seguidamente na Figura 4.30 serão apresentados três resultados diferentes, que comprovam a existência de uma inclinação transversal mais expressiva e uma zona de disfarce com inclinação aproximadamente nula mais breve o que reduz evidentemente a extensão das linhas de escoamento, reduzindo assim a bacia de hidroplanagem e a espessura da lâmina de água.

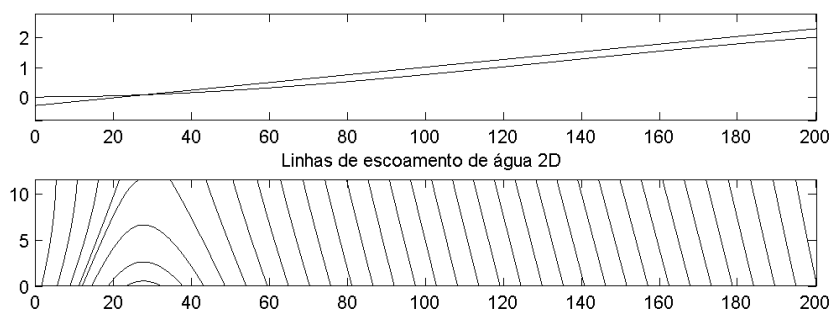
Disfarce tipo 1 – Linear

Análise 3



Disfarce tipo 5 – Linear pelo bordo exterior, parabólico pelo bordo interior

Análise 3



Disfarce tipo 5 – Linear pelo bordo exterior, parabólico pelo bordo interior

Análise 14

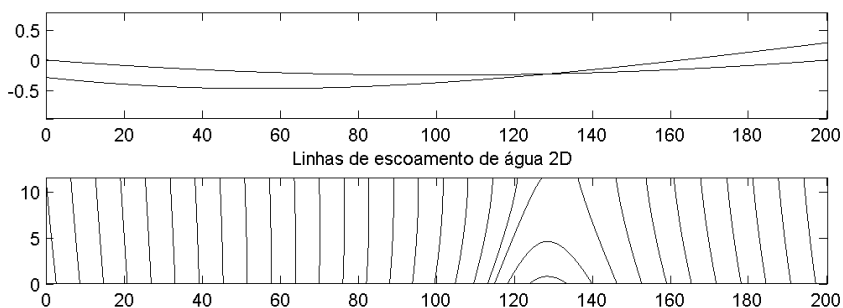


Figura 4.30 - Comparação de linhas de escoamento de diversas análises

5. DISCUSSÃO

5.1. Interpretação dos dados da modelação

O presente trabalho teve por base a análise das soluções de transição de sobrelevação em autoestradas. Com este propósito procurou-se analisar as soluções correntes e acrescentar dois modelos novos.

Para atingir essa finalidade, e visto que este tema está a ser desenvolvido pela primeira vez na Universidade de Aveiro, foi necessário o desenvolvimento de uma ferramenta de análise, que de forma gráfica e intuitiva, devolve dados passíveis de análise e interpretação, o já referido *Superelevation Analyst Script*, que acabou por ser a parte menos visível deste trabalho. No entanto, é de extrema importância salientar que foi a parte mais complexa. Através do exposto, pretende-se expor que desenvolvimento do *script* foi um processo moroso, que acabou por pesar na escolha das análises, abordando a matéria de forma simplista mas em simultâneo demonstrando as potencialidades da ferramenta desenvolvida e o seu campo de aplicação para futuros estudos. Esta explicação é necessária com vista a entender a escolha de análises diversificadas mas bastantes simples.

Ficou comprovado, como já era conhecido empiricamente e observável em estudos anteriores a este, como por exemplo nos trabalhos desenvolvidos por França (1988), Francisco (2009), Soares (2011) e Trepado (2013), que pavimentos mais rugosos apresentam melhor comportamento quando expostos a chuvadas, visto que as suas ásperas lhes permitem a absorção de uma altura considerável da lâmina de água. Este facto encontra-se comprovado no capítulo 4.3.1.

Tabela 5.29 - Análise dos resultados da influência da rugosidade

Chuvada de 30mm/h		
Rugosidade	Velocidade média de hidroplanagem (km/h)	Redução da velocidade em relação a velocidade base (120km/h)
Elevada	91,4 km/h	23,8%
Baixa	68,1 km/h	43,3%

Como é evidenciado na Tabela 5.29, a utilização de um pavimento rugoso, tendo em conta uma chuvada característica de 30mm/h e as mesmas características da vida, apenas necessita de uma redução de cerca de 24% da velocidade base de circulação contra 43% para pavimentos polidos.

Esta análise, além dos dados já apresentados, ainda evidenciou graficamente o comportamento superior do disfarce tipo 5, disfarce parabólico do 3º grau tipo I pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior, em trainel de inclinação longitudinal constante e sobrelevação de 2,5%. Além do referido, o disfarce tipo 5 apresentar evidentes vantagens relativamente aos seus concorrentes a nível de desempenho, o aparecimento da zona de hidroplanagem mais cedo, que possibilita a travessia da zona de hidroplanagem ainda em trajetória praticamente reta, situação menos propícia à ocorrência de despistes. Apesar disso, penso que com uma abordagem mais incisiva seria uma opção para estudar, melhorar e desenvolver em trabalhos futuros.

Para concluir, na análise da problemática da rugosidade do pavimento, é necessário esclarecer e referenciar que apesar de um pavimento mais rugoso apresentar melhor desempenho quando submetido a condições atmosféricas adversas, este cria mais atrito entre a roda e a via potenciando um consumo superior de combustível e um desgaste prematuro do pneu.

Através dos estudos que utilizaram treineis de inclinação contínua, ficou comprovado o facto de soluções mais complexas de implantação, como o disfarce com base em funções parabólicas, promoverem evidentes vantagens. O resultado destas simulações demonstraram, na generalidade dos casos, que o disfarce tipo 5 apresenta grandes vantagens de desempenho, sendo apenas desvantajoso em curvas circulares de raio inferior 2250m e inclinação longitudinais inferior 0,75%. Assim, estes resultados demonstraram que o disfarce parabólico pelo bordo interior e linear pelo bordo exterior é uma solução credível e que deverá ser desenvolvida e estudada para o futuro, procurando inclusive tentar retardar o aparecimento da zona crítica de hidroplanagem em função da coordenada XX.

Além dos dados apresentados, foi possível estabelecer o disfarce parabólico de 3º grau tipo II como a solução existente e correntemente aplicada com melhor desempenho.

Tendo em consideração zonas de transição implantadas em concordâncias longitudinais côncavas ou convexas, concluiu-se que a análise deve ser cuidada e o método utilizado apresenta claras lacunas, visto que descreve o comportamento do fluído apenas pela

trajetória das partículas e distância percorrida sem ter em conta a velocidade de escoamento nem a viscosidade associada.

Este facto foi evidenciado pelas análises das trajetórias das linhas de água em dois casos similares, um convexo e outro côncavo, onde empiricamente a concordância côncava deveria apresentar piores resultados devido ao “empoçamento”. Ainda foi possível concluir que as trajetórias de escoamento seriam praticamente simétricas, como demonstra a Tabela 5.30.

Tabela 5.30 - Comparação de concordâncias longitudinais

Disfarce linear análise 13 - Convexa	Disfarce linear análise 14 - Côncava
<p>Velocidade de hidroplanagem: 77,9km/h</p>	<p>Velocidade de hidroplanagem: 77,6km/h</p>

Era espectável que concordâncias convexas apresentassem um maior espalhamento do fluido, acarretando como consequência a diminuição da espessura da lâmina de água, ocorrendo o oposto em situações côncavas. Este facto poderá ser explicado com recurso a análises que envolvam a viscosidade e velocidade de escoamento.

Com o exposto é possível concluir que os dados obtidos da simulação computacional com o método utilizado deveram ser alvo de análise cuidada, sendo evidente que é um método com claras deficiências, onde não basta apenas considerar a linha de escoamento e a sua extensão.

Ainda assim, foi possível reter a partir da análise de dados obtidos das simulações executadas, que a utilização de disfarces com base em funções parabólicas possuem claras vantagens em relação ao disfarce linear. Em virtude da análise, não foi possível concluir um disfarce que seja claramente vantajoso em todas as situações, sendo que, o disfarce tipo 3, 4 e 5, apresentam vantagens dependendo da envolvente e das características da via. Também foi possível observar que a existência de pendentes que favoreçam a drenagem para a berma, de forma célere e eficaz, apresentam melhorias significativas de desempenho e com este facto a análise do tipo de disfarce a implementar deverá ser analisado caso a caso.

Com recurso ao exposto, é possível concluir e demonstrar a potencialidade da ferramenta desenvolvida, que poderá ser aplicada de forma mais exaustiva em futuras dissertações ao contrário do que aconteceu nesta, em que a programação teve uma duração considerável, do tempo de desenvolvimento do presente trabalho.

Concluindo, com o presente trabalho foi perceptível a obtenção de premissas já em estudos anteriores evidenciadas. Como por exemplo, que o afastamento mais veloz da inclinação próxima de 0% em zona de disfarce promove vantagens na segurança em circulação com pavimento molhado. Assim, foi evidenciado que o disfarce parabólico do 3º grau tipo II é o disfarce existente que melhor potencia esta propriedade. Além destes factos, revelou que existem vantagens em promover variações no bordo interior da via, pois esta promove inclinações transversais desejáveis com o objetivo de evitar zonas extensas de inclinação próxima do valor 0%. Sendo a principal vantagem de uma inclinação transversal da via expressiva o facto desta promover mais rapidamente o escoamento da lâmina acumulada de uma berma a outra, evitando assim parábolas de grande extensão representadas pelas linhas de escoamento.

5.2. Medidas corretivas ou preventivas

Com este tipo de simulações gráficas, é evidenciado junto do projetista de uma infraestrutura rodoviária a zona onde a velocidade de circulação deve ser inferior à velocidade prevista para via. Compete a este evitar que tal aconteça, impedindo assim constrangimentos para os utentes da via e reduzindo a sinistralidade.

A solução a adotar em cada situação deverá ser sempre acompanhada de uma medida mitigadora do risco e caso exista necessidade, existência de uma sinalização de aviso aos utentes da via.

“Mais de 97 mil acidentes rodoviários ocorreram este ano nas estradas portuguesas, representando um aumento de 443 em relação ao mesmo período de 2012, mas o número de mortos desceu 14,2%. (...) Os dados adiantam que os acidentes provocaram 426 vítimas mortais, este ano, menos 14,2% do que em 2012, quando morreram 497 pessoas, no mesmo período.” (JN, 2013)

5.2.1. Sinalização

A sinalização é sem dúvida a forma mais evidente de alertar os automobilistas que circulam numa autoestrada para algum perigo ou risco. Esta têm evoluído ao longo do tempo com o progresso tecnológico, sendo atualmente possível a utilização de painéis comandados a distância que permitem a impressão de mensagens no seu *display*. Esta tecnologia é bastante utilizada pelas concessionárias das autoestradas, por exemplo, para emitir alertas relativos a acidentes, bem como alertar para precauções a tomar. Apresenta-se como exemplo a Figura 5.31 e Figura 5.32.



Figura 5.31 - Painel eletrônico “COM CHUVA MODERE VELOCIDADE” (INIR, n.d.)



Figura 5.32 - Painel eletrônico "TRABALHOS SEJA PRUDENTE" (Certif, n.d.)

Assim, com o uso de ferramentas similares ao *Superelevation Analyst Scrit* desenvolvido no presente trabalho, é possível prever a velocidade de circulação máxima, tendo em conta as características da via e as condições atmosféricas.

Fazendo uso da tecnologia atual, é possível uma previsão atmosférica exata com alguma antecedência, podendo simular por exemplo determinada chuvada. Assim é possível prever o que irá suceder em determinadas zonas sensíveis da via.

Efetuando o cruzamento destas três tecnologias, é hipoteticamente possível existir um painel eletrônico antes de uma curva potencialmente perigosa (Figura 5.33), onde praticamente em tempo real seria possível, com base em previsões por exemplo de quatro horas de antecedência (tempo determinado com base na duração de uma análise bastante completa do S.A.S.), estar a prever a sinalização a colocar no painel com a finalidade de alertar os utentes que devem reduzir a velocidade para determinado valor devido ao abaixamento da aderência ao betuminoso, aprofundando desta forma o entrosamento entre tecnologia e aperfeiçoando o esquema proposto por Soares (2011).



Figura 5.33 - Exemplo de sinalização temporária

5.2.2. Medidas mitigadoras do risco

No seu estudo Soares, (2011), propôs a execução de ranhuras no pavimento segundo as linhas de escoamento na zona crítica onde a velocidade de hidroplanagem obtivesse valor menor que a velocidade base de projeto, sendo esta uma solução amplamente viável para drenagem de pequenas lâminas de água. A disposição destas ranhuras é proposta seguindo, por exemplo, o esquema da Figura 5.34.

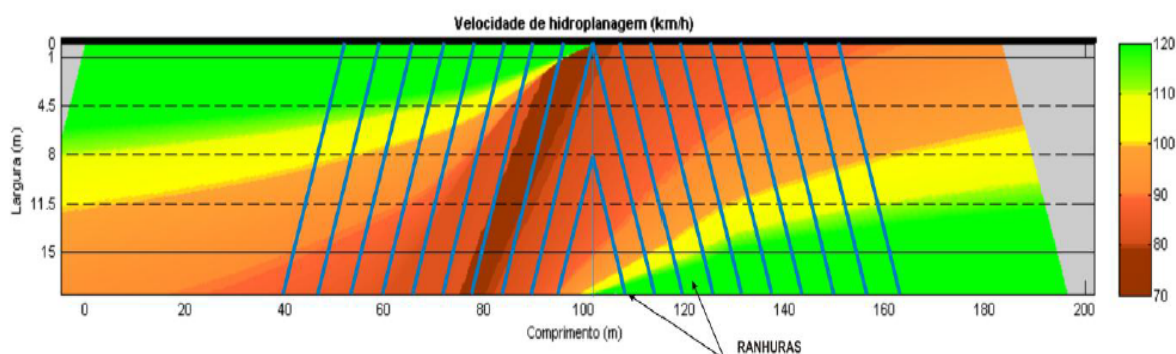


Figura 5.34 - Aplicação de ranhuras no pavimento em zona de disfarce (Soares, 2011)

Já anteriormente Anderson, Huebner, Reed, Warner & Henry (1998), tinham proposto a utilização de uns drenos, em formato de canaleta, capazes de drenar $516\text{cm}^3/\text{s}/\text{m}$ e a sua aplicação poderia ser em perfil longitudinal ou transversal.

A conjugação do proposto pelos autores no seu estudo de 1998, com os dados *output* de um programa como o desenvolvido, seria sem dúvida bastante enriquecedora pois seria possível prever e localizar, o local ideal para a colocação do dreno evitando acumulação excessiva de uma lâmina de água potenciadora de perda de aderência e por consequência sinistros.

O'Flaherty, (1967) já se tinha preocupado com as questões de drenagem, especificando o uso dos *Frech Drains* já referidos no presente documento como sendo a combinação de um pavimento drenante com a utilização de drenos enterrados.

Através de tantas propostas, surgiu a ideia de na presente dissertação desenvolver uma solução que combina-se as propostas analisadas com as soluções de canaletes e drenos atualmente no mercado e desenvolver hipoteticamente uma solução viável, cujo seu principal objetivo será o abaixamento da lâmina de água tendo em atenção a sua localização, questões de drenagem, conforto e segurança mas não desenvolvendo o seu dimensionamento.

O primeiro critério a adotar prendeu-se com a localização, para tal, bastou ter em conta os gráficos obtidos do *Superelevation Analyst Script*, com os quais é possível de forma rápida e intuitiva detetar a zona mais perigosa e que necessita de intervenção. Será utilizado já em seguida o gráfico obtido da análise 6, a situação mais gravosa a nível de precipitação, e o gráfico da análise 1, onde ocorre uma situação de alagamento a partir de determinada cota da faixa de rodagem.

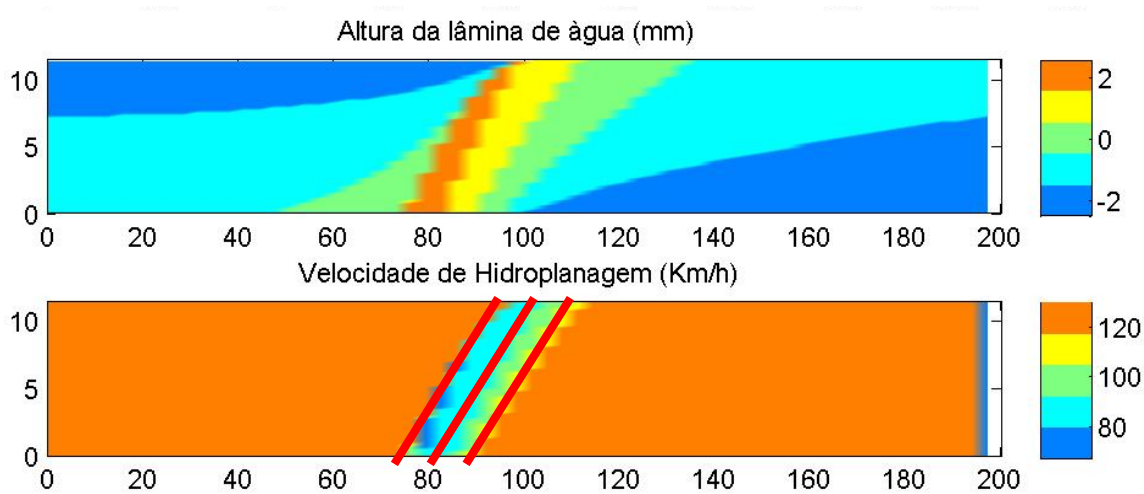


Figura 5.35 - Solução de dreno transversal a via

Como o esquema da Figura 5.35 demonstra, uma solução transversal seria o ideal para solucionar este tipo de problema, atuando apenas na zona que levante problemas de drenagem.

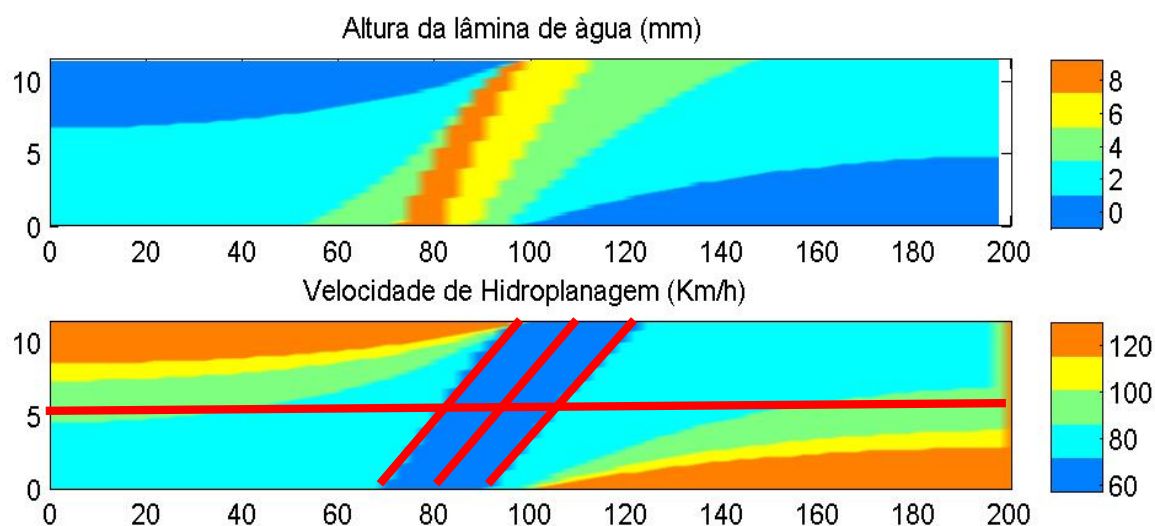


Figura 5.36 - Solução de dreno longitudinal com ligações transversais

Neste caso, Figura 5.36, a atuação além de transversal teria de ser longitudinal, sendo preferível a colocação da drenagem na zona central do pavimento acompanhando a linha de divisória de faixa de rodagem, sendo que, caso se justifique, poderia também ser implementado na linha da berma com cota superior. Será necessário efetuar drenagens transversais permitindo que a água escoe ao longo da via no subsolo até ao canal lateral ou valeta.

Em seguida, procurou-se uma solução que a nível estrutural evidenciasse garantias de durabilidade, sendo a principal escolha o uso de uma solução em canaleta que evita-se a circulação livre de água nas zonas de fundação do pavimento, evitando assim também a desvantagem dos pavimentos drenantes. Para obter a solução final, bastou retirar noções de canaletes existentes no mercado, procurando a sua adaptação para a aplicação em pavimentos de autoestrada sem pôr em causa a circulação dos utentes do ponto de vista da segurança e comodidade.

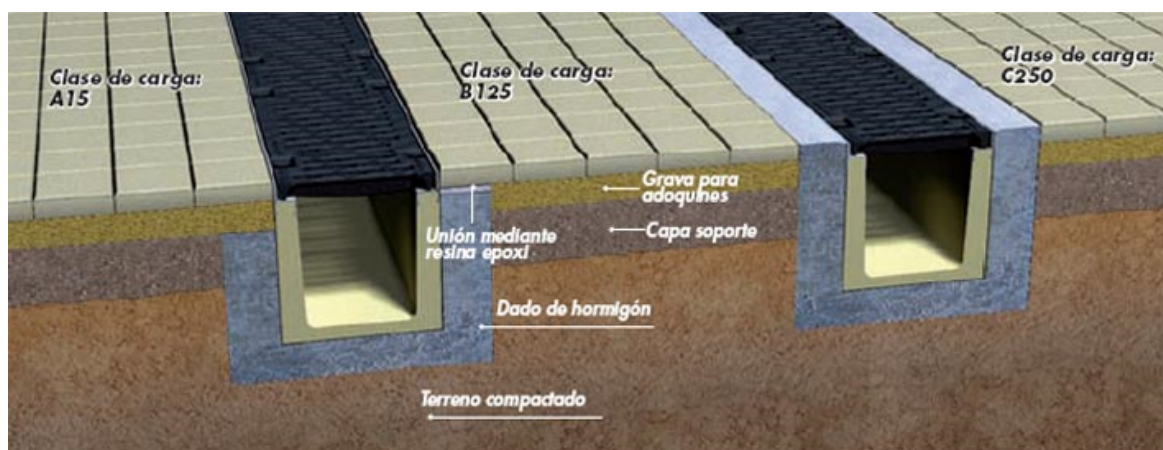


Figura 5.37 - Soluções comerciais com grelha (ULMA, n.d.-a)

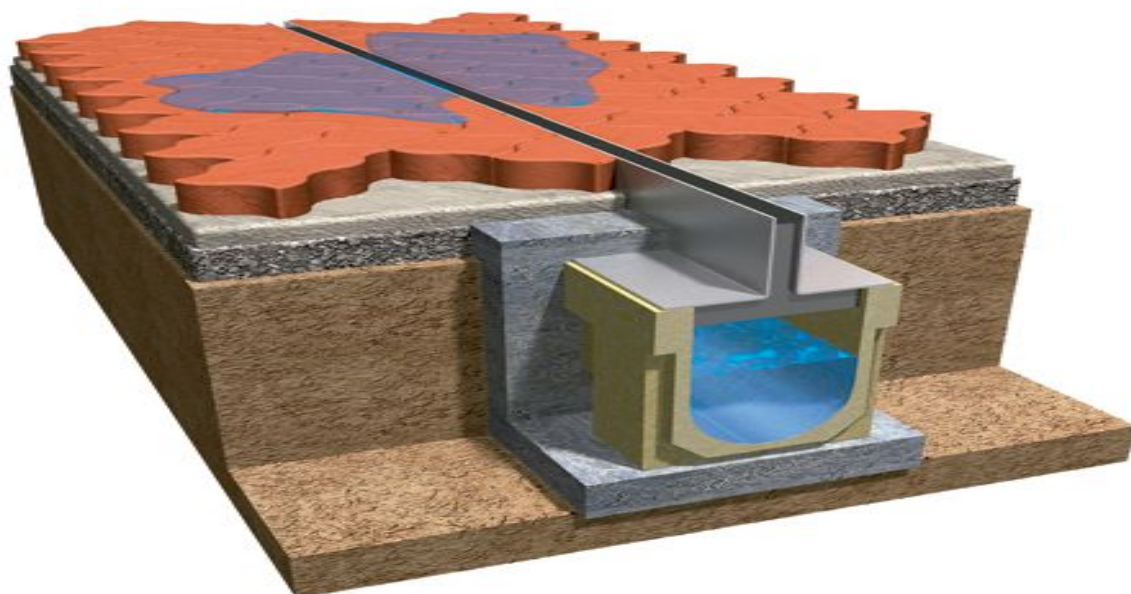


Figura 5.38 - Soluções comerciais sem grelha (ULMA, n.d.-b)

A solução proposta baseia-se na adaptação da solução da Figura 5.38 que conjuga uma drenagem praticamente sem influência no pavimento superior com aparentes bons resultados para o pretendido.

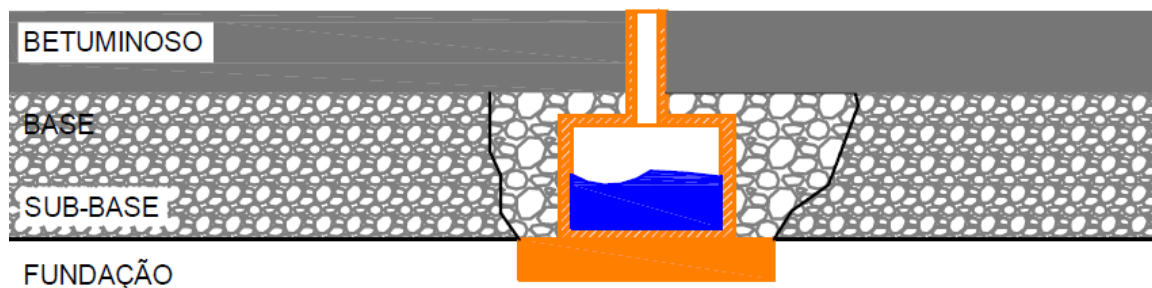


Figura 5.39 - Corte tipo do dreno proposto

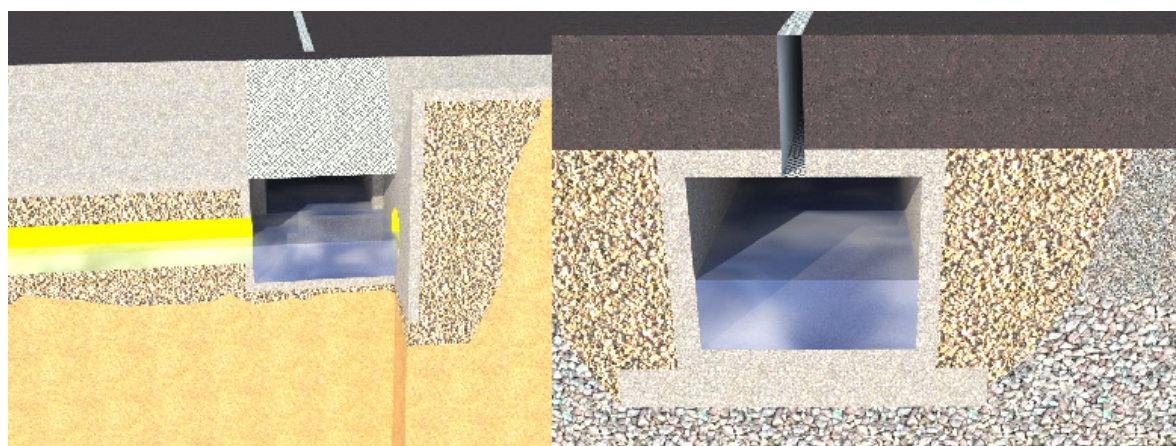


Figura 5.40 - Projeção tridimensional do tipo de dreno proposto

Como demonstra a Figura 5.39 e Figura 5.40 o dreno deve se implementado abaixo do pavimento evitando a circulação de água nas camadas inferiores do pavimento.

O canaleta deverá drenar para a zona da berma, como já foi suprarreferido e nesta zona deverá ser criada, caso se justifique e como é representada na Figura 5.40, uma caixa que encaminhará a água para a tubagem de dreno, que deverá ser compostos por material drenante envolvido em geotêxtil e um tubo de dreno similar ao da Figura 5.41, perfurado.

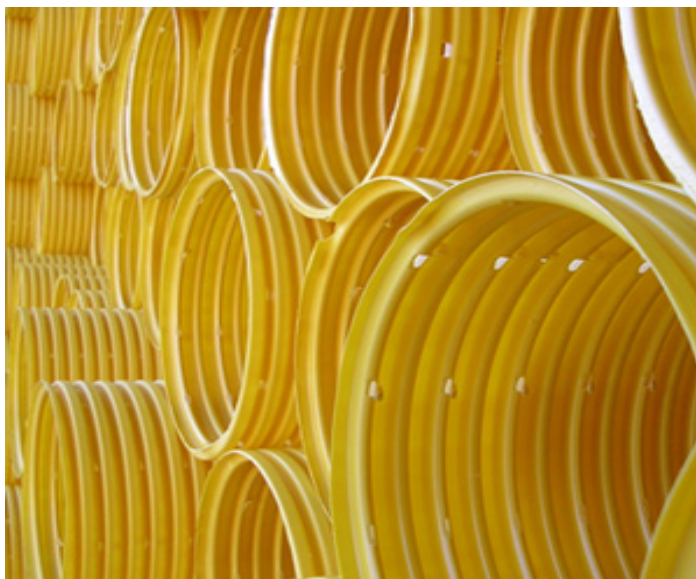


Figura 5.41 - Tubo de dreno perfurado (Canário Group, n.d.)

Caso as dimensões do canaleta possibilitem a integração na drenagem da valeta, estes poderão ficar interligados com a finalidade que o escoamento da água se processe em conjunto com a lâmina de água que chega à berma, sendo esta uma solução economicamente mais favorável e atraente mas que se encontra dependente do dimensionamento do canaleta e da valeta.

A solução apresentada, contando com as suas variantes, é técnica e esteticamente interessante, sendo de equacionar em dissertações futuras o desenvolvimento desta proposta.

5.2.2.1. Soluções comerciais existentes no mercado

Durante a pesquisa para o desenvolvimento deste estudo, verificou-se a existência no mercado de soluções já existentes e mitigadoras do risco, como exemplo, o uso do sistema *FUNNEL*® da *MUFLE*®, que apresenta uma conduta de grande vazão especialmente desenvolvida para autoestradas e aeroportos.

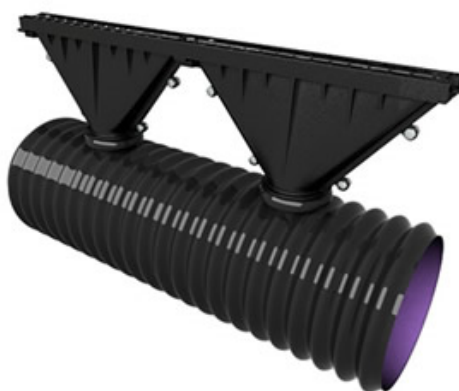


Figura 5.42 – Sistema de elevada vazão *FUNNEL*®, (MUFLE, 2010)

“Este sistema se compõe por uma série de módulos cônicos em ferro fundido esferoidal providos de uma grelha superior – também em ferro fundido esferoidal – e acoplados a um coletor inferior, mais especificamente a um tubo estriado Ecopal® das Industrias Polieco M.P.B. srl. As duas descargas de Ø110 por metro linear acopladas a um coletor de diâmetro variável de Ø250 a Ø1200 garantem um desempenho hidráulico muito alto” (MUFLE, 2010).

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O estudo de soluções de transição da sobrelevação no projeto de autoestradas, é sem dúvida importante para prevenir acidentes rodoviários, relacionados na sua maioria com ocorrência de hidroplanagem. Evidentemente as zonas de transição da sobrelevação são pontos singulares de trajeto em projeto geométrico de uma via, visto que se promove uma variação da inclinação transversal da via, invertendo o seu sinal e potenciando uma zona de acumulação de água e formação de uma zona crítica de hidroplanagem, que deverá ser estudada e melhorada ainda em fase de projeto, devendo promover-se um afastamento célere da inclinação próxima de 0%.

Ficou evidente, que as duas soluções de transição adicionais implantadas no presente trabalho transição linear pelo bordo exterior e parabólico 3º grau tipo I no bordo interior e transição pelo bordo exterior e interior em disfarce parabólico promovem vantagens. Evidenciou-se nas diversas análises o disfarce linear pelo bordo exterior e o bordo interior segundo uma função parabólica de 3º grau tipo I, como promovendo vantagens na maioria dos casos, podendo a sua investigação a nível de aplicabilidade, comodidade e segurança ser desenvolvida em estudos futuros.

Além deste novo dado, foi possível comprovar os factos em trabalhos anteriores, como por exemplo, a vantagem do disfarce parabólico de 3º grau tipo I pelo bordo exterior, devido ao afastamento célere da zona de inclinação nula, que na essência, é a maior vantagem do disfarce 4 e 5, visto que, criar uma ligeira ondulação no bordo interior através do disfarce parabólico de 3º grau, promove sempre uma maior pendente transversal que origina linhas de escoamento em funções parabólicas mais apertadas do que as funções lineares, como por exemplo a Figura 6.43.

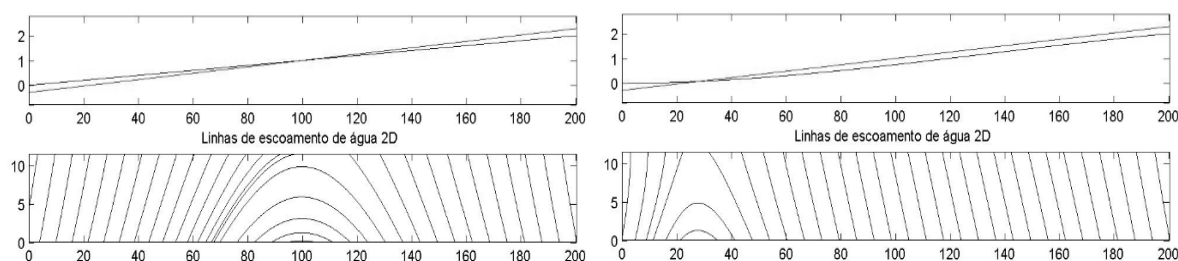


Figura 6.43 - Linhas de escoamento do disfarce tipo 1 vs disfarce tipo 5

Concluindo, este foi o primeiro trabalho desenvolvido neste âmbito na Universidade de Aveiro, recaindo a competência de elaboração de uma ferramenta de análise sobre o mesmo, obtendo como resultado o desenvolvimento do *Superelevation Analyst Script*. Esta ferramenta será sem dúvida importante para o crescimento da temática, promovendo assim as bases para dissertações futuras.

Como trabalho futuro será interessante aprofundar o estudo do disfarce 4 e 5, percebendo a sua aplicabilidade, visto que poderão ser soluções bastante viáveis para retificar pontos singulares de traçado, ou mesmo situações correntes. Apesar do referido a sua aplicabilidade em situações reais depende também de um estudo que incida sobre os critérios de segurança, comodidade e conforto, percebendo por este meio se a introdução destas soluções poderiam perturbar a circulação corrente ou tornarem-se causas patentes de sinistralidade. Não obstante, poderá futuramente desenvolver-se uma análise sobre um caso prático comprovando experiencialmente os resultados teóricos.

Para finalizar, penso que seria interessante continuar o desenvolvimento do *script* tentando colmatar as suas lacunas teóricas e descortinadas no presente trabalho podendo mesmo ser evoluído e reconvertido a outra linguagem de programação mais corrente. Além disto, será ainda interessante experimentalmente conceber e estudar o sistema de drenagem proposto, analisando as questões hidráulicas e as perturbações causadas na via, como por exemplo, a diminuição do atrito na zona da ranhura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, D. A., Huebner, R. S., Reed, J. R., Warner, J. C., & Henry, J. J. (1998). *Improved Surface Drainage of Pavements: Final Report*. (NCHRP, Ed.) (The Pennsy., p. 227). Pennsylvania. Retirado de http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=6357&page=R1
- Branco, F., Ferreira, P., & Picado Santos, L. (2011). *Pavimentos Rodoviários*. (Almedina S.A., Ed.) (4ª ed., p. 388). Coimbra.
- Branco, F., Santos, L., & Capitão, S. (1996). Vias de comunicação - Volume 1. In DEC da F.C.T. da Universidade de Coimbra (Ed.), (1ª edição., pp. 103–142). Coimbra.
- Brandão, C., Rodrigues, R., & Pinto, J. (2001). Análise de fenómenos extremos de precipitação em Portugal Continental. Lisboa: Direção dos Serviços de Recursos Hídricos. Retirado de http://www.isa.utl.pt/der/Hidrologia/relatorio_prec_intensa.pdf
- Canário Group. (n.d.). Drenoplás. Retrieved August 02, 2014, from <http://www.lisbonhome.com/canariogroup/>
- Carvalho, S. (2012). *ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS INTERVENIENTES NO FENÓMENO DE HIDROPLANAGEM EM ZONAS DE INVERSÃO DE SOBREELEVAÇÃO*. Universidade do Porto. Retirado de <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69315/1/000155262.pdf>
- Certif. (n.d.). Painel Eletrónico. Retrieved July 24, 2014, from http://www.certif.pt/img/paineis_g.jpg
- DelDot. (2004). Alignment and Superlevation. In *Road Desing Manual* (p. 20). Dover: DelDOT - Delaware Department of Transportation. Retirado de http://www.deldot.gov/information/pubs_forms/manuals/road_design/pdf/05_allignment_superelev.pdf
- Despacho DGV n.º17/96 de 22 de Maio*. (1996). Lisboa. Retirado de http://www.apdec.pt/Docs/1996/Despacho_17_96.pdf

- Filho, G. (1998). Trajetória de um veículo numa curva. *Estradas de Rodagem: Projeto geométrico*. Retirado de <http://www.topografiageral.com/Curso/imagens/Figura 13.4.jpg>
- França, A. (1988). *A comodidade e a segurança como critérios condicionantes da geometria do traçado*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Retirado de <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12798/2/Texto integral.pdf>
- França, A. (2011). *Apontamentos de Complementos de Estradas e Aeródromos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Francisco, V. (2009). *A DRENAGEM SUPERFICIAL E O SEU IMPACTO FUNCIONAL E ESTRUTURAL NA VIDA DOS PAVIMENTOS*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- INIR. (n.d.). Painel Eletrónico. Retrieved July 24, 2014, from http://www.inir.pt/portal/Portals/0/painel_chuva.jpg
- INIR. (2008). *Autoestradas características Técnicas*. (INIR, Ed.) (p. 13). Lisboa. Retirado de <http://www.inir.pt/portal/LinkClick.aspx?fileticket=LO4+kkCgOhQ=&tabid=116&mid=487>
- INIR. (2010). *Norma Traçado, Revisão*. (INIR, Ed.) (p. 114). Lisboa.
- JN. (2013). Mais de 97 mil acidentes rodoviários este ano. *Jornal de Notícias*. Retirado de http://www.jn.pt/PaginaInicial/Sociedade/Interior.aspx?content_id=3537598
- Menezes, M. (2008). *Estudo Das Características de Superfície de Pavimentos Rodoviários para Análise da Segurança do Tráfego*. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Retirado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=https%3A%2F%2Ffenix.tecnico.ulisboa.pt%2FdownloadFile%2F395137882241%2FDisserta%25C3%25A7%25C3%25A3o.pdf&ei=gP9hVI8Wg6s2-_iAuA8&usg=AFQjCNEZ6zbANQl181iLGkLrVd8xKk50rg&sig2=Sk4djusk4aYR_grqCNyjXg&bvm=bv.79189006,d.eXY

- MUFLE. (2010). Drenagem de elevada vazão FUNNEL. Retrieved August 06, 2014, from <http://www.mufler.com/mufler/pt-pt/drenaggio-ad-alta-portata-funnel/>
- Nogueira, D. (2012). *ESTUDO DO RISCO DE HIDROPLANAGEM EM CONCORDÂNCIAS*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Retirado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio-aberto.up.pt%2Fbitstream%2F10216%2F68176%2F1%2F000154817.pdf&ei=0P9hVJKgEYSWNp-VgIAN&usq=AFQjCNGluszEifNw_Znl2tf3J2p4O211BQ&sig2=sxY4Ohr5Ccmeru2afHnIfA&bvm=bv.79189006,d.eXY
- O'Flaherty, C. (1967). *Highways - The location, design, construction & maintenance of pavements*. (Butterworth-Heinemann, Ed.) (4th 2002 ed., p. 576). Retirado de <http://pt.scribd.com/doc/52966367/Highways-Location-Design-Construction-amp-Maintenance#toggle>
- Pereira, P. (2013). Parte I - Traçado em Planta. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST). Retirado de https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/188887/1/1_planta_parte_2.pdf
- SANRAL. (2013). Chapter 4 - Road Design Elements. In *Geometric Design Guides* (Vol. 135, p. 62). South African National Roads Agency. doi:10.1093/toxsci/kft059
- Silva, R. (2010). *Curvas em planta e sobrelevações: critérios normativos*. IPL - Instituto politécnico de Lisboa. IPL - Instituto Politécnico de Lisboa. Retirado de <http://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/620/2/Dissertação.pdf>
- Soares, A. (2011). *ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE HIDROPLANAGEM NUM CASO REAL*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Retirado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Frun.unl.pt%2Fbitstream%2F10362%2F5830%2F1%2FSoares_2011.pdf&ei=qwJiVP3ZKcOZgwS8tIOoDg&usq=AFQjCNG7q6dgCwHTwfHI_si2Sx3ISRKBZQ&sig2=lf_KrHyESOltecsIpS5pLg&bvm=bv.79189006,d.eXY

Trepado, A. (2013). *Modelação do escoamento em pavimentos rodoviários*. Universidade Nova de Lisboa. Retirado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCYQFjAB&url=http%3A%2F%2Frun.unl.pt%2Fbitstream%2F10362%2F10264%2F1%2FTrepado_2013.pdf&ei=owNiVLSWO4qbgwT3w4LYDw&usg=AFQjCNHsHC6hDqsG5lImBqbeGBG3oZlSaA&sig2=SkcNuJud5gohoLHTetkh8g&bvm=bv.79189006,d.eXY

ULMA. (n.d.-a). *adoquinado_pt.jpg* (708×271). Retrieved July 25, 2014, from http://www.ulmaarchitectural.com/img/empresa/instalacion_drenaje/adoquinado_pt.jpg

ULMA. (n.d.-b). *tipos_rejillas.jpg* (450×397). Retrieved July 25, 2014, from http://www.ulmaarchitectural.com/img/tipos_rejillas.jpg

ANEXOS

Anexo A1 – Manual de Utilizador *Superelevation analyst script*

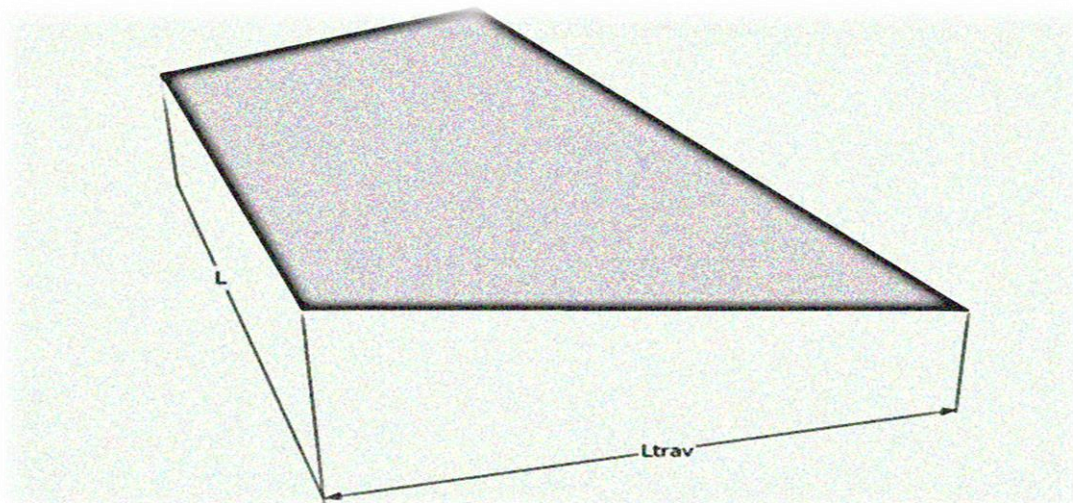
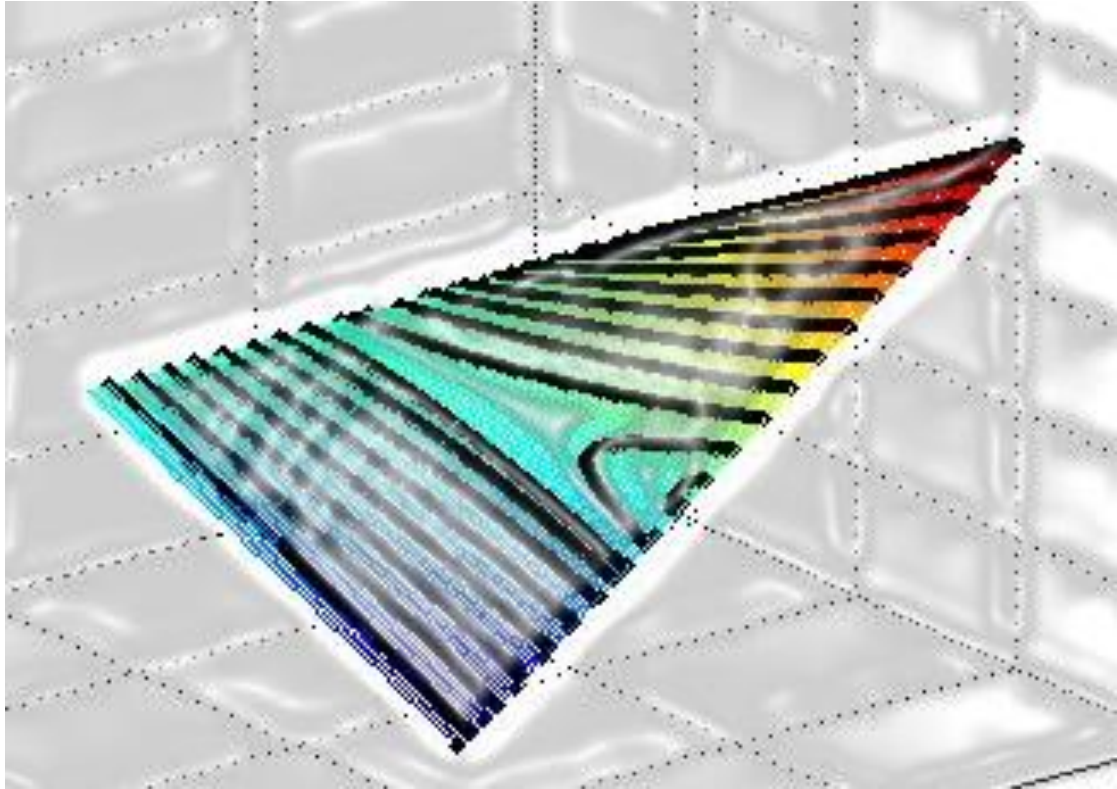
Anexo A2 – Introdução de dados

Anexo A3 – Formulas implementadas

Anexo A4 – Resultados obtidos

ANEXO A1 – MANUAL DE UTILIZADOR

SUPERELEVATION ANALYST SCRIPT



Apresentação

O *Superelevation Analyst* foi concebido para analisar a drenagem de água em zonas de disfarce de sobrelevação de autoestradas, em que a inclinação longitudinal da via apresente inclinação constante crescente ou decrescente. Para a utilização do mesmo é necessário o *software* Matlab por parte do usuário.

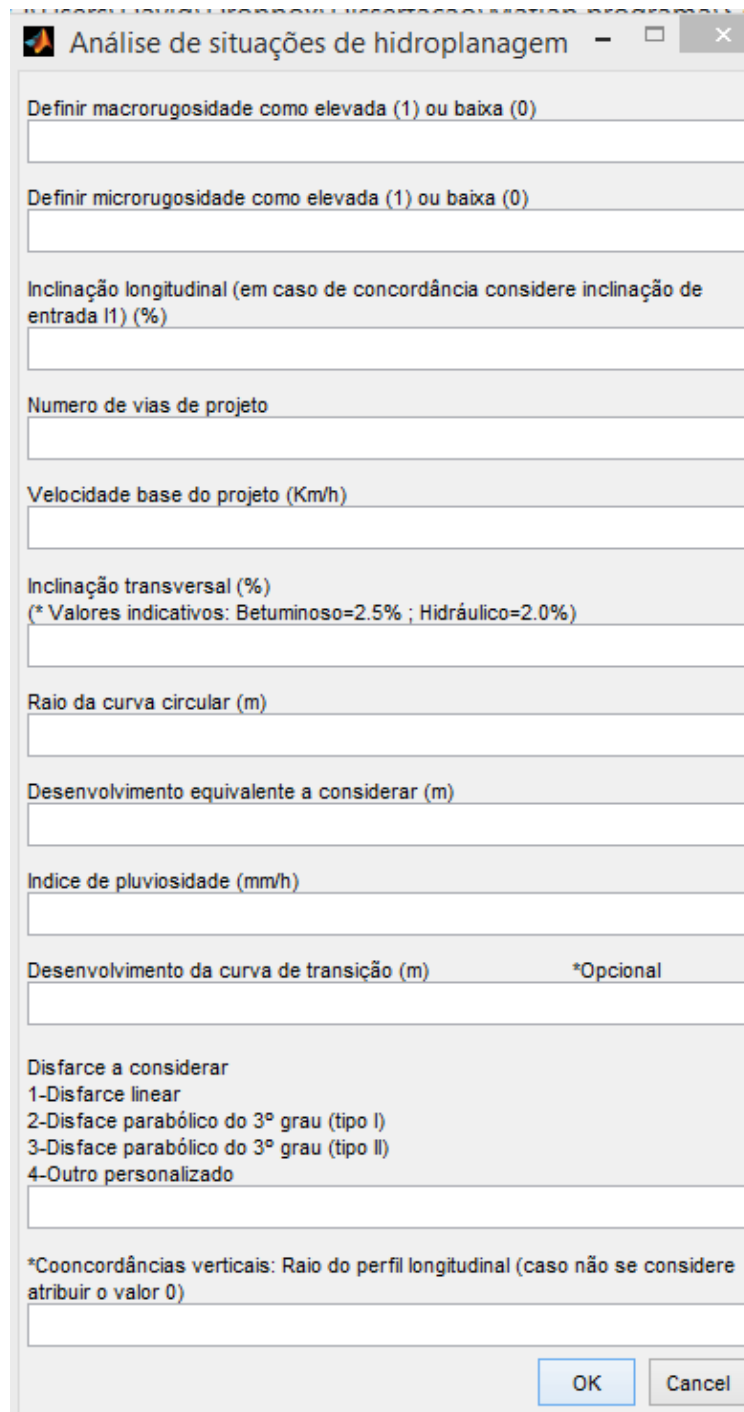
A introdução de dados é simples, sequencial e intuitiva. O utilizador pode modificar qualquer tipo de dados sempre que o deseje visto a sua programação em *OPENSOURCE* com a utilização da ferramenta *Matlab*.

Terminada a introdução de dados é efetuado o cálculo numérico e posteriormente a apresentação do modelo gráfico em 2D e 3D.

A memória de cálculo e valores apresenta-se de acordo com as atuais Normas Portuguesas em vigor da autoria do INIR.

INTRODUÇÃO DE DADOS

A introdução de dados é simples e de forma intuitiva, após o pedido do utilizador para o programa iniciar será apresentada uma caixa de diálogo a requerer os dados necessários de forma a ser efetuado o cálculo em zona de clotóide de entrada.



Análise de situações de hidroplanagem

Definir macrorugosidade como elevada (1) ou baixa (0)

Definir microrugosidade como elevada (1) ou baixa (0)

Inclinação longitudinal (em caso de concordância considere inclinação de entrada I1) (%)

Numero de vias de projeto

Velocidade base do projeto (Km/h)

Inclinação transversal (%)
(* Valores indicativos: Betuminoso=2.5% ; Hidráulico=2.0%)

Raio da curva circular (m)

Desenvolvimento equivalente a considerar (m)

Índice de pluviosidade (mm/h)

Desenvolvimento da curva de transição (m) *Opcional

Disfarce a considerar
1-Disfarce linear
2-Disface parabólico do 3º grau (tipo I)
3-Disface parabólico do 3º grau (tipo II)
4-Outro personalizado

*Coocordâncias verticais: Raio do perfil longitudinal (caso não se considere atribuir o valor 0)

OK Cancel

Definir macrorugosidade como elevada (1) ou baixa (0)

Definir microrugosidade como elevada (1) ou baixa (0)

Existe a necessidade de definir as propriedades do pavimento, sendo estas caracterizadas pelos parâmetros da macrorugosidade e microrugosidade.

Estes influenciam diretamente a espessura da lâmina de água acima das ásperas do pavimento. De forma simples o modelo usado precisa de conhecer se estes parâmetros são elevados ou baixos.

Em termos práticos, o utilizador deverá entender a macrorugosidade como sendo a rugosidade diretamente ligada às irregularidades da camada superficial do pavimento, podendo caracteriza-las por exemplo pelo ensaio Mancha de Areia, sendo que a microrugosidade prende-se com as questões da granulometria interna do próprio pavimento:

Microrugosidade elevada – Pavimento betuminoso rugoso

Microrugosidade baixa – Pavimento betuminoso polido

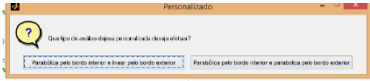
Valores de ásperas do pavimento tendo em conta a rugosidade:

Micro \ Macro	Elevada	Baixa
Elevada	5,00 mm	4,50 mm
Baixa	2,40 mm	0,20 mm

Valores de altura da areia (Aa) do pavimento tendo em conta a rugosidade:

Micro \ Macro	Elevada	Baixa
Elevada	2,50 mm	0,96 mm
Baixa	1,20 mm	0,10 mm

<p>Inclinação longitudinal (em caso de concordância considere inclinação de entrada I1) (%)</p> <input type="text"/>	<p>Inserção de valor da inclinação longitudinal em percentagem, considerando que toma valor positivo em subida e valor negativo em caso de descida. No caso de se considerar uma concordância longitudinal considerar o valor de inclinação como sendo i_1, preenchendo o valor do raio da concordância.</p>
<p>*Concordâncias verticais: Raio do perfil longitudinal (caso não se considere atribuir o valor 0)</p> <input type="text"/>	<p>Para a largura transversal da via é necessário fornecer ao <i>software</i> o conhecimento antecipado do número de vias de projeto e a velocidade base.</p> <p>É importante esclarecer que o <i>software</i> considera que todas as vias iniciam inclinadas para o extradorso, excluindo assim, a análise de soluções que apresentem dentro da mesma faixa de rodagem inclinação transversais distintas.</p> <p>Através deste dados é possível estabelecer a largura transversal da via, considerando o perfil de autoestrada com a existência de duas bermas de largura total 4m (3m+1m) e largura de via com 3.5m para velocidades base inferiores a 100Km/h e 3.75m para velocidades base superiores a 100Km/h.</p>
<p>Inclinação transversal (%) (Betuminoso=-2.5% ; Hidráulico=-2.0%)</p> <input type="text"/>	<p>A requisição do valor de inclinação transversal prende-se com a necessidade de conhecer o valor de inclinação de pendente do intradorso para o extradorso em zona de alinhamento reto. Consideram-se valores representativos de 2.5% para pavimentos de base betuminosa e 2.0% para pavimentos de base hidráulica.</p>

<p>Raio da curva circular (m)</p> <input type="text"/>	<p>O programa possui em memória os valores da sobrelevação variando de 2.5% até uma pendente de 7.0% diretamente ligados ao raio a introduzir. E podendo o valor do raio variar de 0 até 5000m.</p>
<p>Desenvolvimento equivalente a considerar (m)</p> <input type="text"/>	<p>Para análise da zona de sobrelevação é necessário conhecer a distância de disfarce, para tal é necessária a introdução de uma distância equivalente, considerando que a análise é feita em plano reto e não recriando o plano curvo. Assim esta dimensão poderá abranger alinhamento reto, curva de transição e curva circular.</p>
<p>Índice de pluviosidade (mm/h)</p> <input type="text"/>	<p>A obtenção da altura da lâmina de água necessita da introdução do valor de pluviosidade representativo expresso em mm/h.</p>
<p>Desenvolvimento da curva de transição (m)</p> <input type="text"/>	<p>A introdução deste valor é apenas facultativa sendo que ele serve para calcular o grau de incomodidade e exportar uma caixa de aviso onde alerta se o valor de j for superior a $0.5m/s^3$.</p> <p>Este valor de cálculo não é de introdução obrigatória, sendo que caso não seja introduzido também não serão analisadas questões de comodidade.</p>
<p>Disfarce a considerar 1-Disfarce linear 2-Disfarce parabólico do 3º grau (tipo I) 3-Disfarce parabólico do 3º grau (tipo II) 4-Outro personalizado</p> <input type="text"/> 	<p>Seleção do tipo de disfarce a considerar, devendo preencher com valor entre 1 a 4.</p>

VALORES REPRESENTATIVOS DE SOBRELEVAÇÃO EM FUNÇÃO DO RAI0

Como já foi referido o desenvolvimento do programa recaiu sobre a utilização de normativas portuguesas como é o caso Norma Traçado, Revisão de 2010. Assim adotou-se a relação presente nesse documento que interliga os raios das curvas circulares com a adoção do valor da sobrelevação necessária. Assim na tabela seguinte será apresentado o valor da sobrelevação em função do raio na mesma base aplicada no *software*.

Tabela A1.1 - Sobrelevação em curva, Norma Traçado (INIR, 2010)

Estradas com dupla faixa de rodagem (Autoestradas)			
Raio (m)	Sobrelevação (%)	Raio (m)	Sobrelevação (%)
<1100	7.0	2250	4.0
1100	6.5	2600	3.5
1300	6.0	3000	3.0
1500	5.5	3500<R<5000	2.5
1750	5.0	≥5000	ERRO
2000	4.5		

DESENVOLVIMENTO EQUIVALENTE A CONSIDERAR

Como já foi mencionado na metodologia de introdução de dados, surgiu a necessidade de criar um campo designado por *desenvolvimento equivalente a considerar*, que consiste em transpor a distância necessária ao disfarce na via de projeto em plano curvo para um plano teórico reto como se pretende ilustrar na figura seguinte.

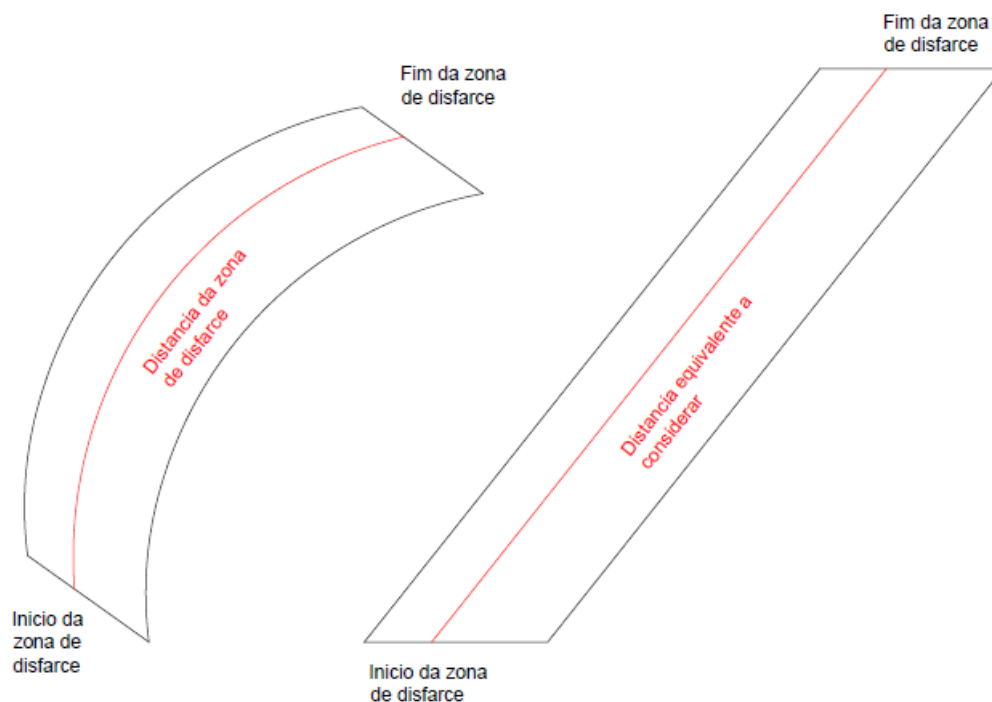


Figura A1.1 - Imagem representativa do valor teórico da distância equivalente a considerar

Deste modo, o princípio consiste em igualar a distância da zona de disfarce a uma distância equivalente a considerar. Foi necessário a elaboração deste princípio de forma a simplificar o modelo e torna-lo menos complexo de leitura e melhorar a rapidez de análise junto da máquina onde irá ser executado.

ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS:

O tipo de modelo em análise é a modelação de uma zona de disfarce da sobrelevação. O início é em alinhamento reto com a inclinação para o extradorso e termina com a pendente definida pelo valor da sobrelevação em curva circular inclinada para o intradorso, sendo apenas analisado a clotóide de entrada, podendo ser tomada a clotóide de saída como simétrica.

O modelo exporta 4 janelas de gráficos, figura 1, 2, 3 e 4, sendo que na figura 1 é apresentado um plano que ilustra o modelo da estrada em 3D servindo de base à figura 2 que elabora sobre este plano as trajetórias das linhas de água, a figura 3 o plano da altura da lâmina de água e a figura 4 as velocidades de hidroplanagem.

Além da vertente gráfica o programa ainda grava um ficheiro txt que guarda quatro valores separados por vírgulas e ordenados pela seguinte ordem: velocidade de hidroplanagem mínima, localização do parâmetro anterior segundo a coordenada XX, idem segundo a coordenada YY e área total de hidroplanagem (ou seja, área da zona com velocidade inferior a velocidade base).

É permitido por defeito, em qualquer modelo 3D a interatividade com o mesmo (*zoom, pan e rotate*).

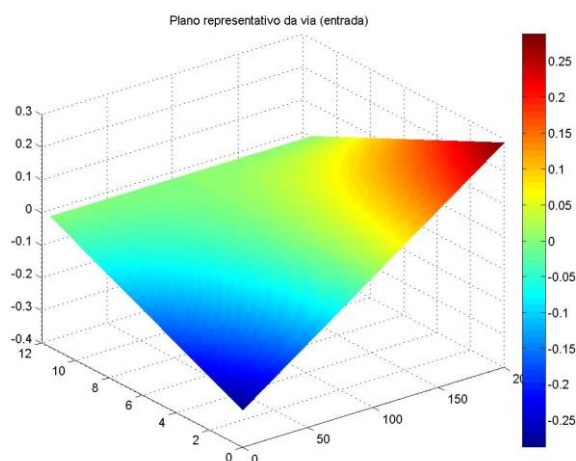


Figura A1.2 - Exemplo da figura 1

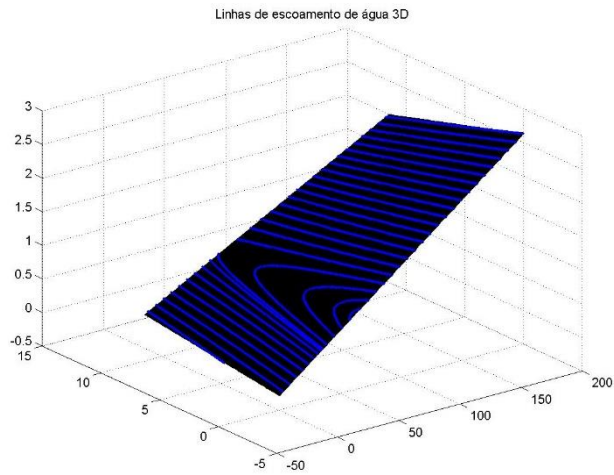


Figura A1.3 - Exemplo da figura 2

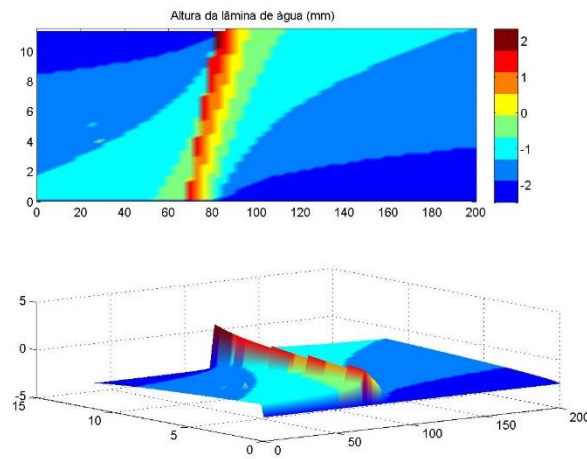


Figura A1.4 - Exemplo da figura 3

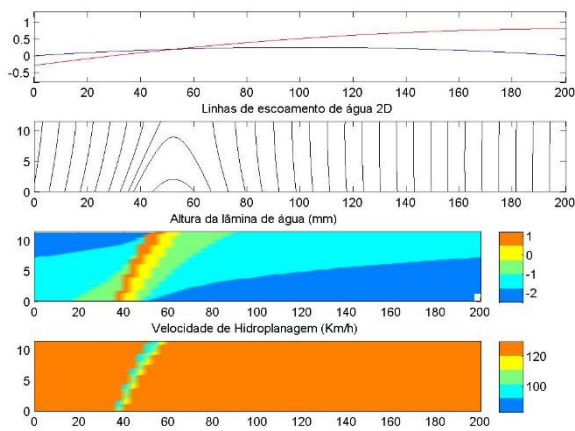
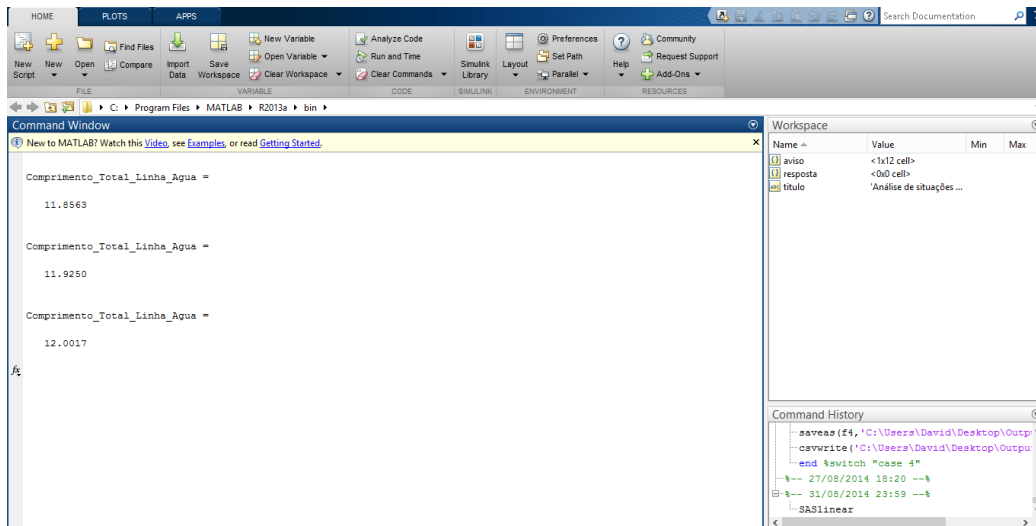


Figura A1.5 - Exemplo da figura 4

ANÁLISE DE OUTROS RESULTADOS PASSIVEIS DE CONSULTA

Devido a uma análise mais cuidada e um conhecimento por parte do operador dos resultados como forma de melhorar o seu controlo, achou-se por bem a criação de uma forma de consulta dos valores do comprimento total da linha de água. Para tal na *command window* serão impressos os valores da seguinte forma:



```
Comprimento_Total_Linha_Agua =  
11.8563  
  
Comprimento_Total_Linha_Agua =  
11.9250  
  
Comprimento_Total_Linha_Agua =  
12.0017  
/s
```

Name	Value	Min	Max
aviso	<1x12 cell>		
resposta	<0x0 cell>		
titulo	'Análise de situações ...'		

```
--saveas (E4, 'C:\Users\David\Desktop\Outp  
--saveas ('C:\Users\David\Desktop\Outpu  
end %switch "case 4"  
-- 27/08/2014 18:20 --  
-- 31/08/2014 23:59 --  
SABlinear
```

Figura A1.6 - Controlo de dados na *Command Window*

A adoção desta solução foi desenvolvida de forma a promover um melhor controlo sobre os valores. Importante será referir que a apresentação dos valores coincide com a representação da respetiva linha de água, sendo possível ao utilizador consultar em tempo real esse valor.

SAVEAS DAS FIGURAS AUTOMÁTICO

Foi instalado um modo de salvaguarda dos *outputs* automáticos no programa sendo que compete ao utilizador correr o código e alterar a localização que pretende.

Para efetuar esta operação será necessário programar a localização conforme indica o código em exemplo:

```
saveas (f1, 'C:\Users\David\Desktop\Output\Case1_1.jpg')
saveas (f2, 'C:\Users\David\Desktop\Output\Case1_2.jpg')
saveas (f3, 'C:\Users\David\Desktop\Output\Case1_3.jpg')
saveas (f4, 'C:\Users\David\Desktop\Output\Case1_4.jpg')
csvwrite('C:\Users\David\Desktop\Output\Case1.txt', final)
```

Sendo que f1, f2, f3 e f4 representam a figura 1 até 4 e csvwrite grava o bloco de notas com dado numéricos, onde o último dado a seguir a vírgula é o nome do ficheiro, no caso designa-se por “final”.

MENSAGENS DE ALERTA

A programação inclui a adição de um cálculo, opcional, para o grau de incomodidade que deverá tomar valores inferiores a 0.5m/s^3 assim, existe uma parte do código destinada a este cálculo. Será apresentada uma janela de alerta se o grau de incómodo for superior ao valor tomado como referência, cabendo ao utilizador a consideração deste fator.

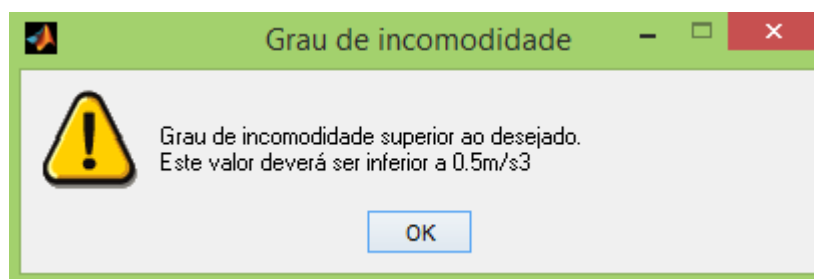


Figura A1.7 - Janela de alerta de grau de incomodidade elevado

Criou-se a opção de consulta do valor exato do grau de incomodidade que o utilizador poderá sempre consultar na janela *Command Window*.

JANELAS DE ERRO

Na utilização do programa, podem aparecer duas janelas de erro ligadas com a sua programação, sendo a primeira apresentada em função da inclinação longitudinal da via que se limitou ao valor máximo em módulo de 3% considerado como o máximo em autoestradas.

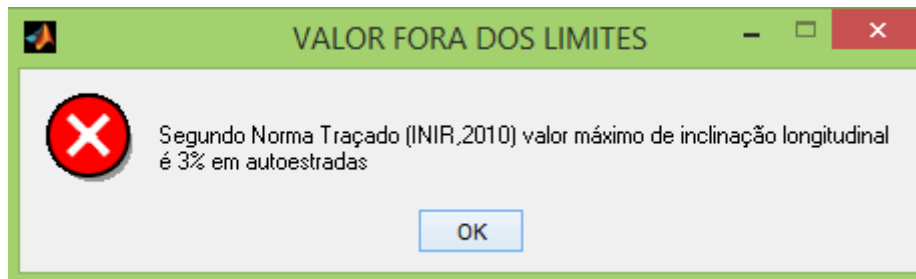


Figura A1.9 - Janela de erro inclinação longitudinal

O segundo erro que poderá surgir na execução do programa prende-se com a utilização de valores de raio superior a 5000m.

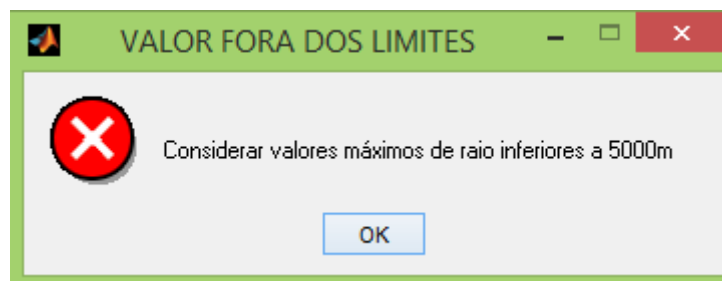
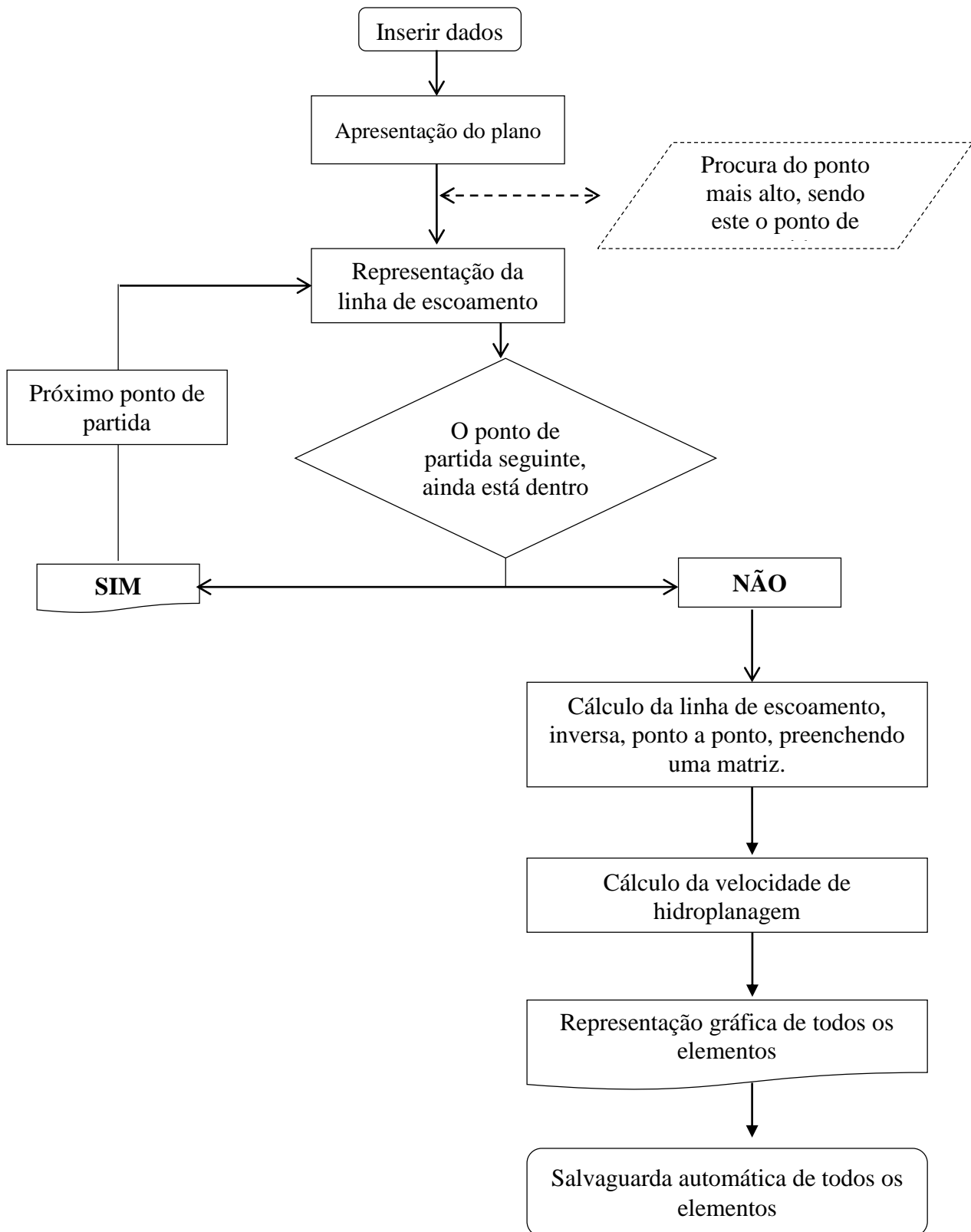


Figura A1.10 - Janela de erro raio

MEMÓRIA DE CALCULO

O programa baseia-se em duas fases de cálculo, uma primária onde se representa a linha de escoamento diretamente sobre o plano que representa o troço a analisar. Esta trajetória parte do ponto mais elevado para o ponto de fuga (segue consecutivamente da cota superior para a maior cota inferior, acompanhando o declive máximo).

Na segunda fase o programa estuda ponto a ponto o comprimento de linha de escoamento que lhe está associado, bem como obtém o valor da inclinação associada. Com estes dados, adicionando as questões da rugosidade bem como o índice de pluviosidade inserido, o programa exporta a análise da altura da lâmina de água e por consequência calcula o gráfico da velocidade de hidroplanagem.



FORMULAS INCREMENTADAS

DEFINIÇÃO DO PLANO

Qualquer um dos cinco planos usou a mesma forma de cálculo. De forma simplista conhecem-se os quatro vértices do plano e é possível definir uma reta que caracterize o bordo interior e outra que caracterize o bordo exterior assim, cria-se uma reta por função linear que ligue o bordo exterior ao bordo interior repetindo-a consecutivamente ao longo da extensão equivalente a considerar.

A largura do plano é especificada como sendo a largura transversal que se obtém da multiplicação da medida de uma via pelo número de vias adicionando a dimensão da berma esquerda e direita.

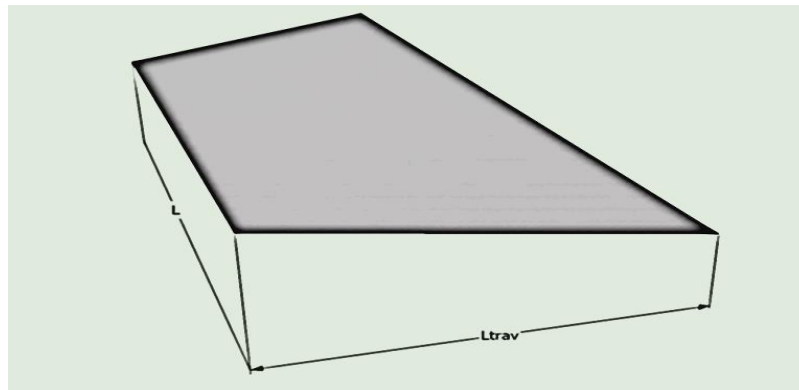


Figura A1.11 - Definição do plano

ALTURA DA LÂMINA DE ÁGUA

Para obtenção da altura da lâmina de água adotou-se a fórmula desenvolvida pelo Professor Adalberto França na sua tese de 1988.

$$h = \left(\frac{L_w \cdot \left(\frac{ip \times 10^{-3}}{3600} \right)^{0.6}}{\beta \cdot iw^{0.5}} \right) - \varepsilon \quad (1)$$

h – altura de água em relação à superfície do pavimento (m)
 L_w – largura da faixa, ou seja comprimento da linha de água (m)
 ip – intensidade de precipitação (mm/h)
 iw – inclinação das linhas de água (m/m)
 β; ε – depende da macrorugosidade e da microrugosidade

Tabela A1.2 - Coeficientes para o cálculo da altura da lâmina de água (França, 1988)

Macrorugosidade	Microrugosidade	β	ε
Elevada	Elevada	$60 \times 0.5^{2/3}$	0,0025
Elevada	Baixa	$80 \times \left(\frac{2}{\pi}\right)^{2/3}$	0,00096
Baixa	Elevada	$60 \times \sin(50^\circ)^{2/3}$	0,0024/2
Baixa	Baixa	8	0,002/2

Tabela A1.3 – Interligação entre o tipo de pavimento e os índices de rugosidade (França, 1988)

Tipo de revestimento superficial do pavimento:	Macrorugosidade	Microrugosidade
Betuminoso rugoso	Elevada	Elevada
Betuminoso polido	Elevada	Baixa
Betão betuminoso rugoso	Baixa	Elevada
Betão betuminoso polido	Baixa	Baixa

VELOCIDADE DE HIDROPLANAGEM

Para alturas de lâmina de água superiores a 2,413mm implementou-se a seguinte metodologia, seguindo a fórmula de Gallaway:

$$Vh = 4,580 \times (1,181 \cdot \varepsilon_1 + 1)^{0,06} \times A \quad (2)$$

ε_1 – Altura das rugosidades do pavimento

Vh – Velocidade de hidroplanagem

Em que A é calculado pela seguinte expressão:

$$A = \text{máx} \left[\frac{12,639}{h^{0,06}} + 3,507; \left(\frac{22,351}{h^{0,06}} - 4,970 \right) \times Aa^{0,14} \right] \quad (3)$$

h – altura de água em relação à superfície do pavimento

Aa – macrorugosidade medida pelo ensaio da mancha de areia

Quando os valores de h são inferiores a 2,413mm é aplicada a fórmula de Agrawall.

$$Vh = 96,899 \times h^{-0,259} \quad (4)$$

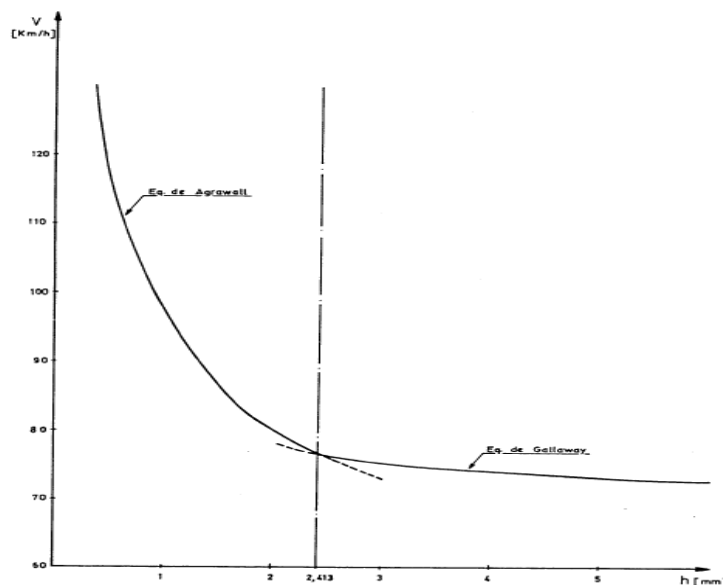
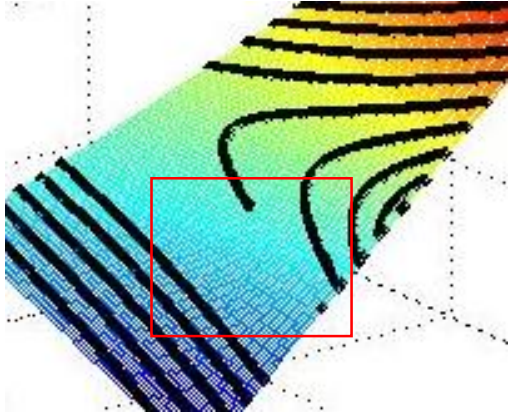
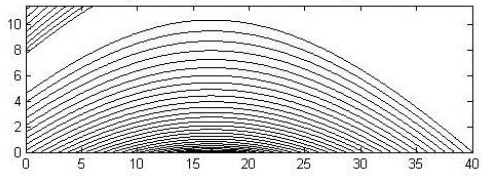


Figura 3.12 - Representação gráfica das expressões de Agrawall e Gallaway (França, 1988)

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Tabela A1.4 - Resolução de problemas

Problema	Resolução
<p>O traçado das linhas acaba dentro do plano e não é concluído.</p> 	<p>Esta situação prende-se com um número de pontos inferior ao necessário para completar a linha, esta situação será facilmente resolvida se consultar a linha de código com a seguinte expressão:</p> $N_{\text{pontos}} = \text{ceil}(n * N_{\text{sqr}} * \text{Res});$ <p>Aumentando N_{sqr} por exemplo:</p>
<p>O incremento entre as linhas é demasiado elevado pretendendo assim mais linhas na análise.</p>	<p>Consultando o código, o único procedimento a realizar é a alteração de N_i que é o valor do incremento.</p>
<p>O traçado em curva apresenta baixa resolução.</p>	<p>Para corrigir esta situação basta alterar o valor da variável “Res” sendo este dado a resolução da linha de água. Por exemplo, $\text{Res}=4$ implica a existência de 4 pontos por elemento de grelha.</p>
<p>O pavimento apresenta uma zona de sombra sem representação de linhas de água.</p> 	<p>Esta situação assume-se como sendo uma limitação do programa que, quando existe um trainel curto com inclinação longitudinal elevada, uma parte significativa do escoamento realiza-se ao longo do perfil longitudinal, sendo impossível prever a sua acumulação para jusante criando assim uma zona de sombra.</p>
<p>Enganei-me na inserção dos dados e corri o programa, queria cancelar a análise.</p>	<p>Basta na <i>command window</i> do <i>Matlab</i> primir a qualquer altura ctrl+c para parar.</p>

ANEXO A2 – INTRODUÇÃO DE DADOS

```

%Dados relativos ao pavimento: -----
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

if Macro == 1 && Micro == 1
    B = 60*0.5^(2/3);
    E = 0.0025;
    epon = 5;
elseif Macro == 1 && Micro == 0
    B = 80*(2/pi)^(2/3);
    E = 0.00096;
    epon = 4.5;
elseif Macro == 0 && Micro == 1
    B = 50.2328;
    E = 0.0012;
    epon = 2.4;
elseif Macro == 0 && Micro == 0
    B = 8;
    E = 0.001;
    epon=0.2;

end

%Dados relativos a via: -----
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

VB=str2num(char(resposta(5))); %#ok<ST2NM>
if VB >= 100
    a=3.75;
    besq=1;
    bdir=3;
elseif VB < 100
    a=3.5;
    besq=1;
    bdir=3;

end

idlg=(str2num(char(resposta(6))))/100; %#ok<ST2NM>
i=-idlg;
ii=abs(i);
n=str2num(char(resposta(4))); %#ok<ST2NM>
Ltrav=a*n+besq+bdir;
ilongperc=str2num(char(resposta(3))); %#ok<ST2NM>
if abs(ilongperc)<=6
    ilong=ilongperc/100;
elseif abs(ilongperc)>6
    errordlg('Segundo Norma Traçado (INIR,2010) valor máximo de
inclinação longitudinal é 3% em autoestradas','VALOR FORA
DOS LIMITES')

```

```

end

R=str2num(char(resposta(7))); %#ok<ST2NM>
Lc=str2num(char(resposta(8))); %#ok<ST2NM>
if R < 1100
    Se=0.07;
elseif R == 1100
    Se=0.065;
elseif R <= 1300
    Se=0.06;
elseif R <= 1500
    Se=0.055;
elseif R <= 1750
    Se=0.05;
elseif R <= 2000
    Se=0.045;
elseif R <= 2250
    Se=0.04;
elseif R <= 2600
    Se=0.035;
elseif R <= 3000
    Se=0.03;
elseif R <= 5000
    Se=0.025;
elseif R > 5000
    error('Considerar valores máximos de
raio inferiores a 5000m','VALOR FORA
DOS LIMITES')
end

%Dados relativos a pluviosidade a considerar -----
%%%%%%%%%%%%
%%%

ip=str2num(char(resposta(9))); %#ok<ST2NM>
ip=(ip*(10^-3))/3600;

%Seleção do disfarce -----
%%%%%%%%%%%%
%%%

tipo=str2num(char(resposta(11))); %#ok<ST2NM>

%Grau de incomododidade -----
%%%%%%%%%%%%
%%%

Ltransicao=str2num(char(resposta(10))); %#ok<ST2NM>
if Ltransicao>0
j=(0.0214*(VB^3))/(R*Ltransicao);
fprintf('Grau de incomodidade (j) (m/s3)');
if j <= 0.5
    disp(j)
elseif R > 0.5
    disp(j)

```

```
    warndlg('Grau de incomodidade superior ao desejado. Este valor deverá  
ser inferior a 0.5m/s3', 'Grau de incomodidade')  
end  
end
```

ANEXO A3 – FORMULAS IMPLEMENTADAS

%Calculo da altura da lâmina de água:

```
for iponto=1:1:k1
    for jponto=1:1:k2
        hf((((LWmax.*ip)./(B.*(IWmax.^0.5))))).^0.6)-(E))*1000;
    end
end
```

%Ajuste de espessura de lâmina inicial:

```
for iponto=1
    for jponto=1:1:k2
        hf(iponto,jponto)=-E*1000;
    end
end
```

%Calculo do parametro A:

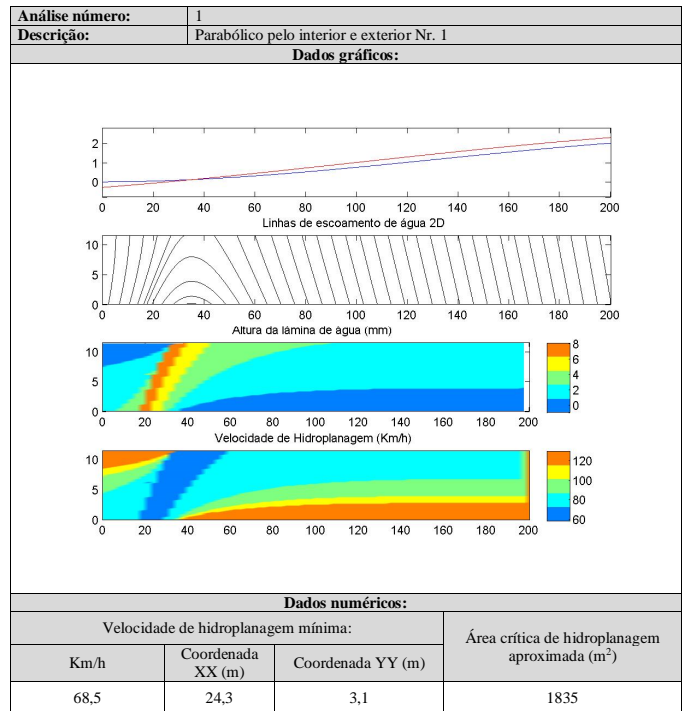
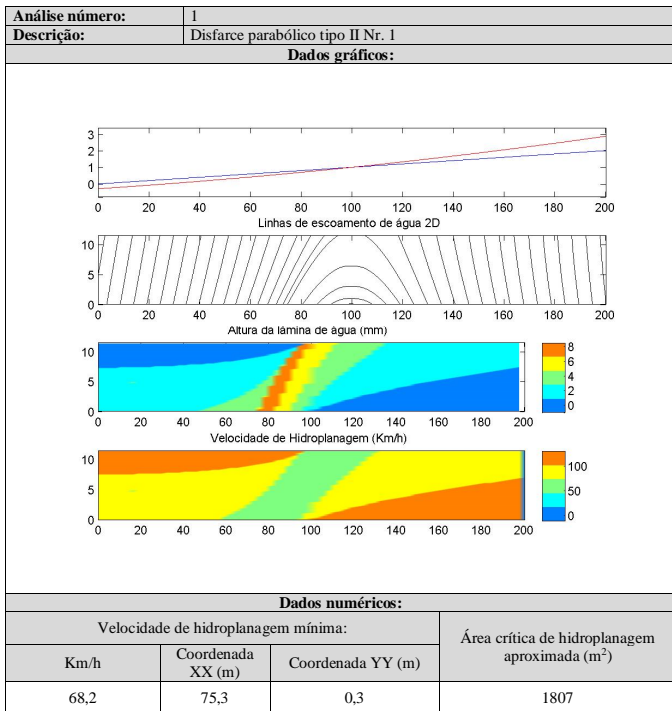
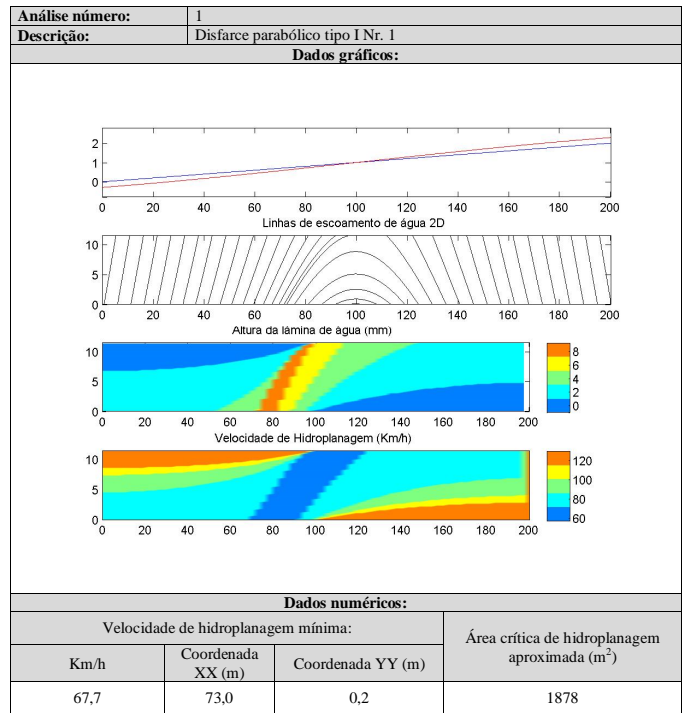
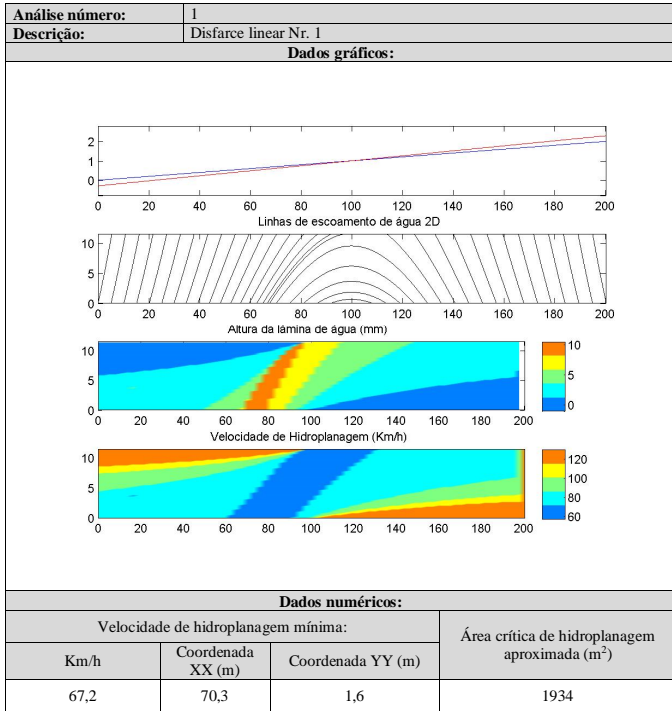
```
A=zeros(k1,k2);
A1=zeros(k1,k2);
A2=zeros(k1,k2);
for iponto=1:1:k1
    for jponto=1:1:k2
        if hf(iponto,jponto)<=0
            A(iponto,jponto)=0;
        elseif hf(iponto,jponto)>0
            A1(iponto,jponto)=((12.639/(hf(iponto,jponto)^0.06))+3.507);
            A2(iponto,jponto)=(((22.351/(hf(iponto,jponto)^0.06))-
4.970)*((E*1000)^0.14));
            for ipt=1:1:k1
                for jpt=1:1:k2
                    A(ipt,jpt)=max(A1(ipt,jpt),A2(ipt,jpt));
                end
            end
        end
    end
end
```

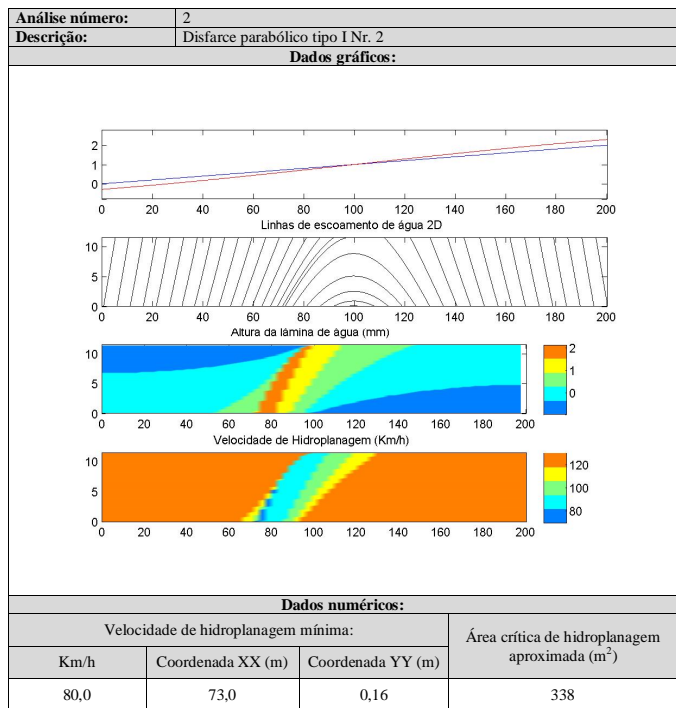
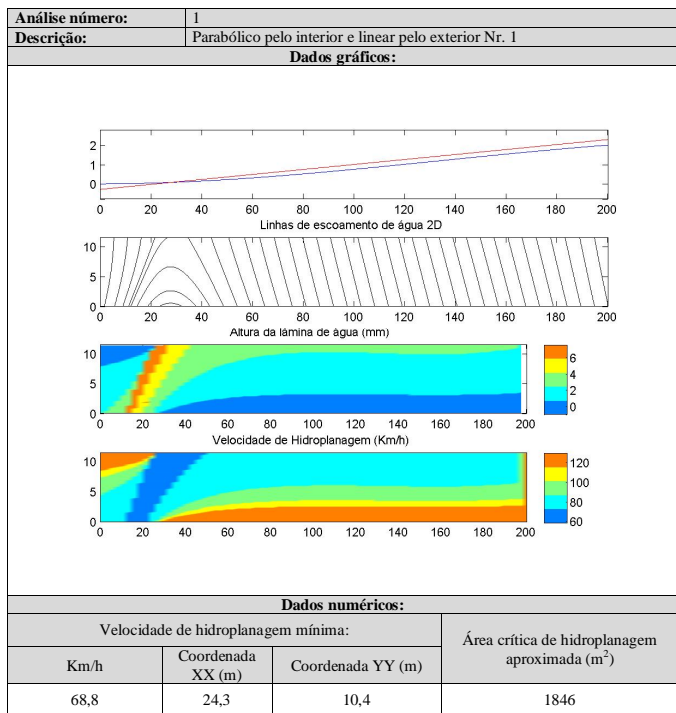
```
end
end

%Calculo da Velocidade de hidroplanagem:
vh=zeros(k1,k2);
for iponto=1:1:k1
    for jponto=1:1:k2
        if hf(iponto,jponto)>2.413
            vh(iponto,jponto)=4.580*((1.181*(epson)+1)^0.06)*A(iponto,jponto);
        elseif hf(iponto,jponto)<=2.413
            if hf(iponto,jponto)>0
                vh(iponto,jponto)=96.899*((hf(iponto,jponto))^-0.259));
            end
        end
    end
end
end
end
```

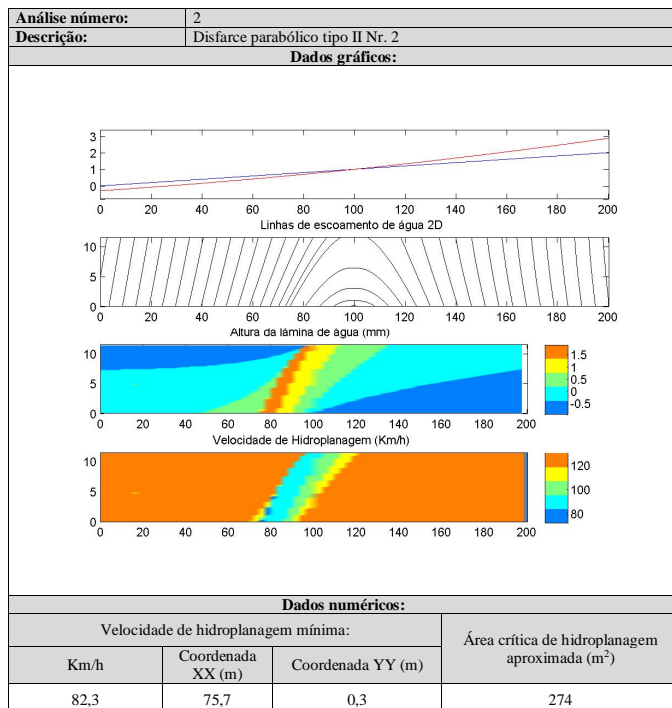
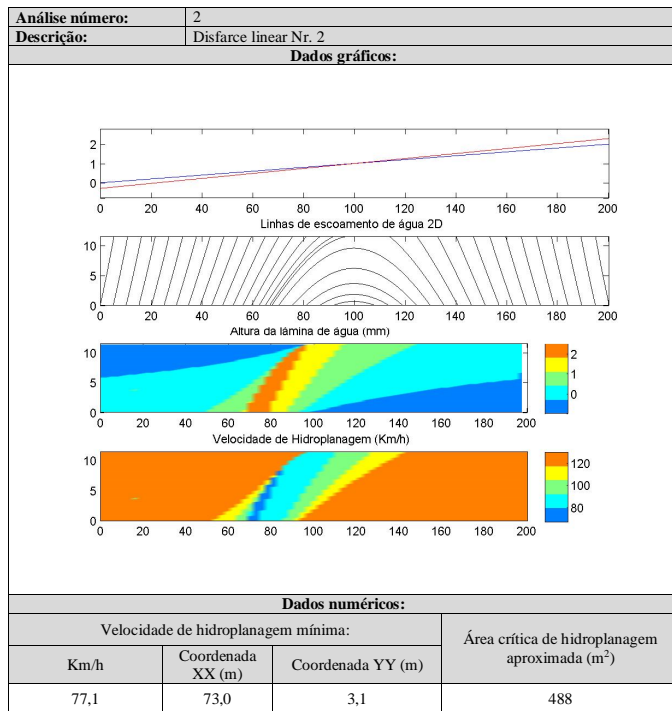
ANEXO A4 – RESULTADOS OBTIDOS

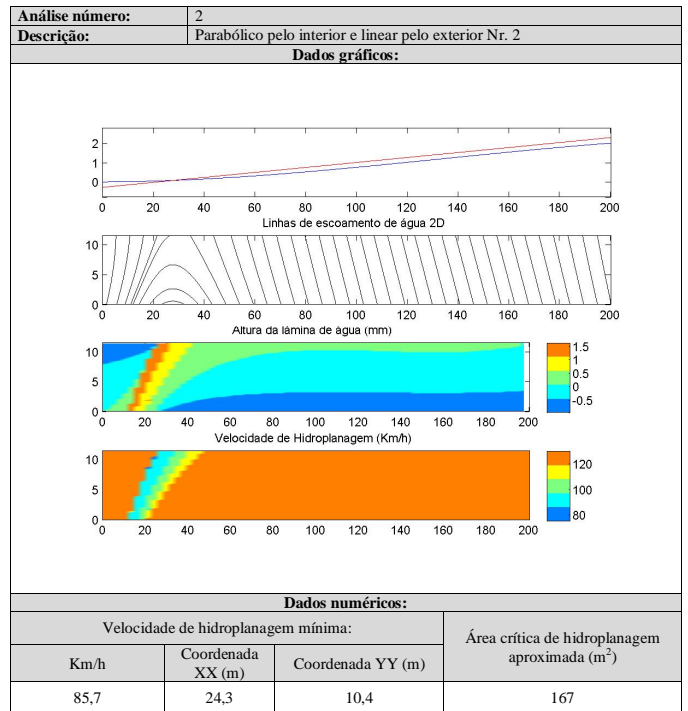
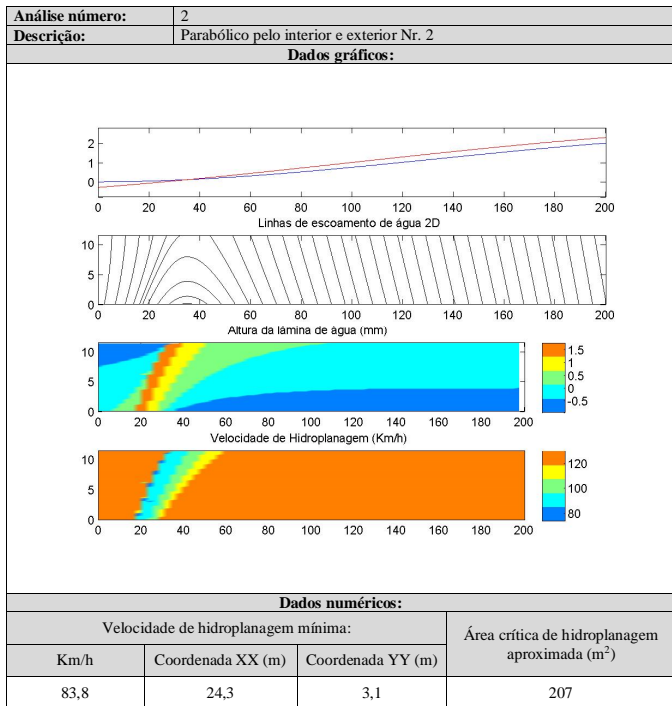
A4.1 - Análise de dados 1:



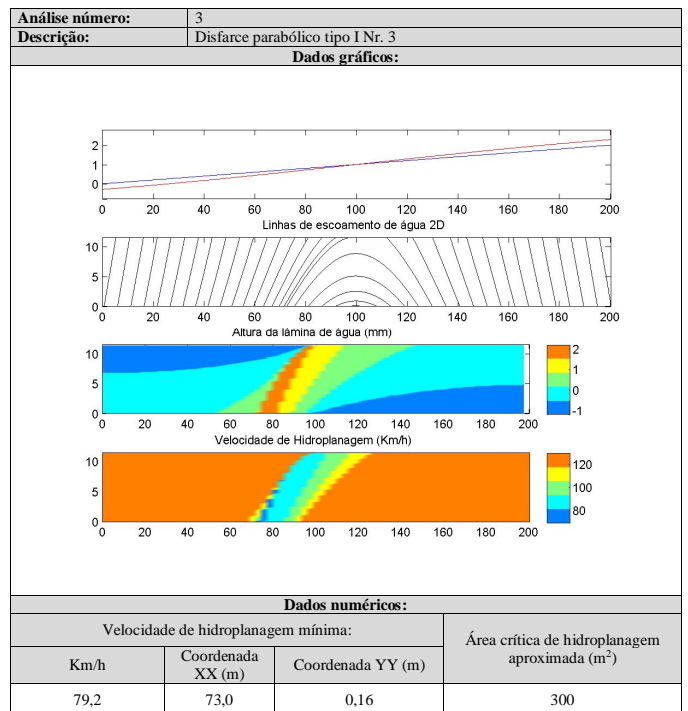
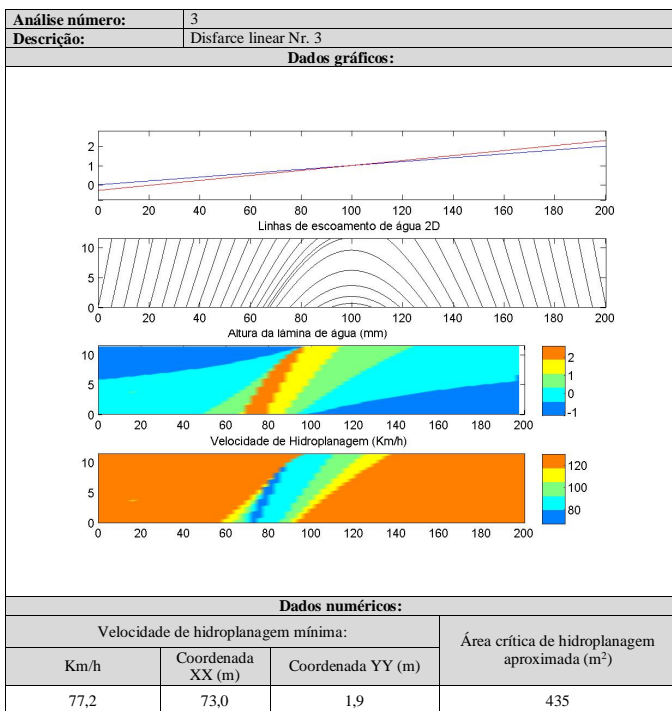


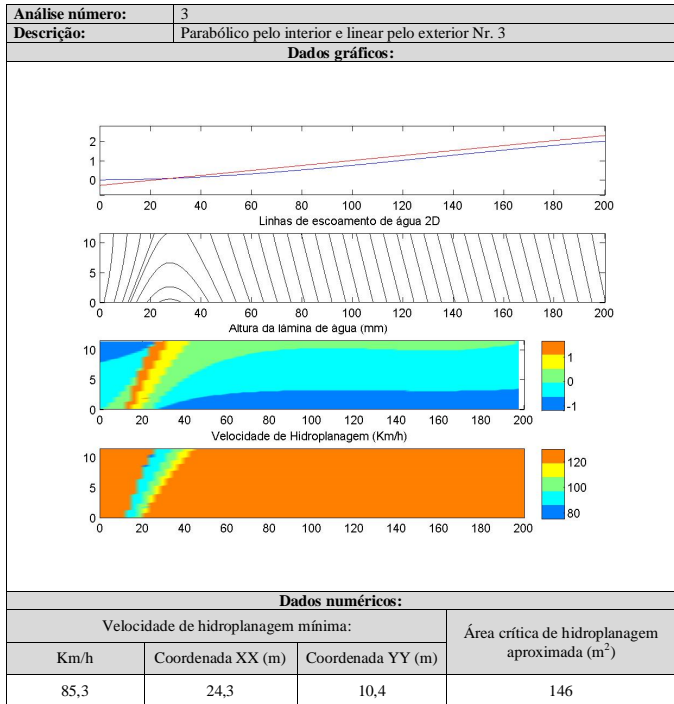
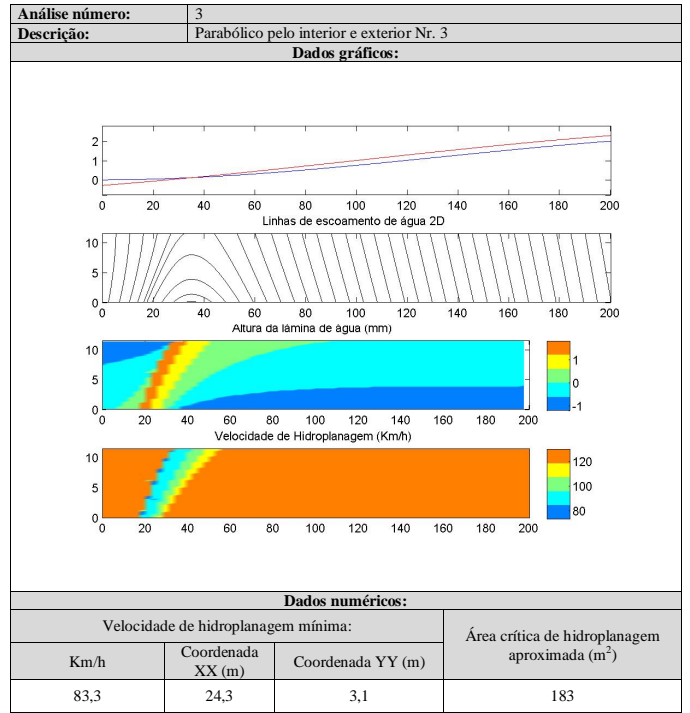
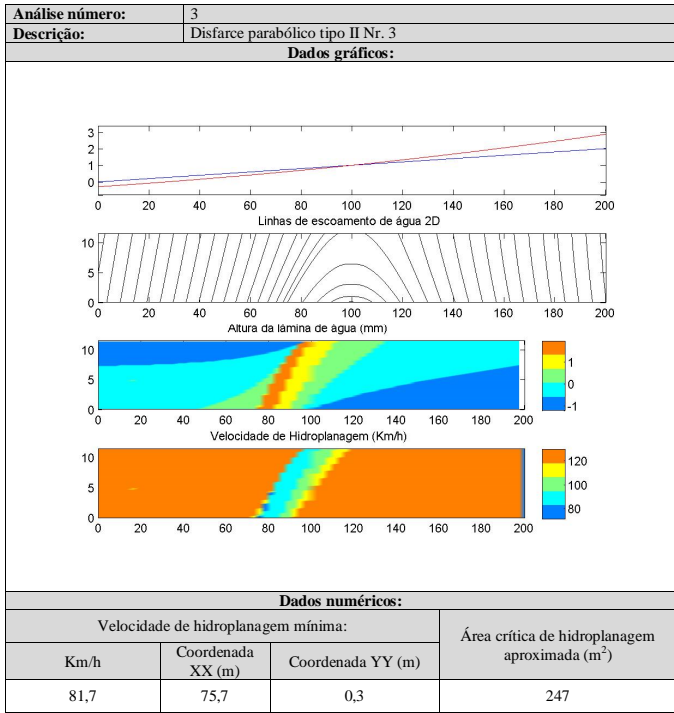
A4.2 - Análise de dados 2:



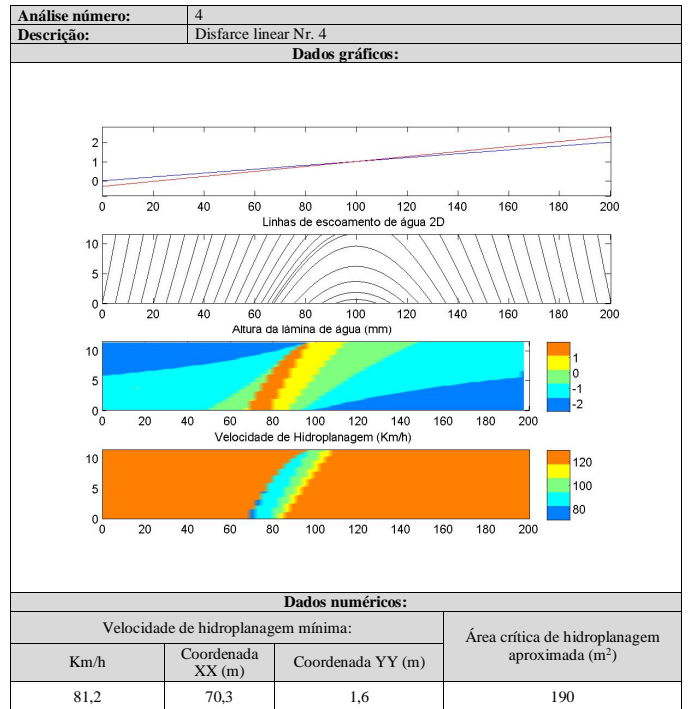


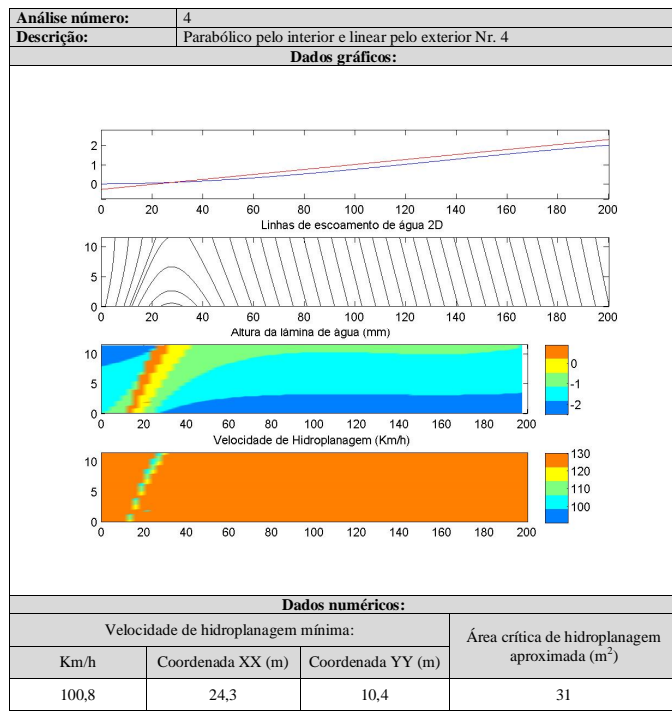
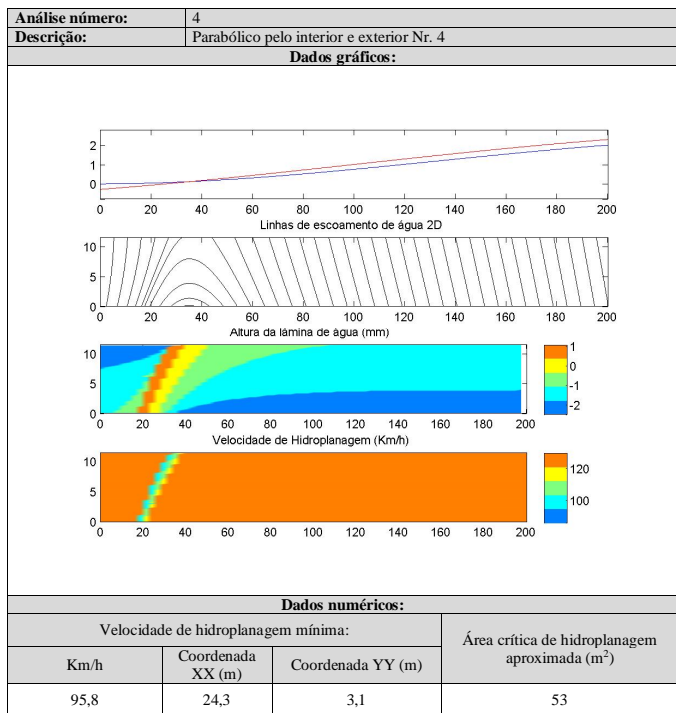
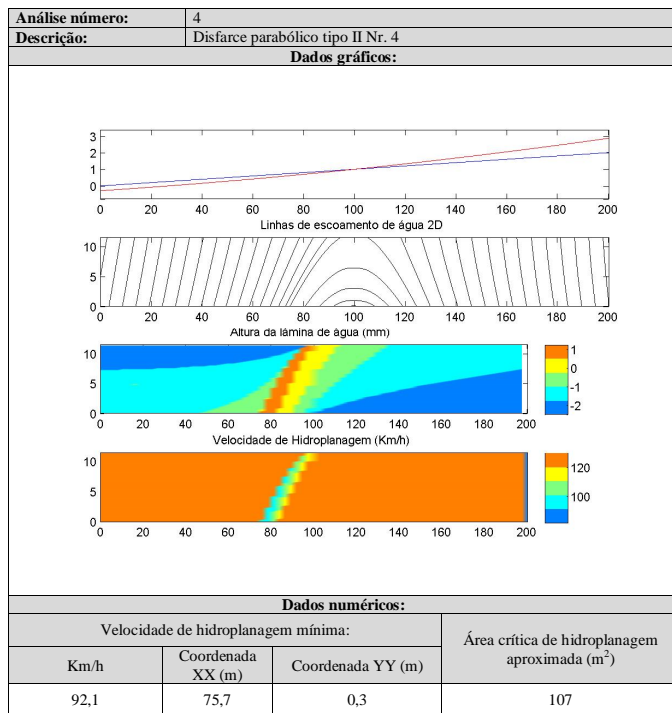
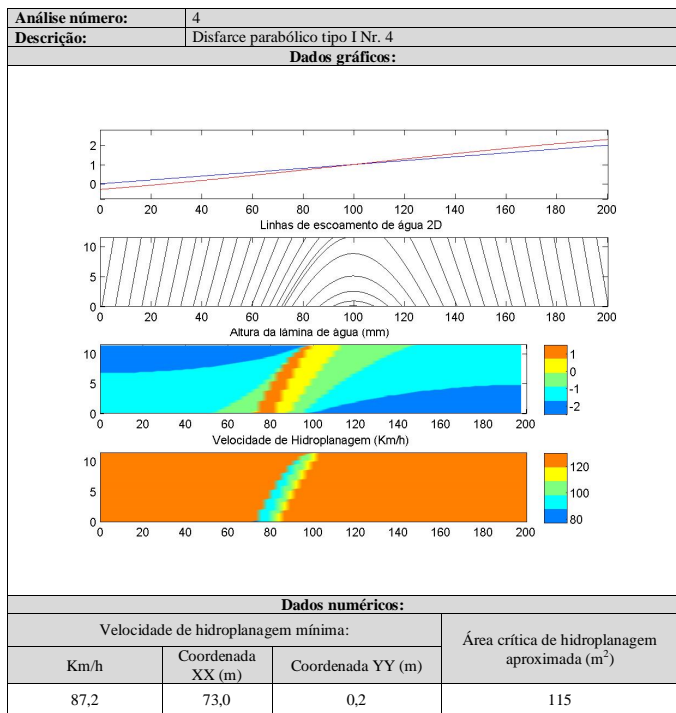
A4.3 - Análise de dados 3:



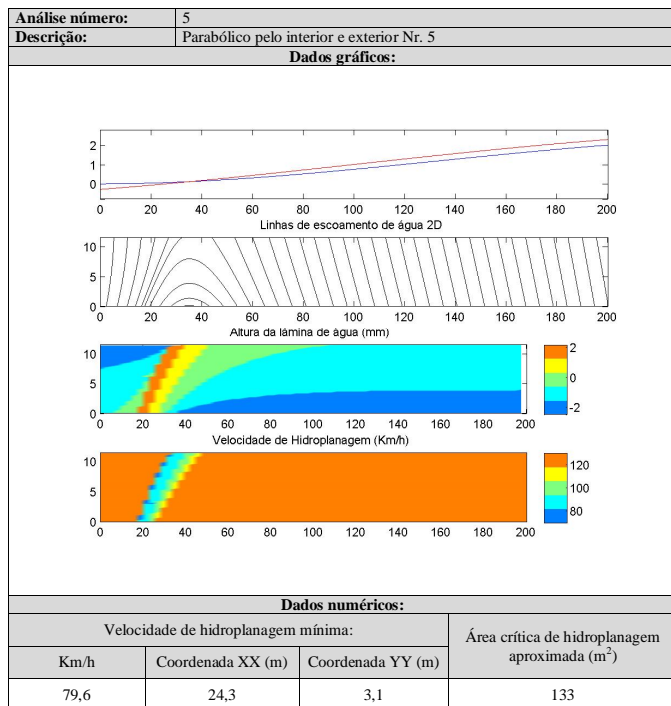
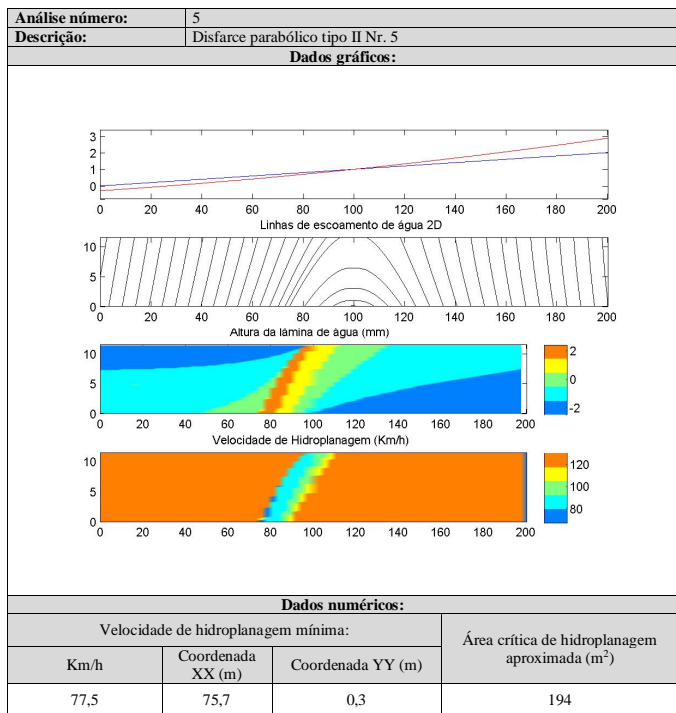
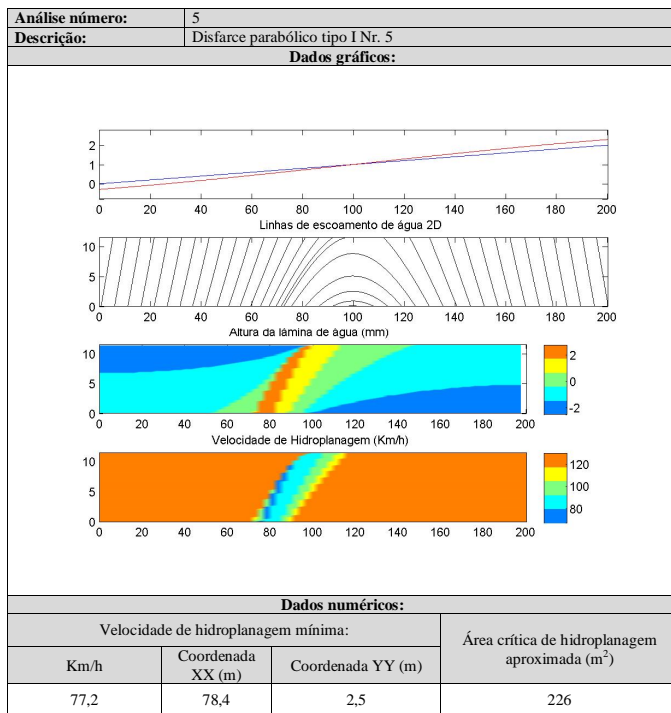
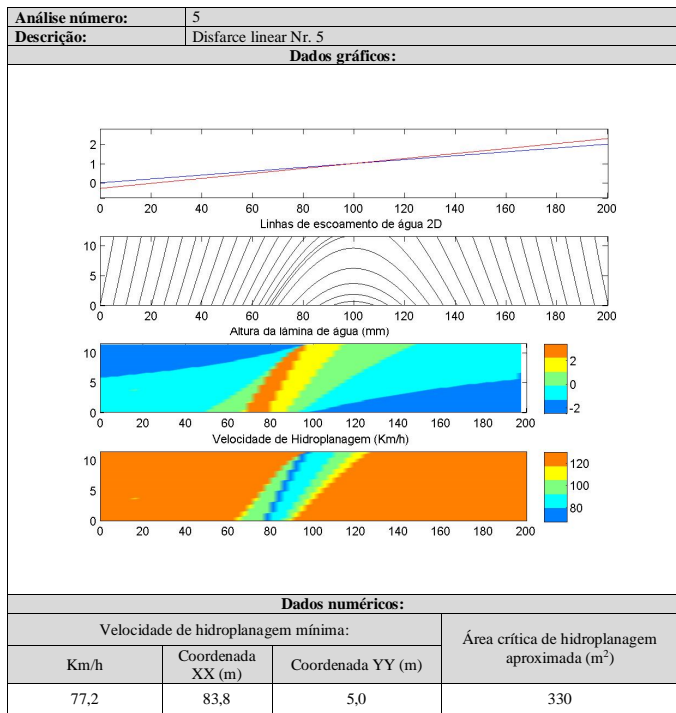


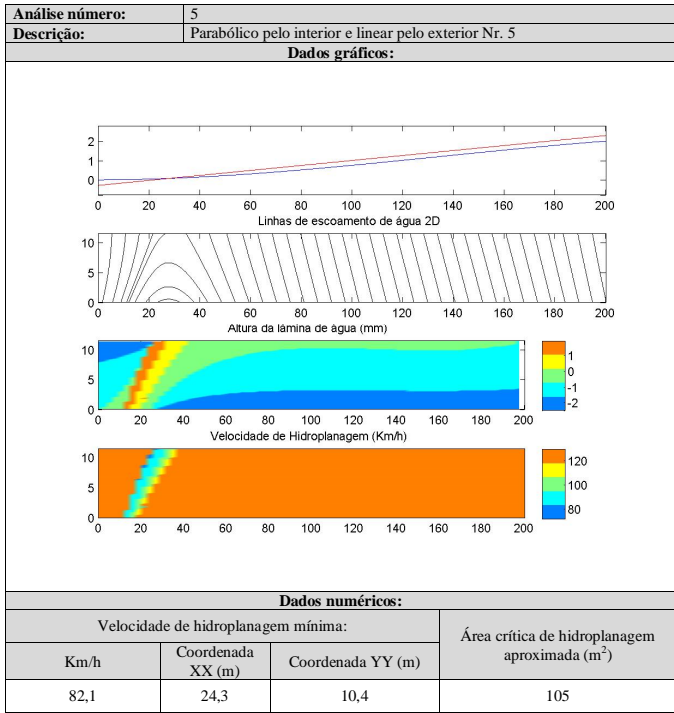
A4.4 - Análise de dados 4:



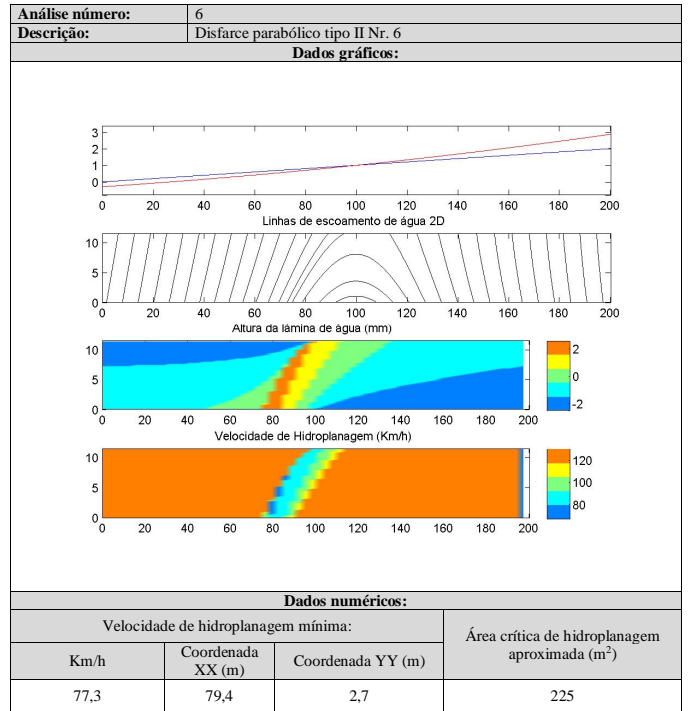
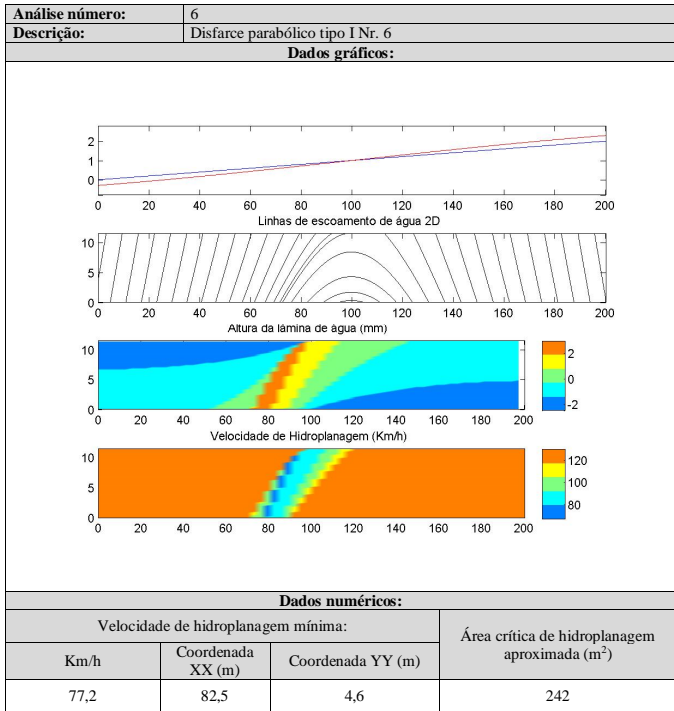
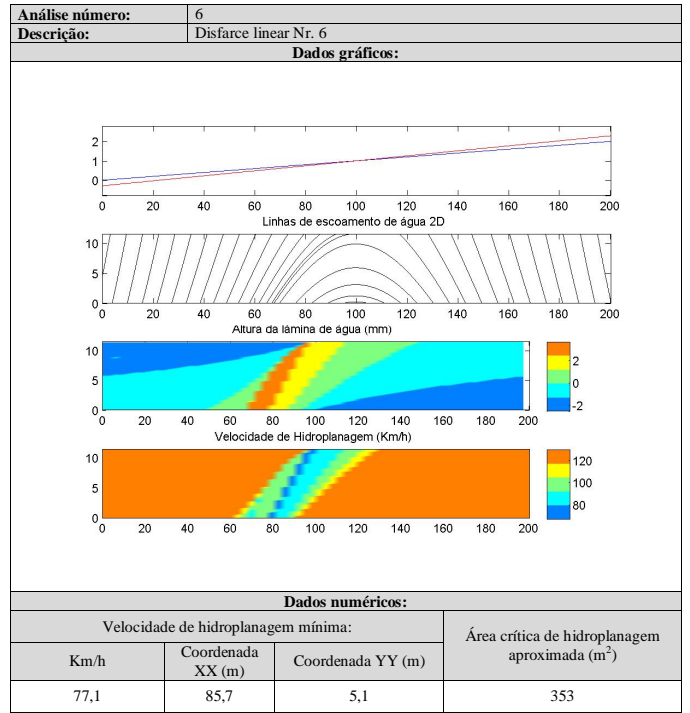


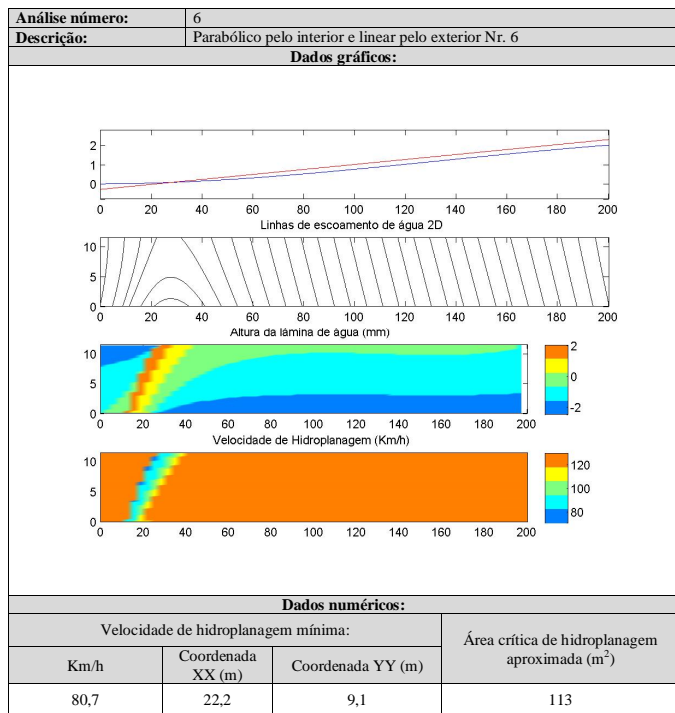
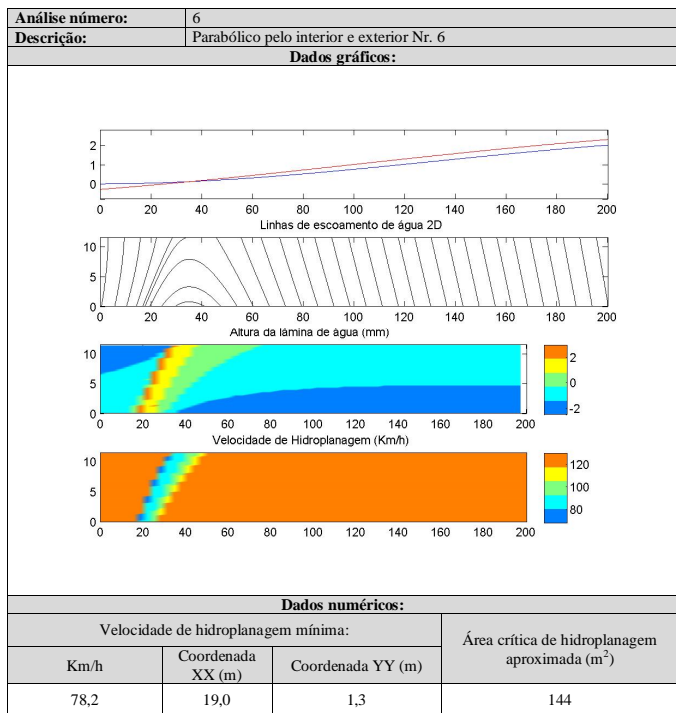
A4.5 - Análise de dados 5:



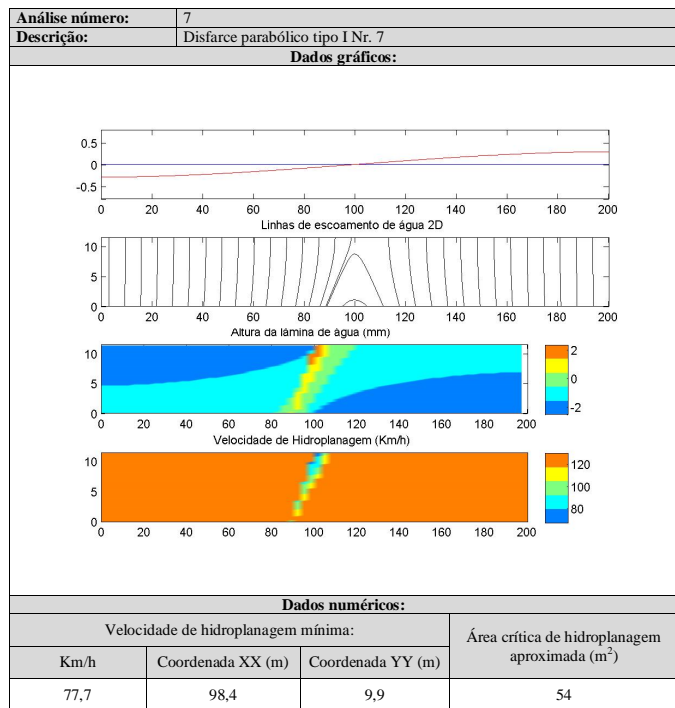
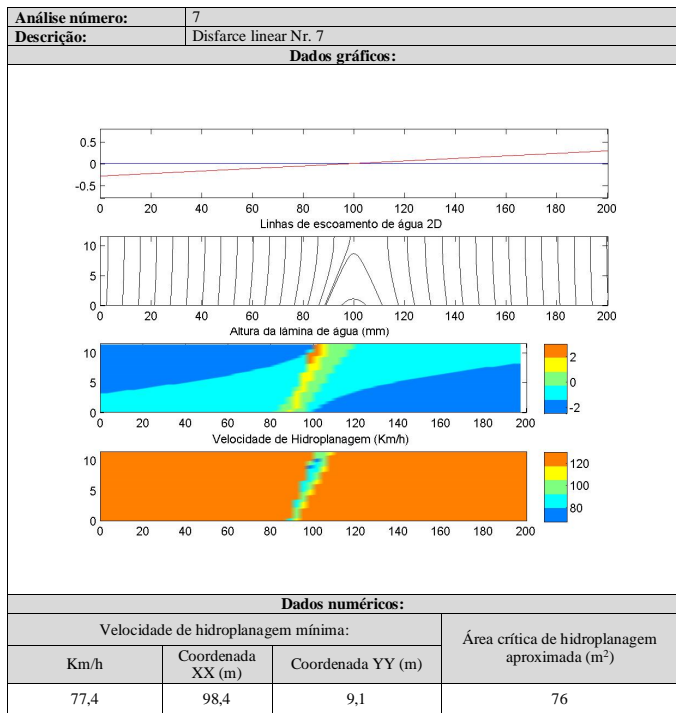


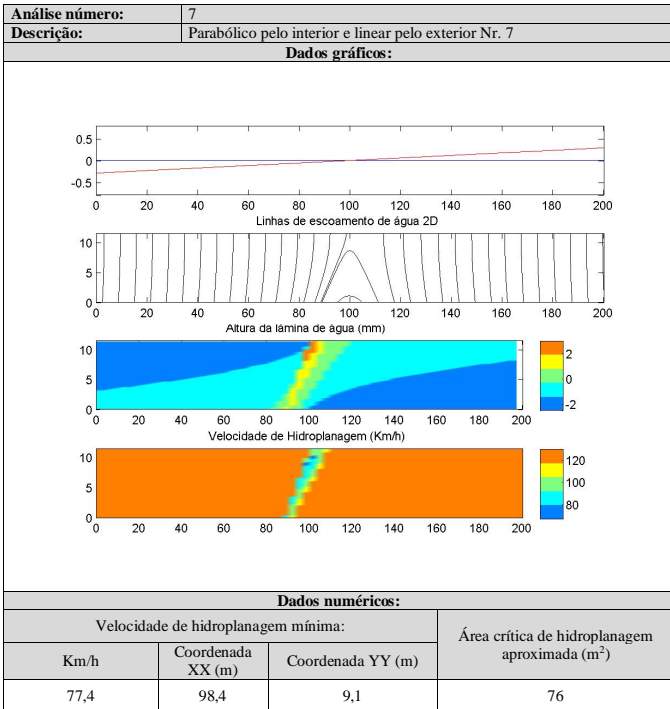
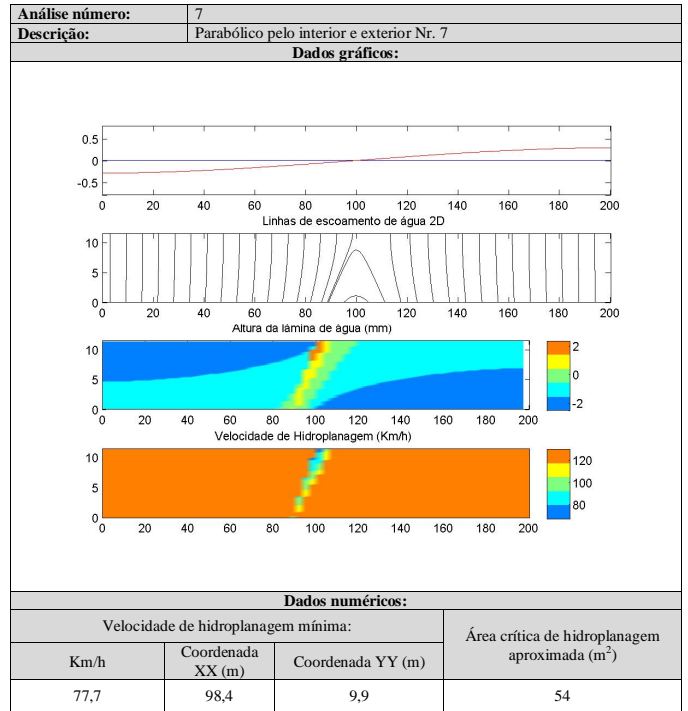
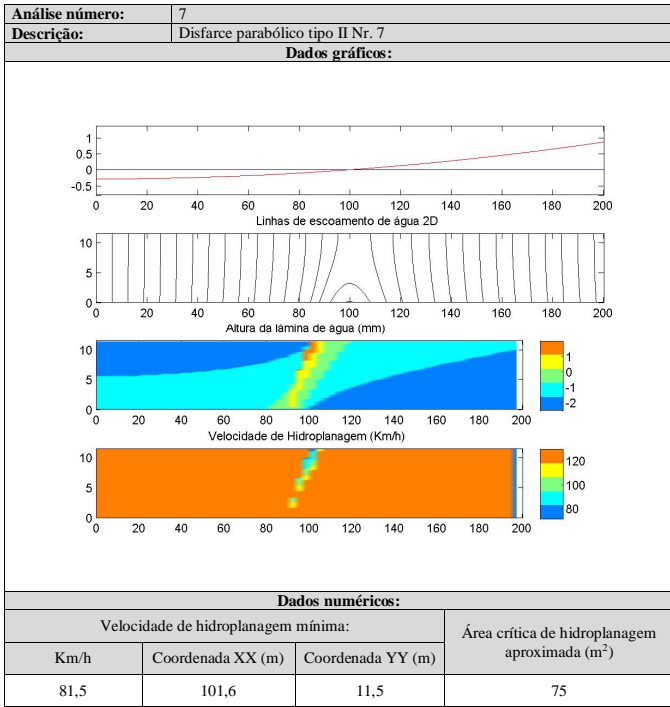
A4.6 - Análise de dados 6:



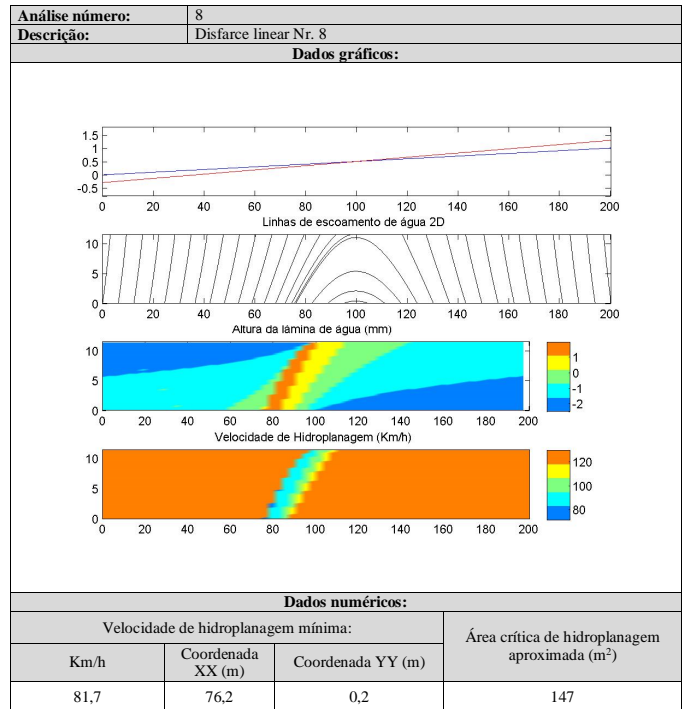


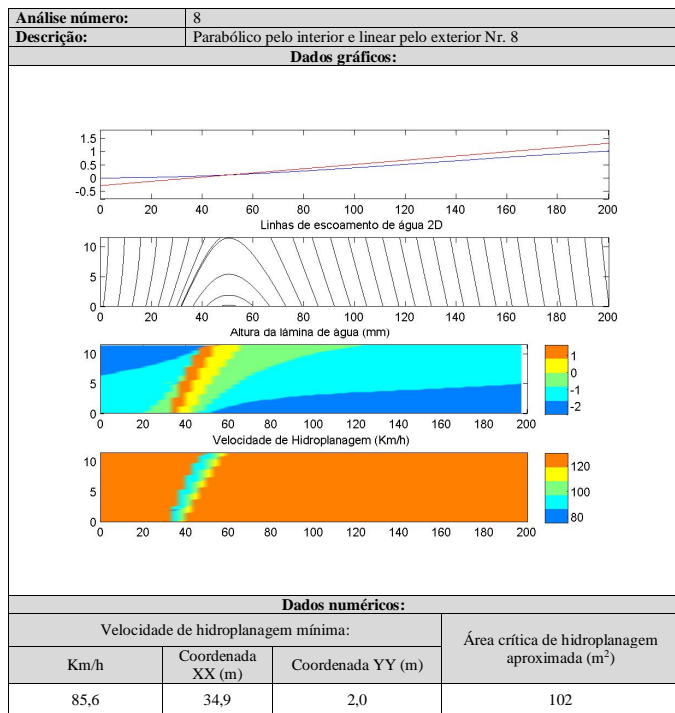
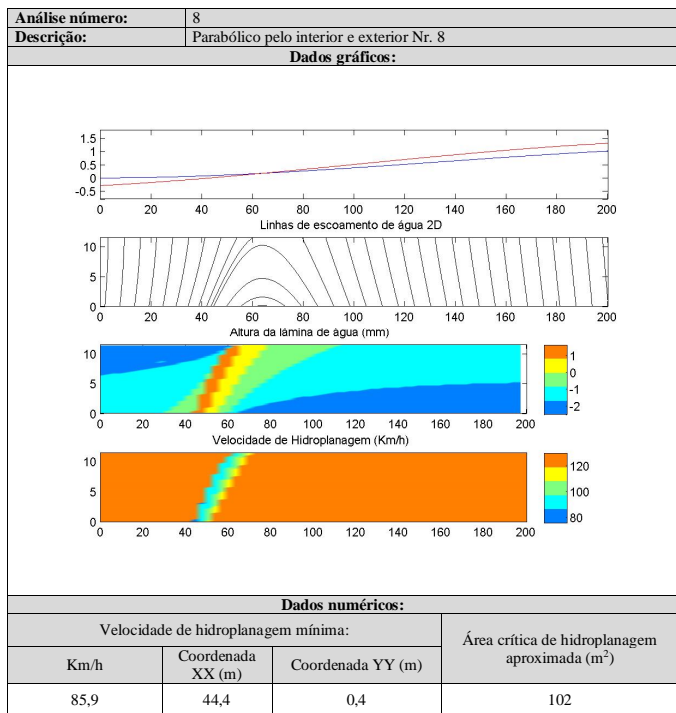
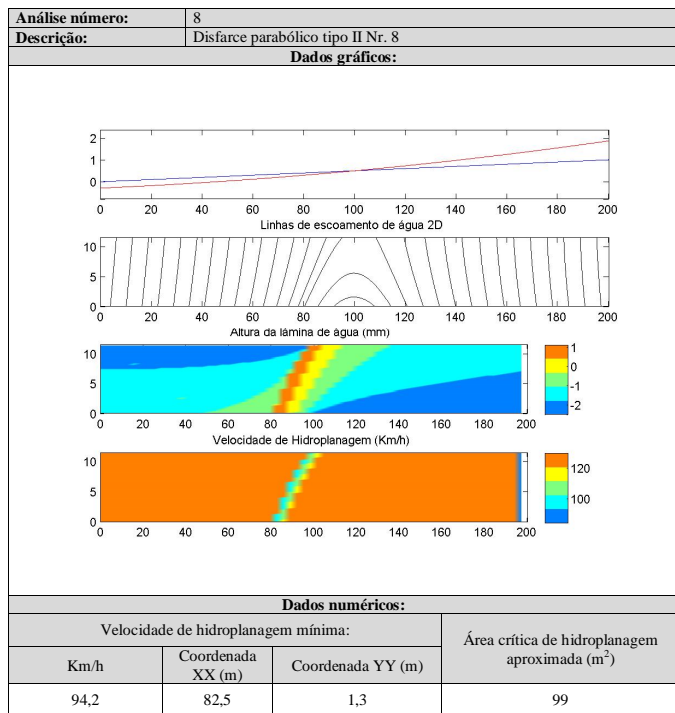
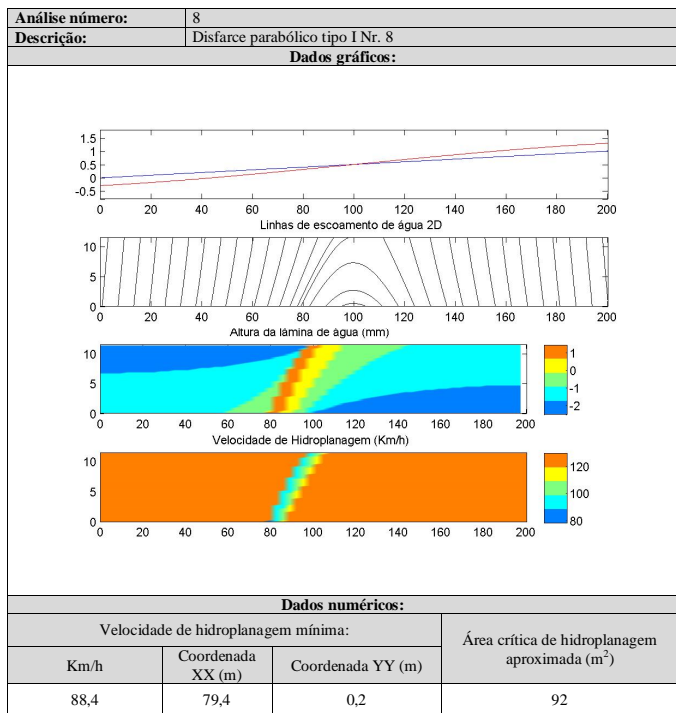
A4.7 - Análise de dados 7:



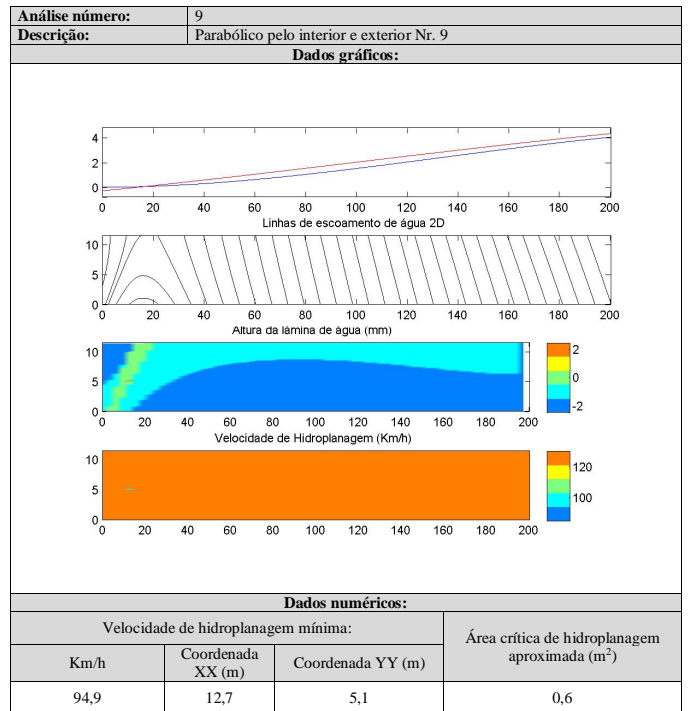
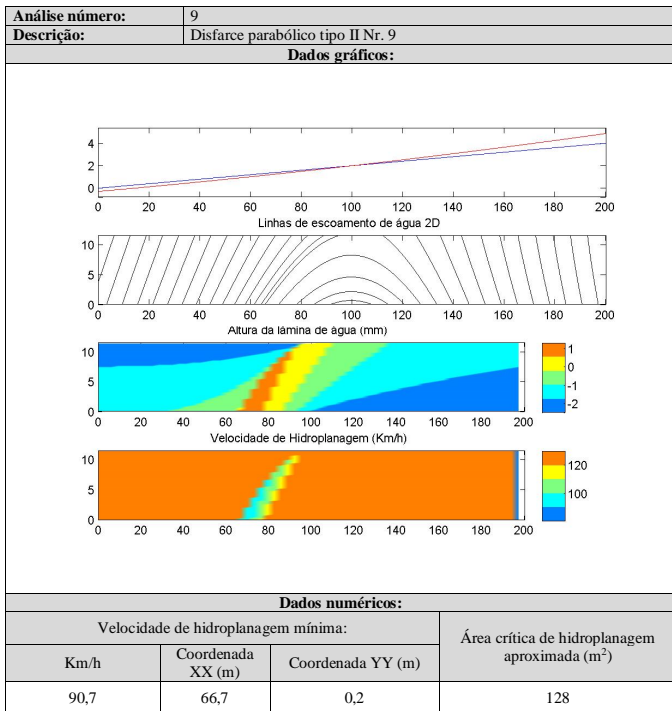
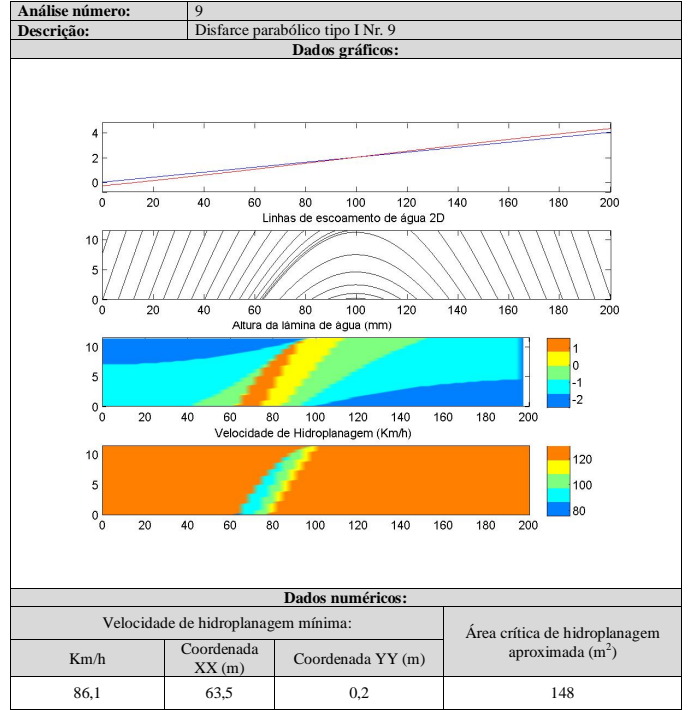
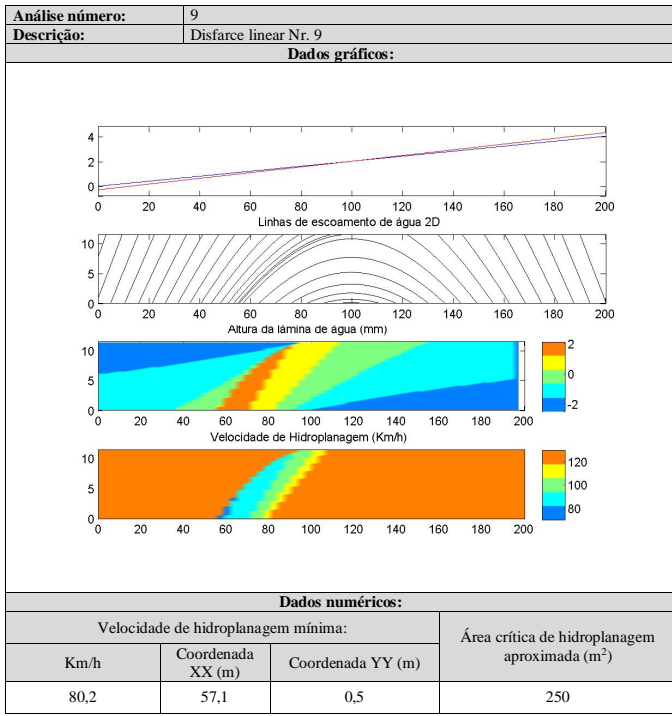


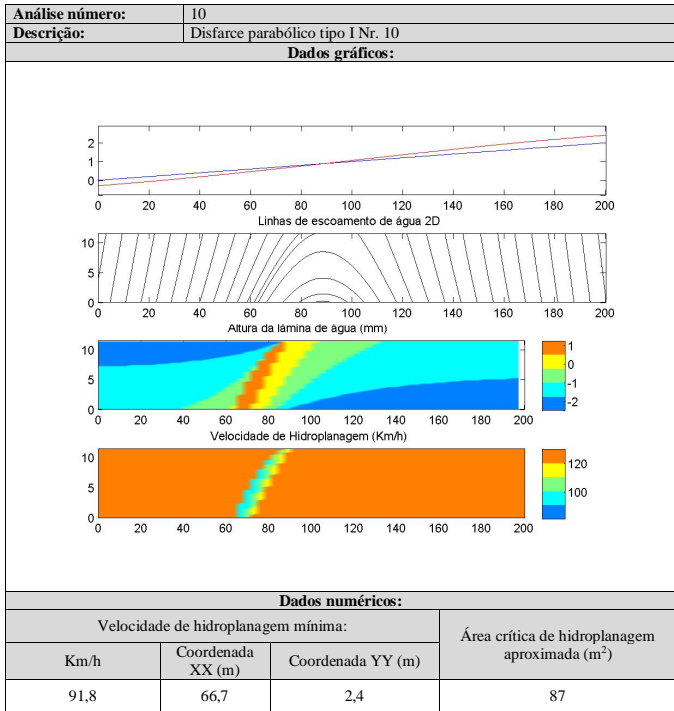
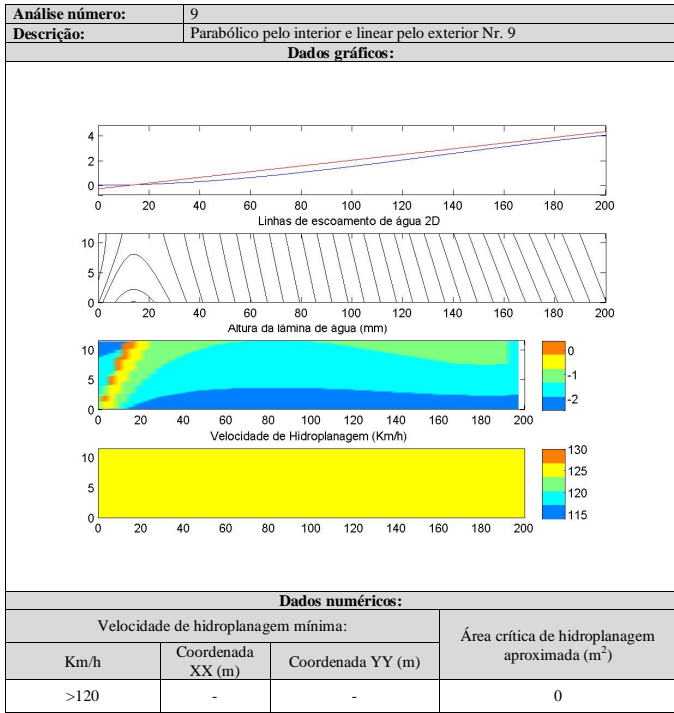
A4.8 - Análise de dados 8:



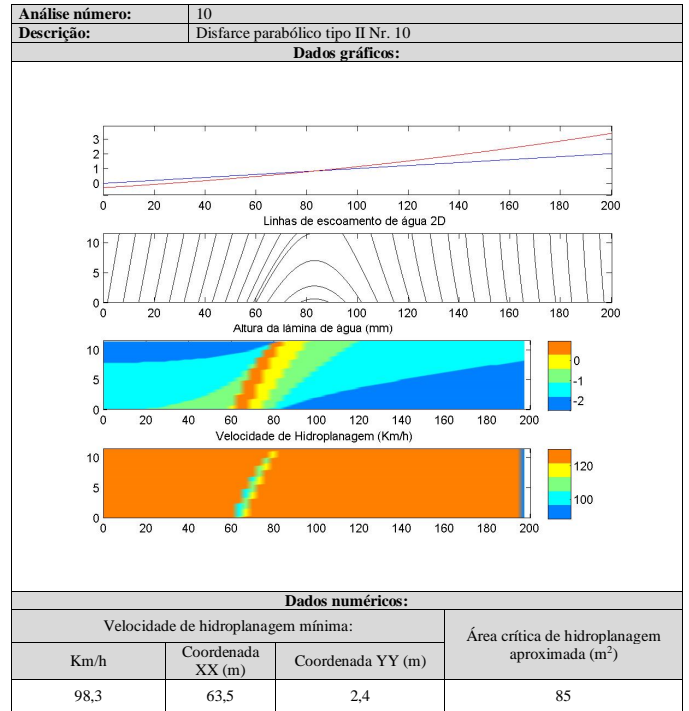
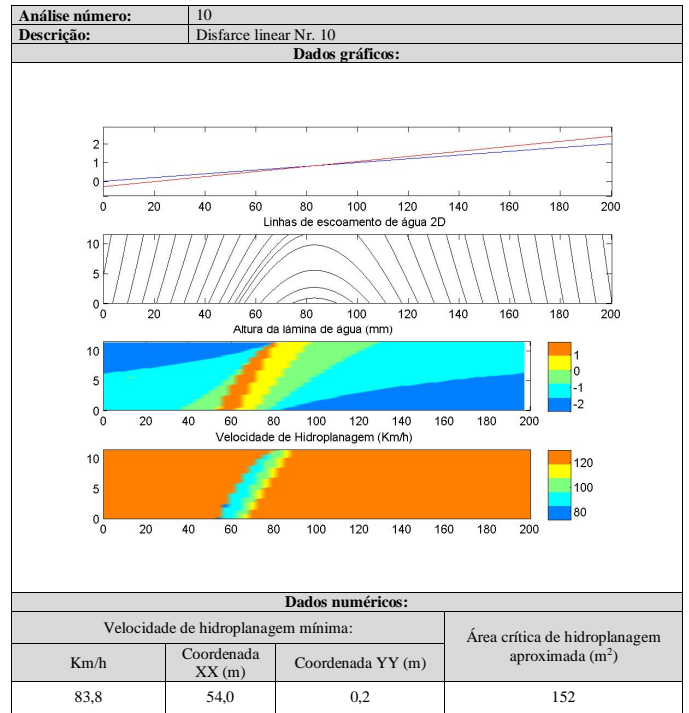


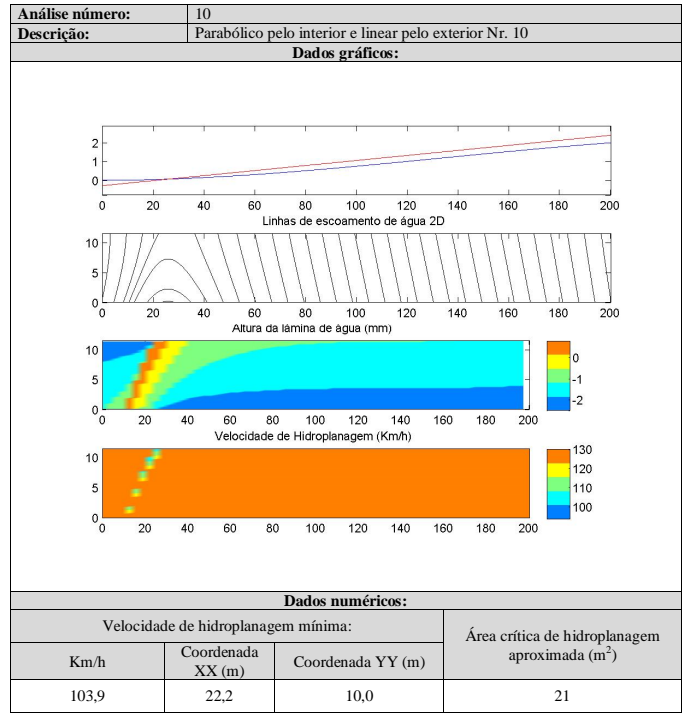
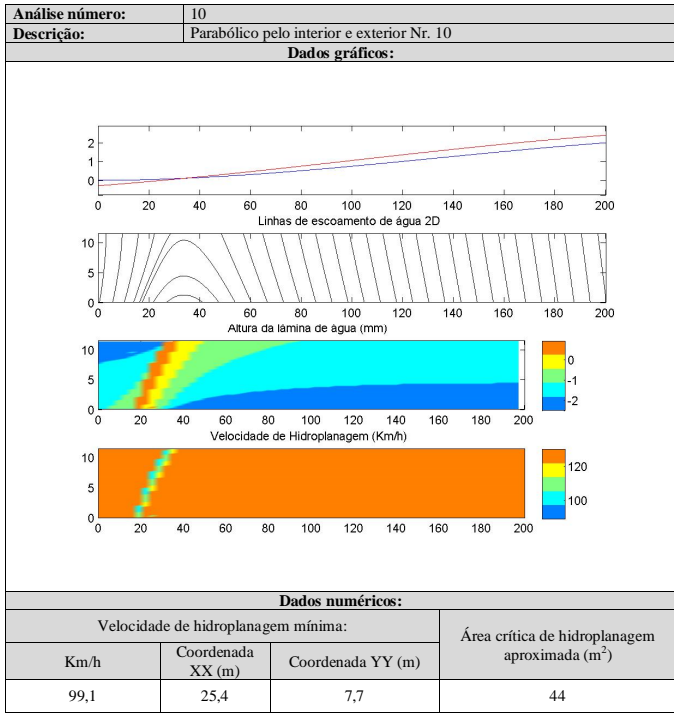
A4.9 - Análise de dados 9:



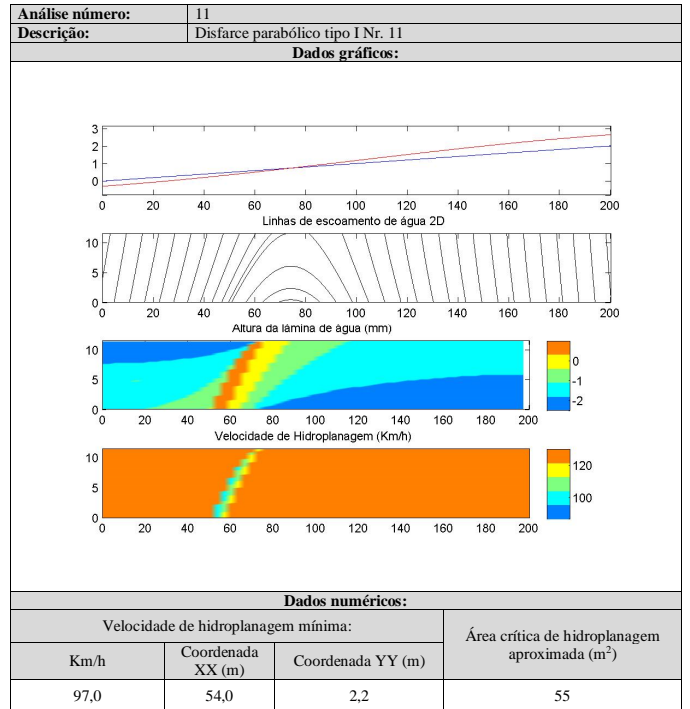
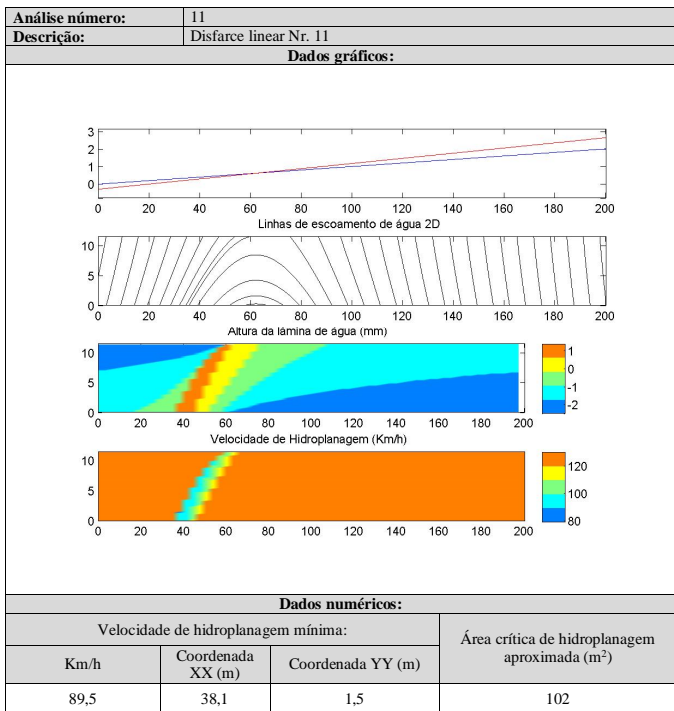


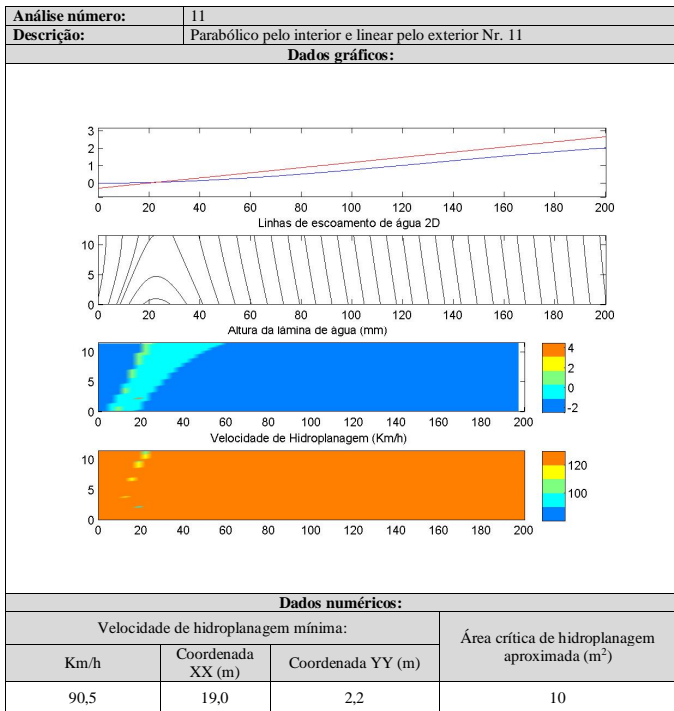
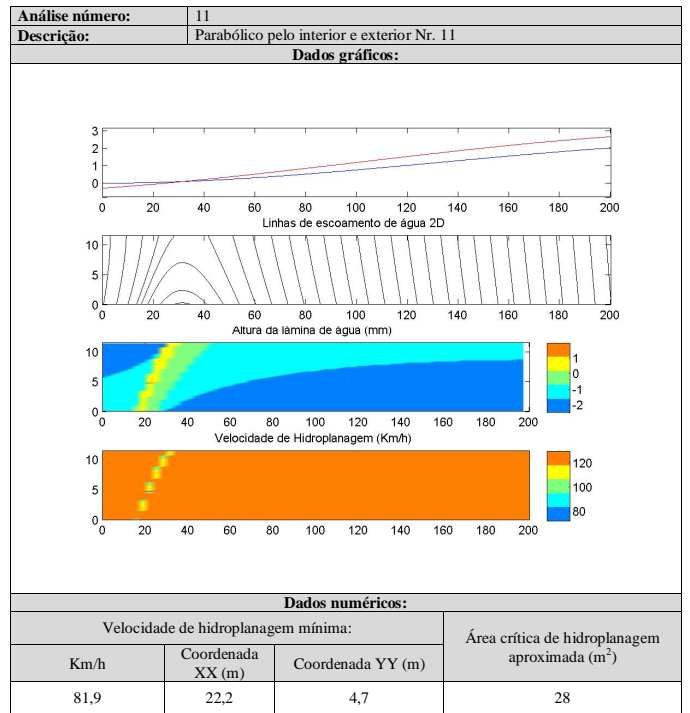
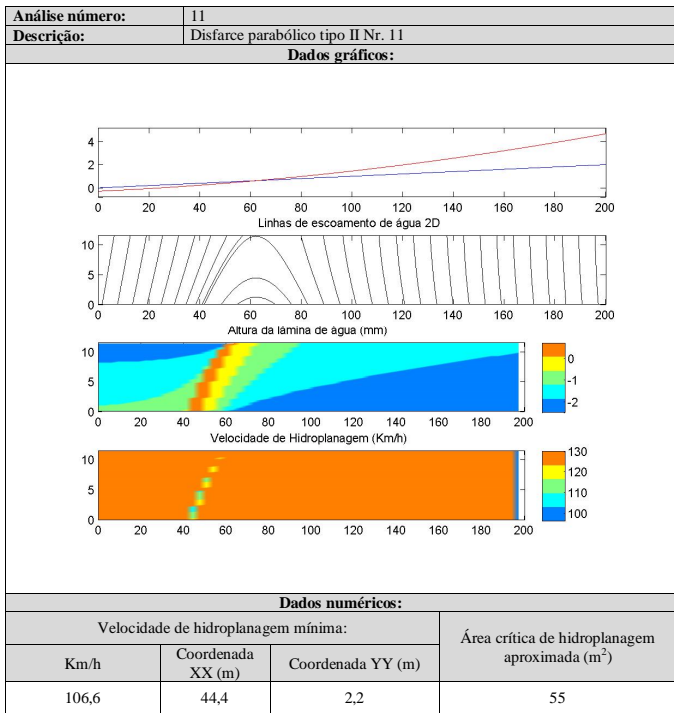
A4.10 - Análise de dados 10:



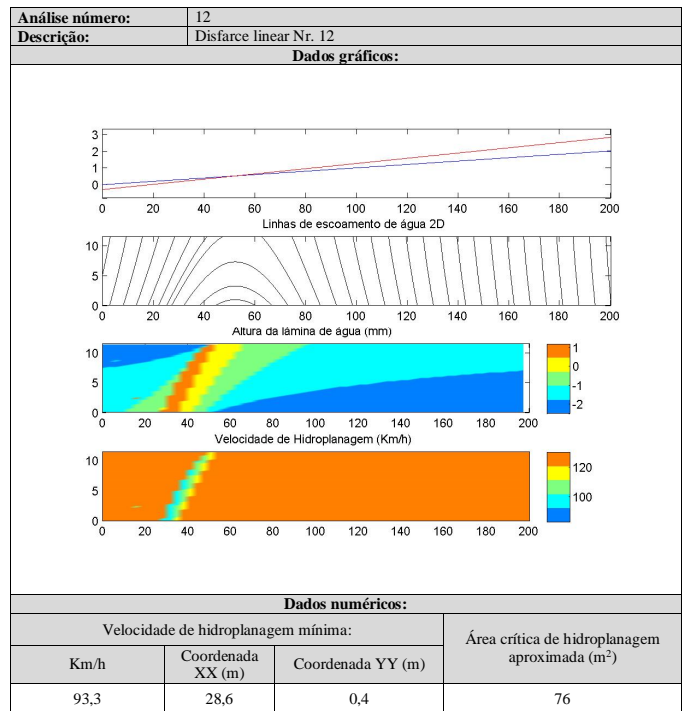


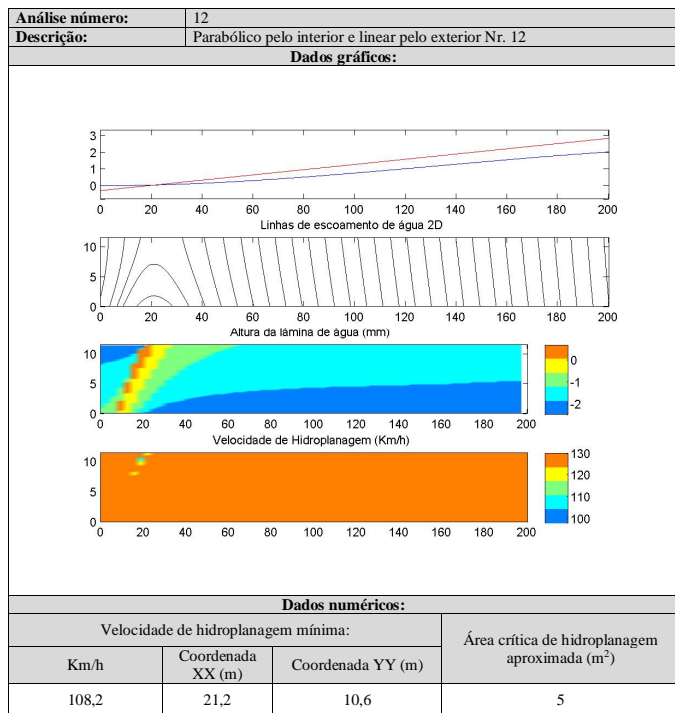
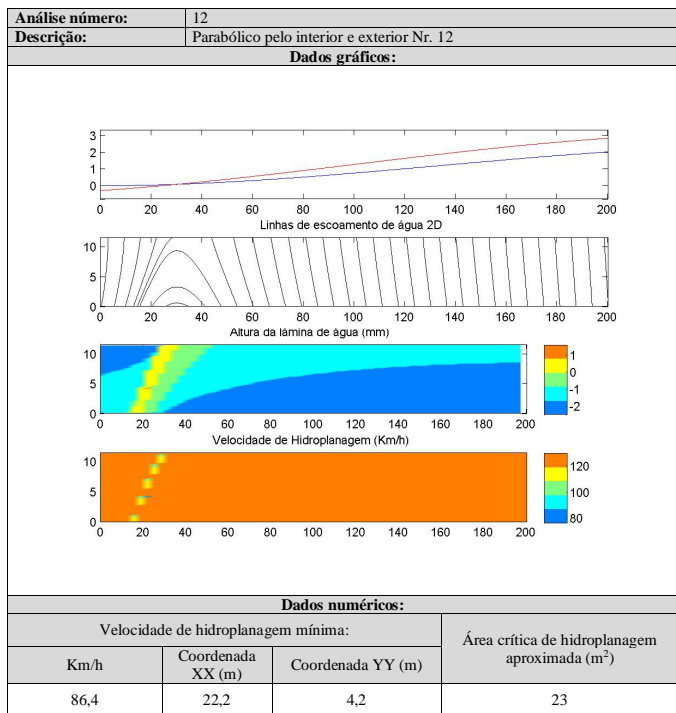
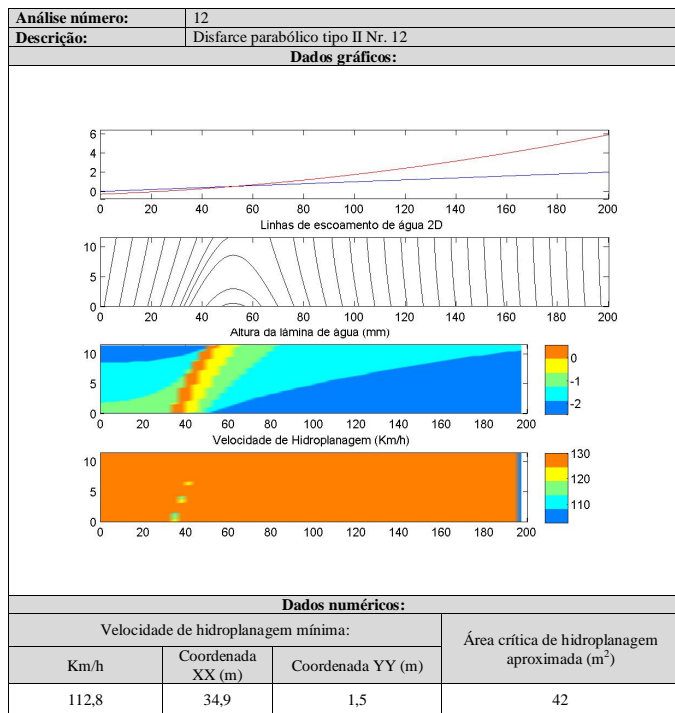
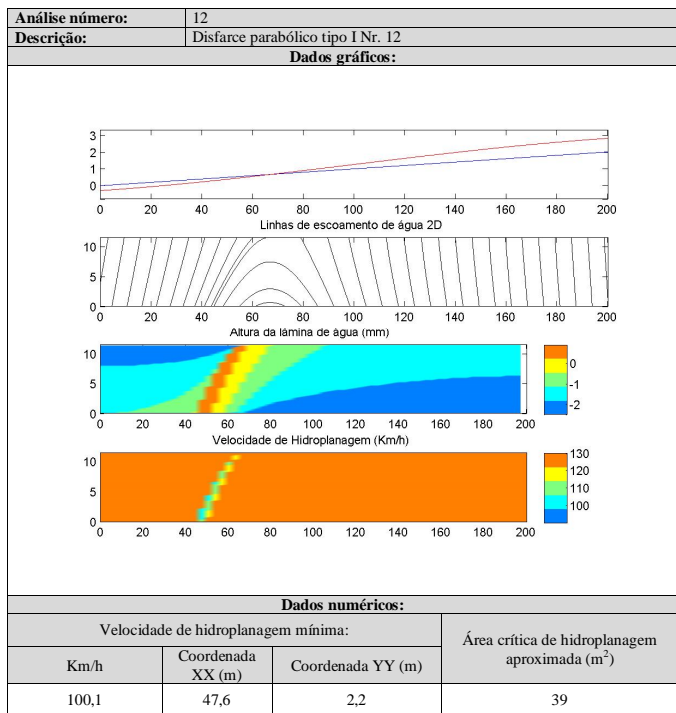
A4.11 - Análise de dados 11:



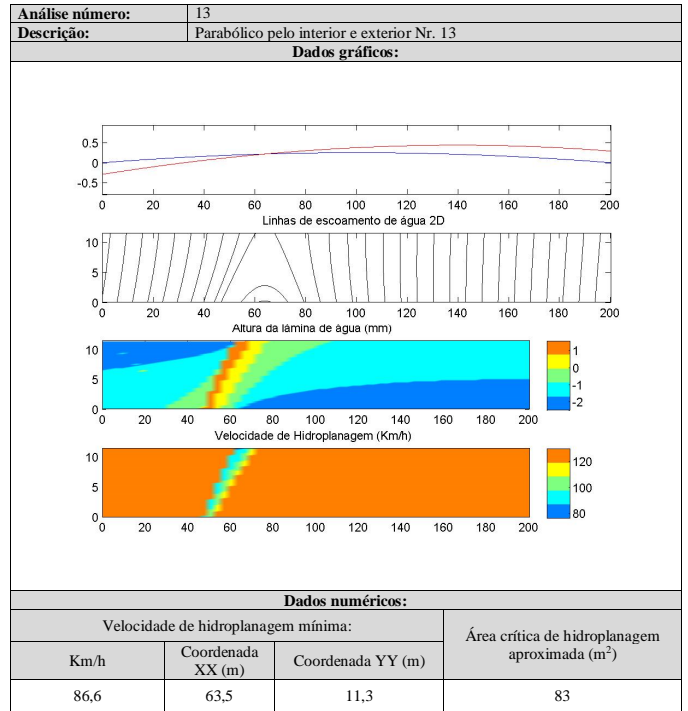
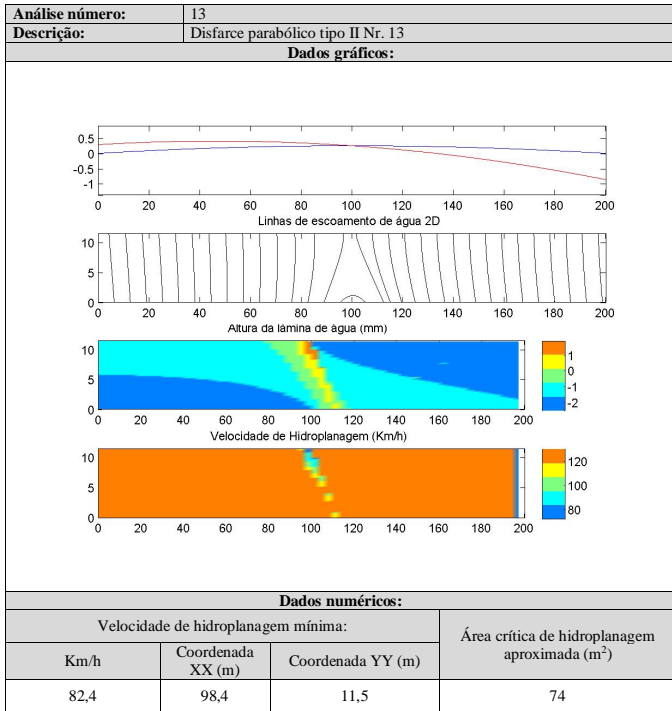
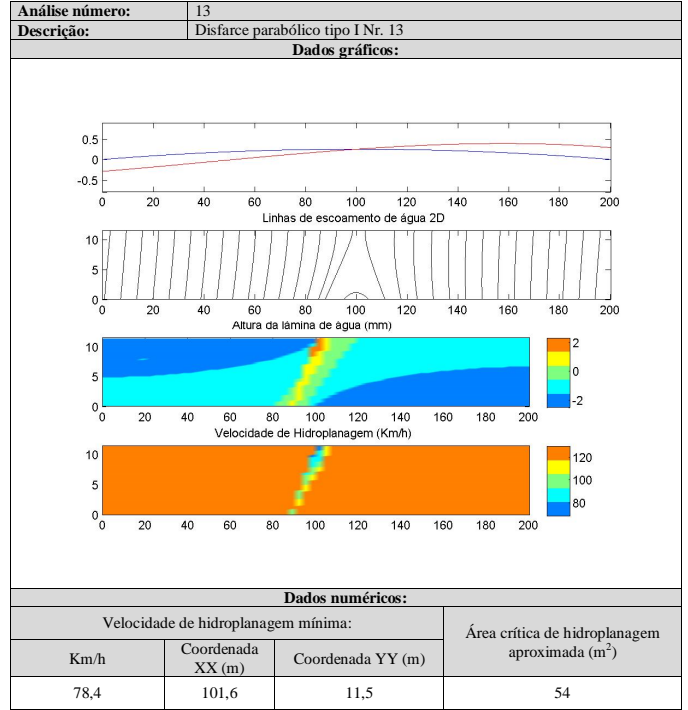
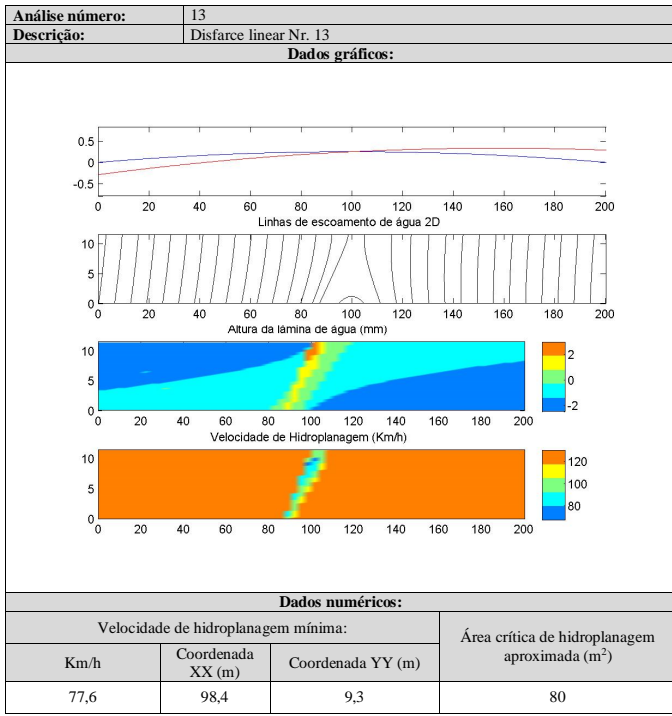


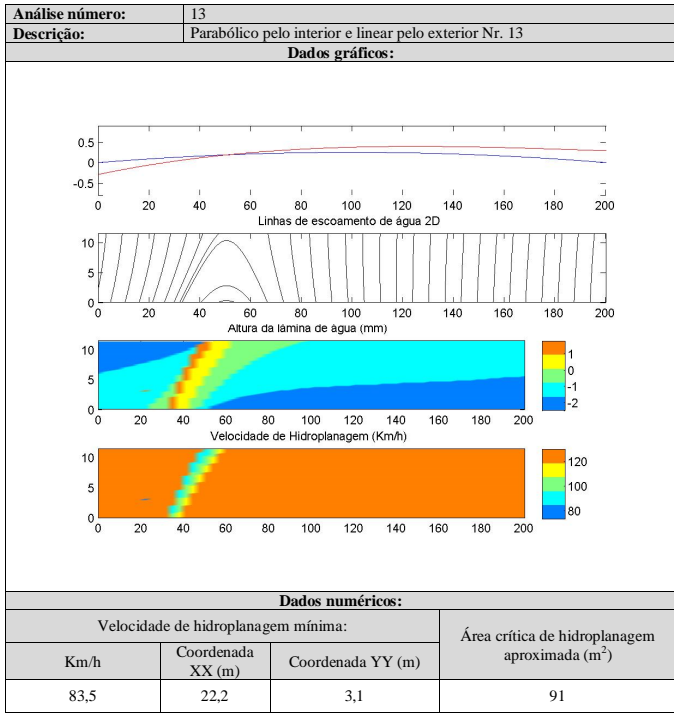
A4.12 - Análise de dados 12:



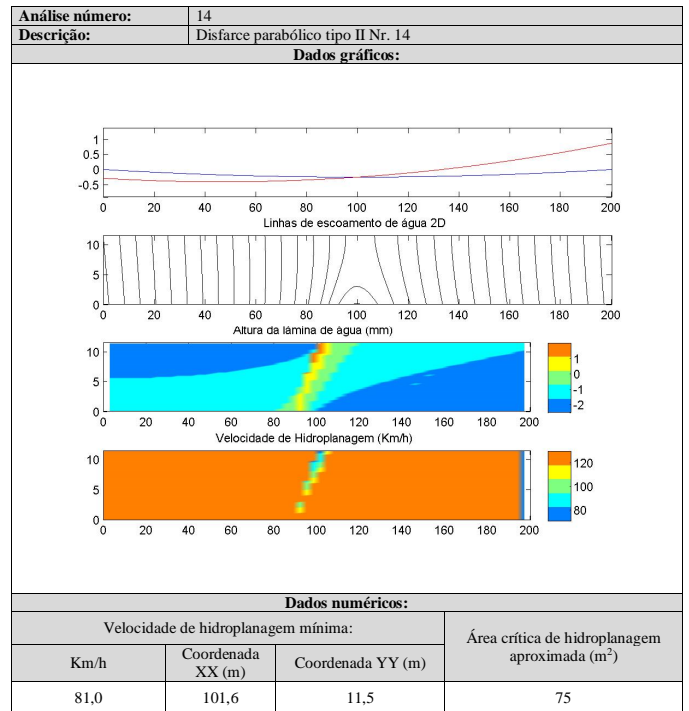
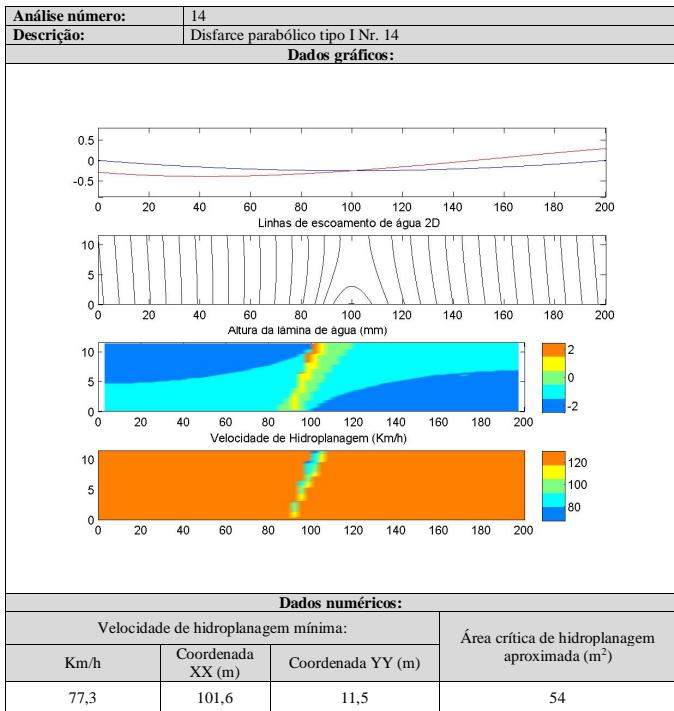
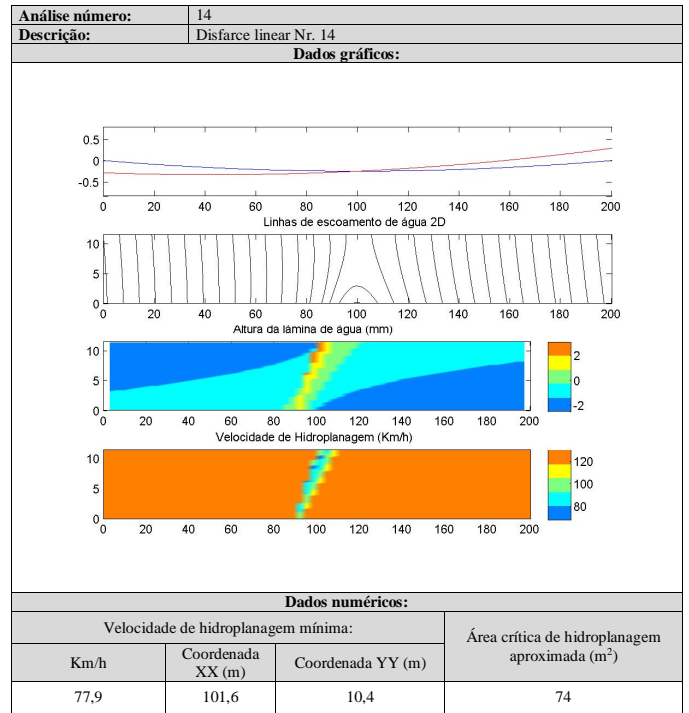


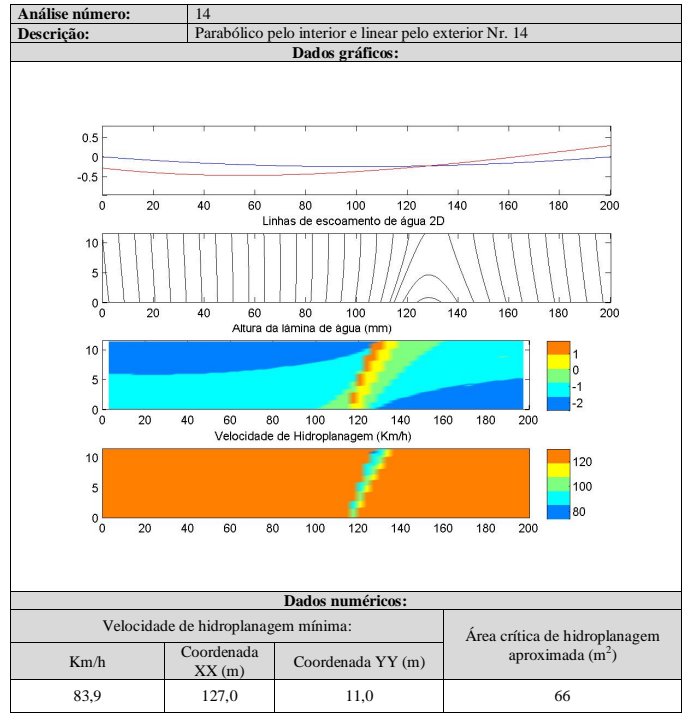
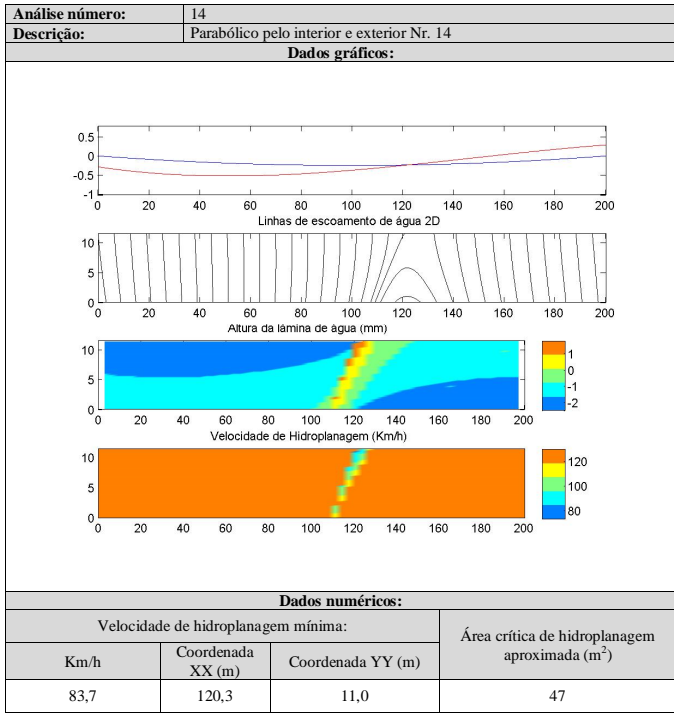
A4.13 - Análise de dados 13:



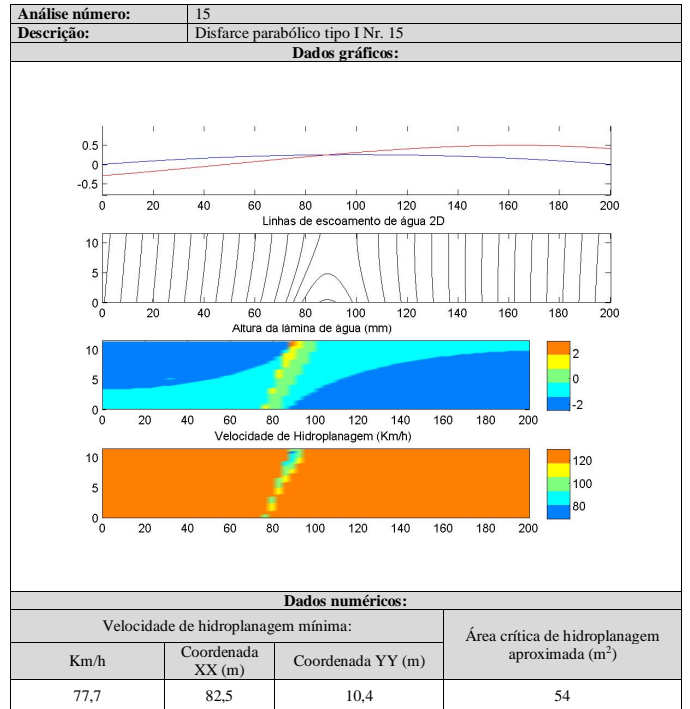
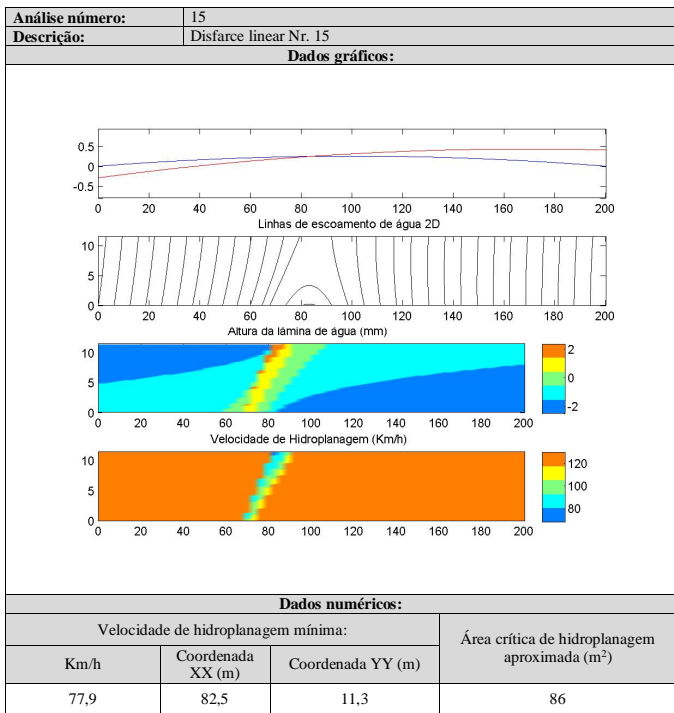


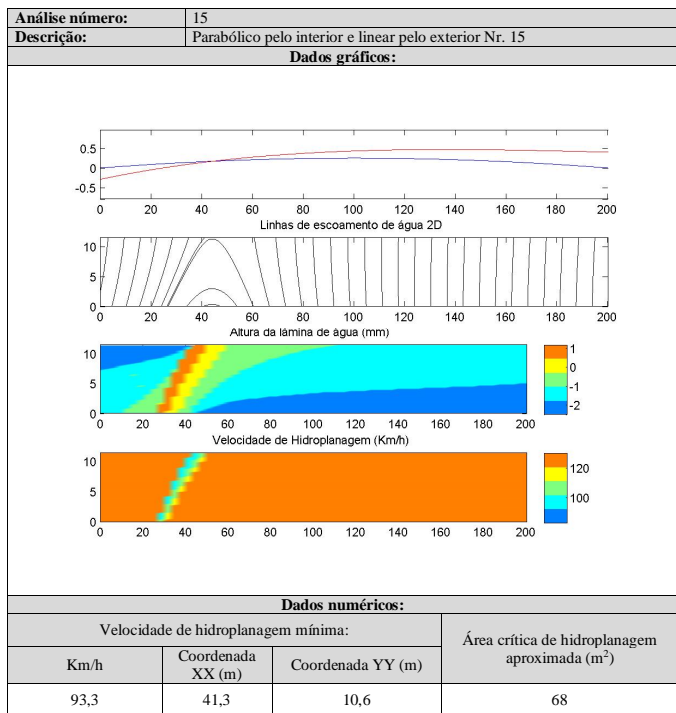
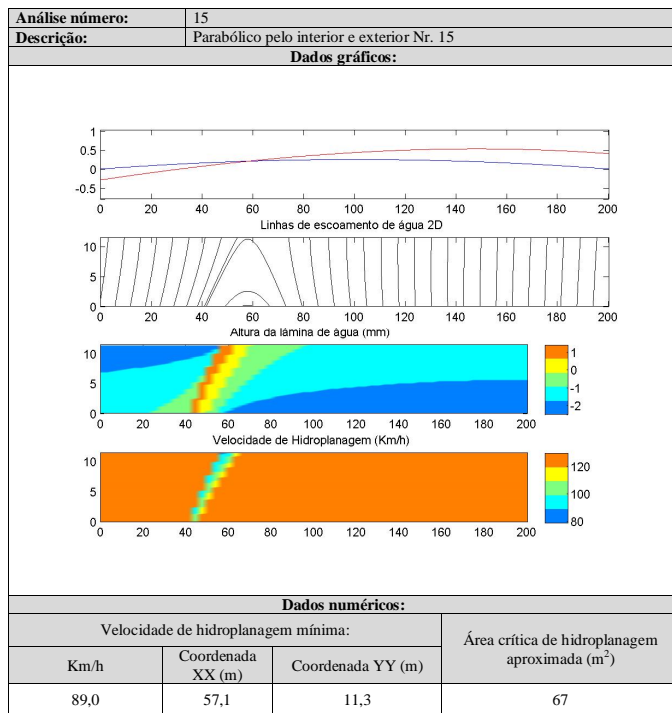
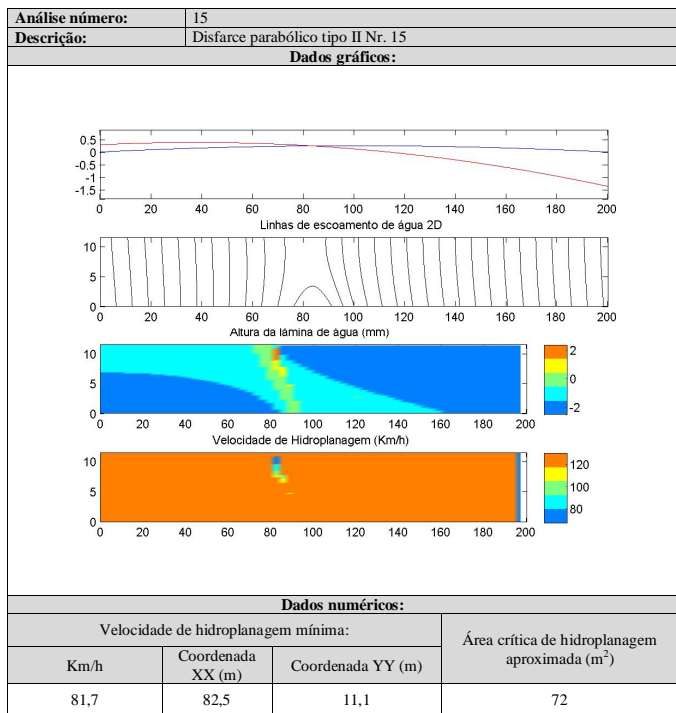
A4.14 - Análise de dados 14:



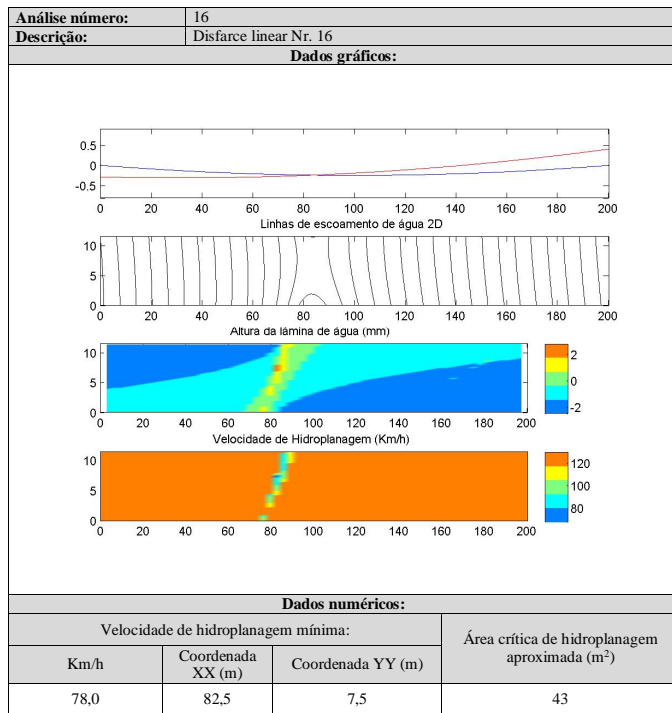


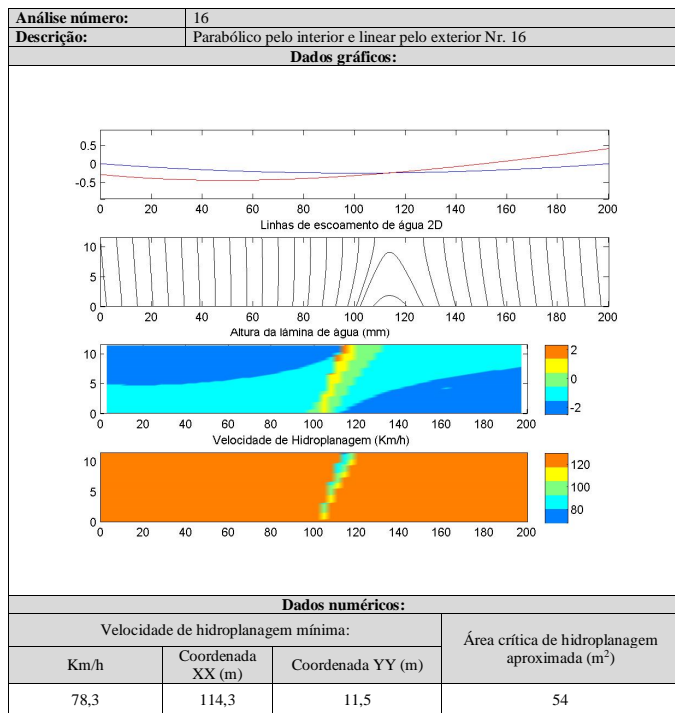
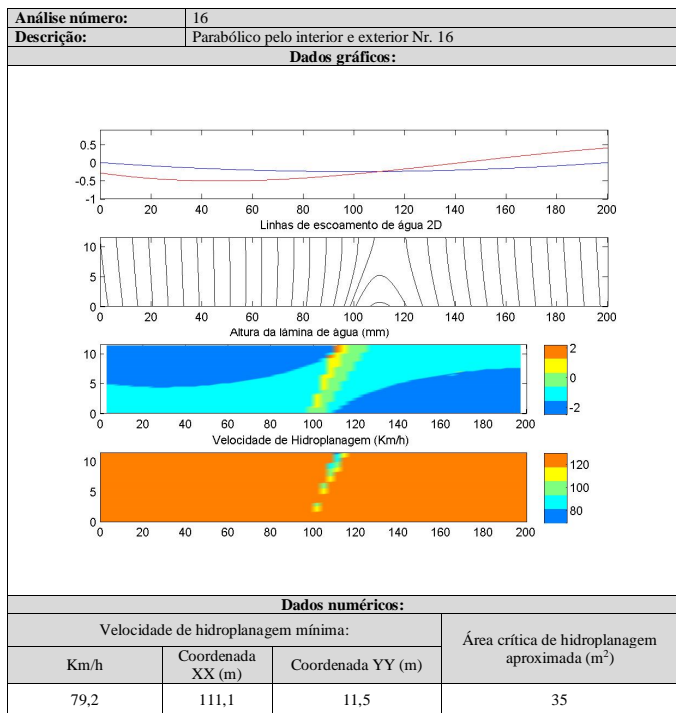
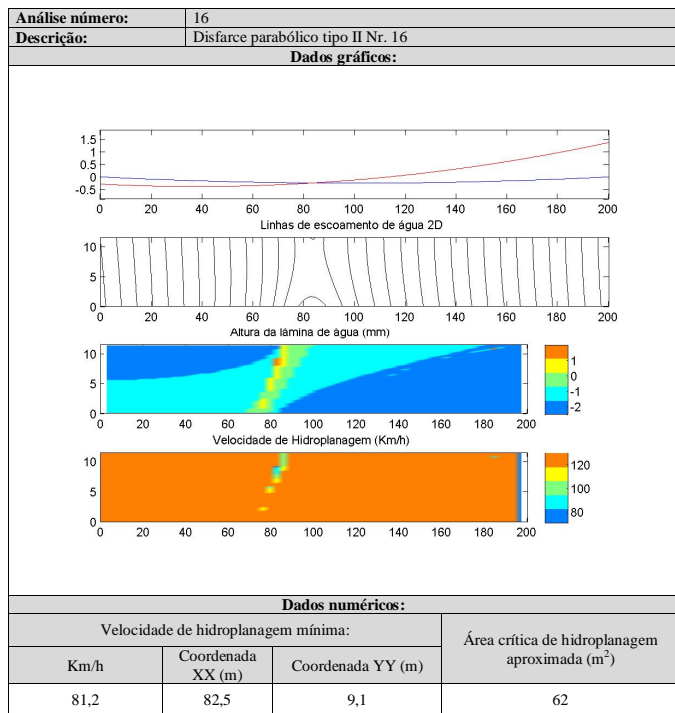
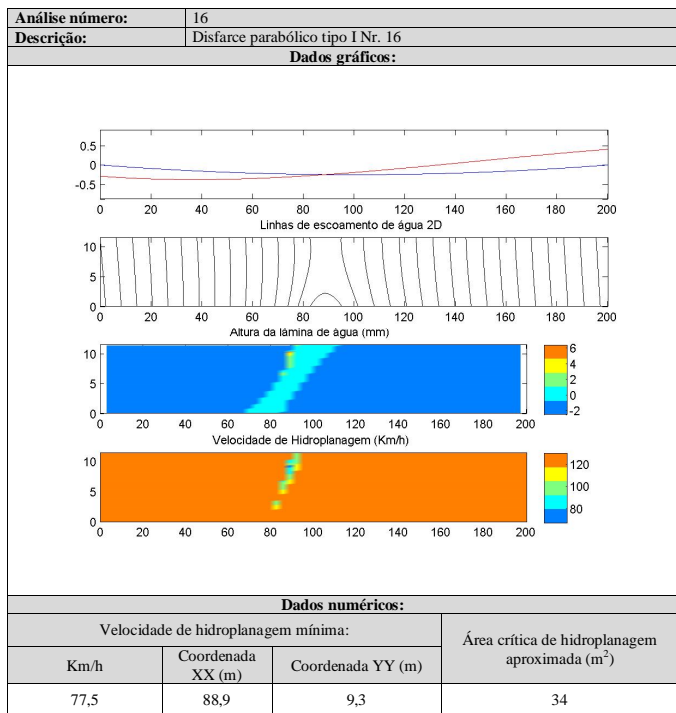
A4.15 - Análise de dados 15:



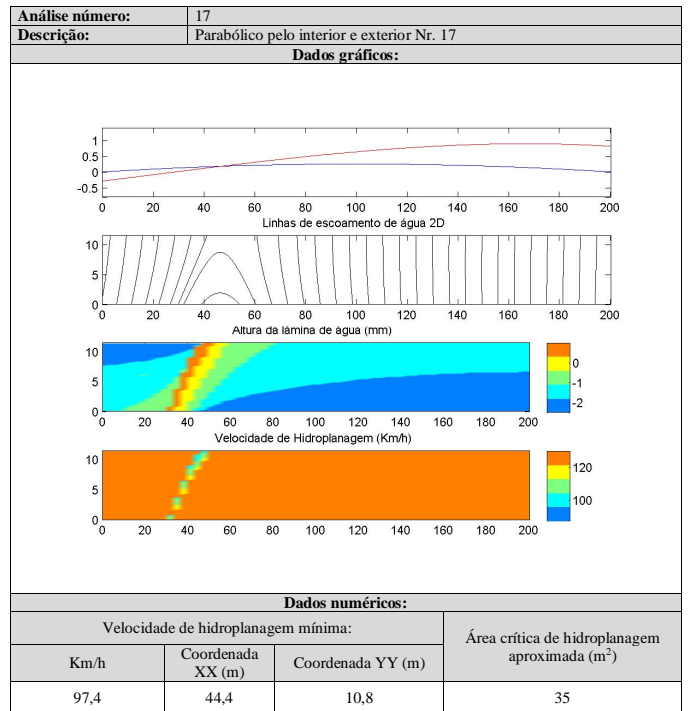
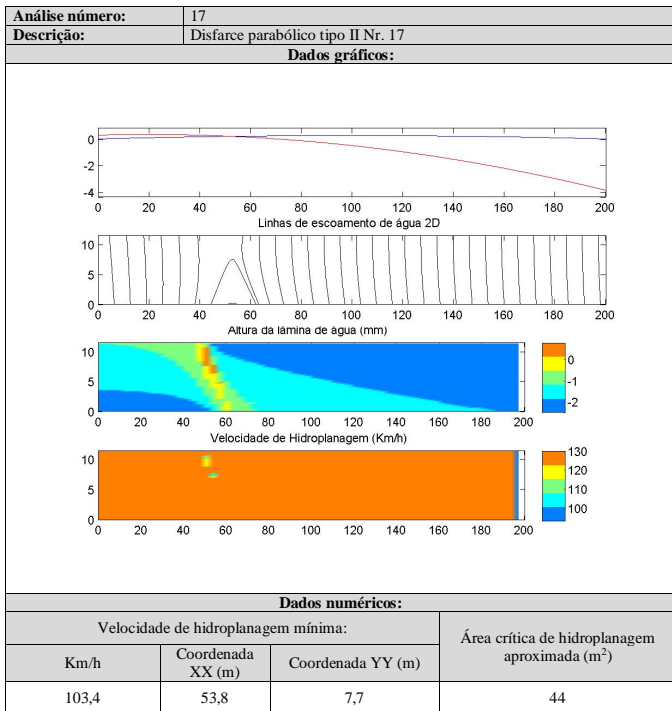
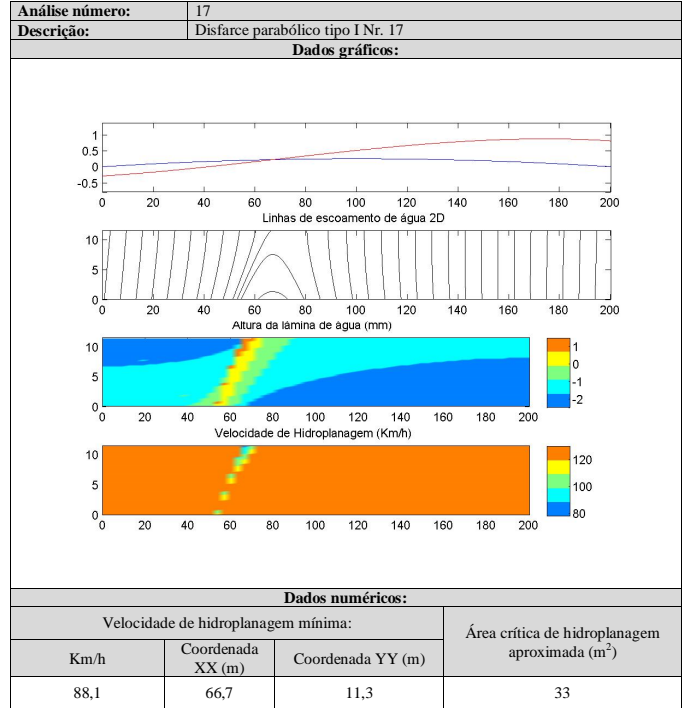
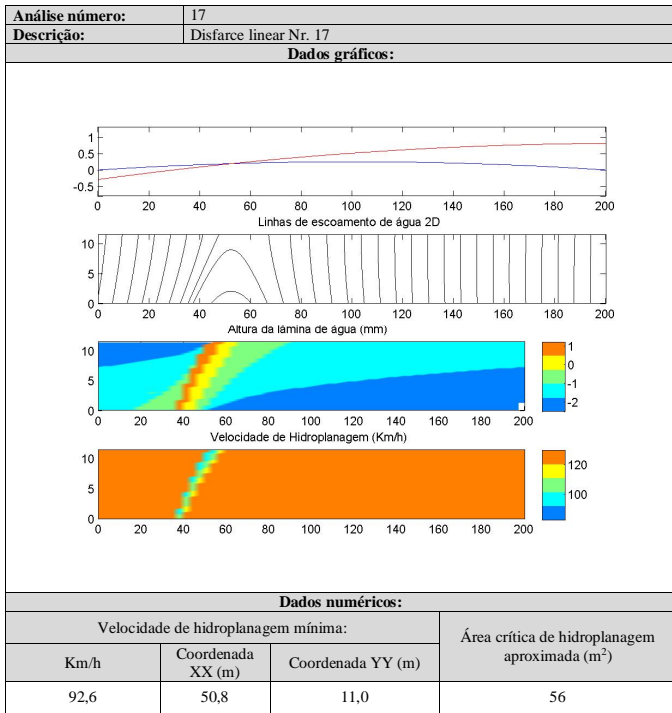


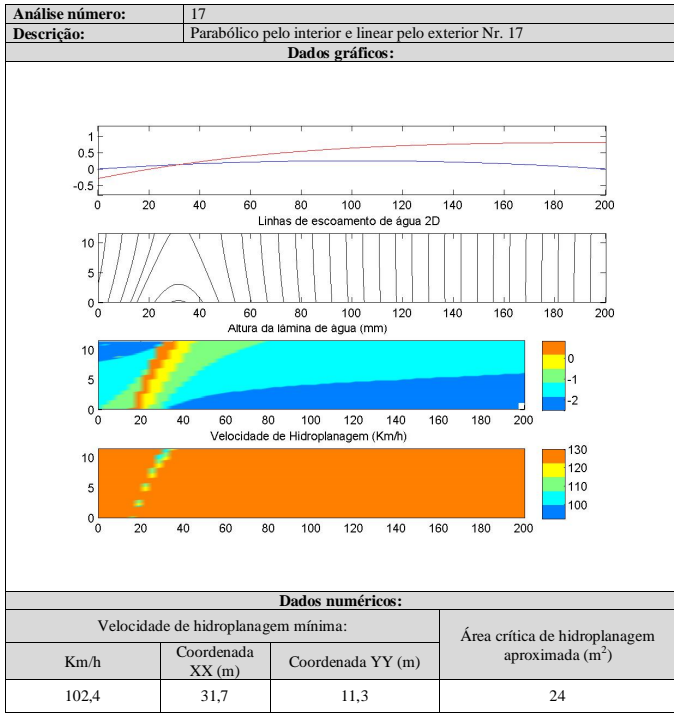
A4.16 - Análise de dados 16:



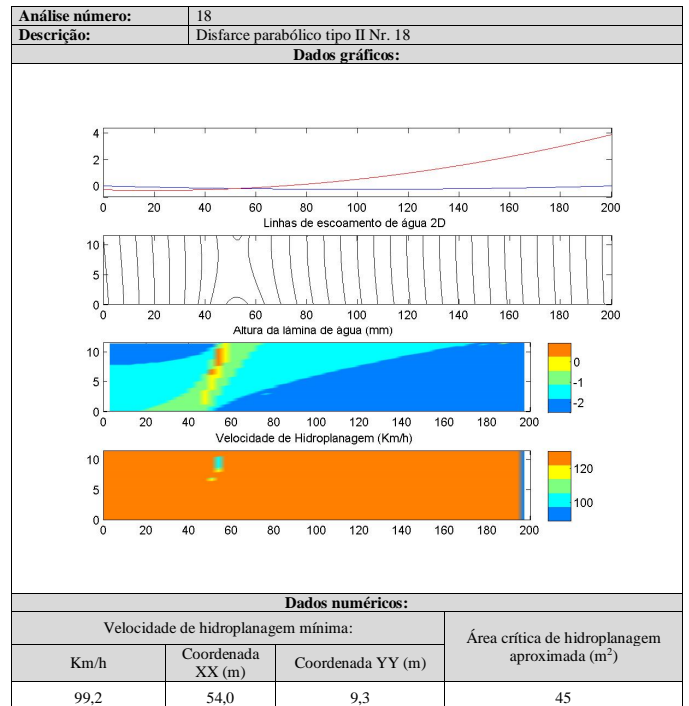
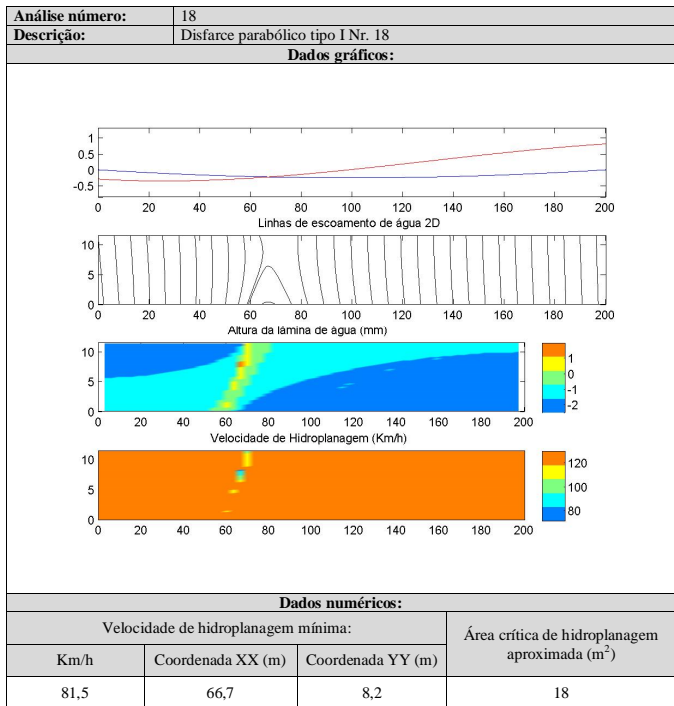
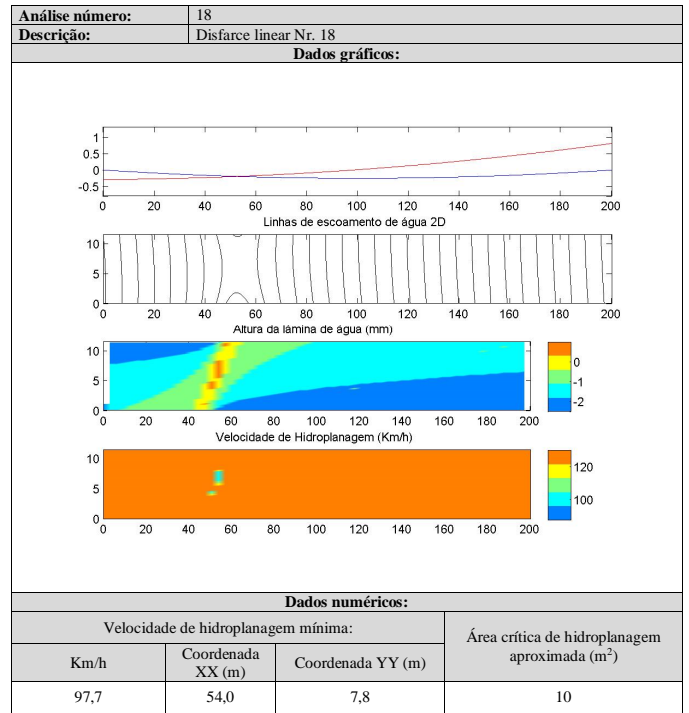


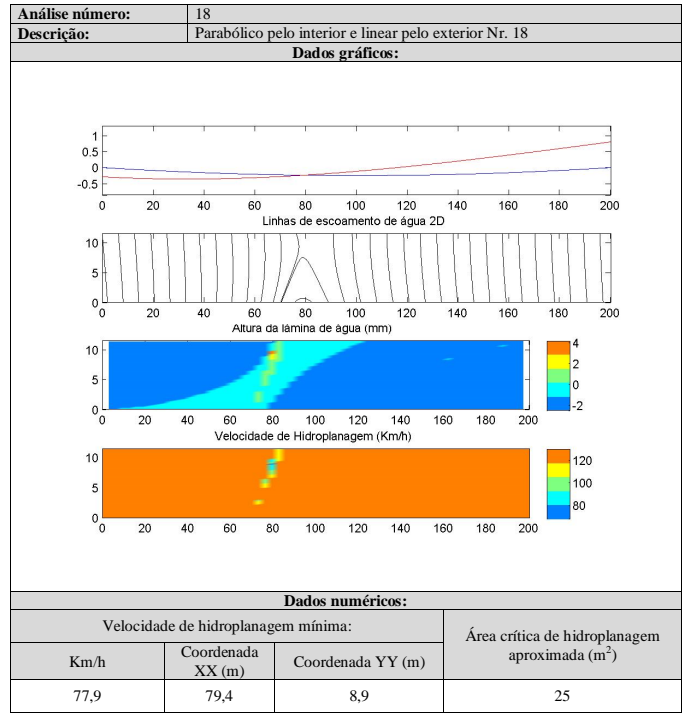
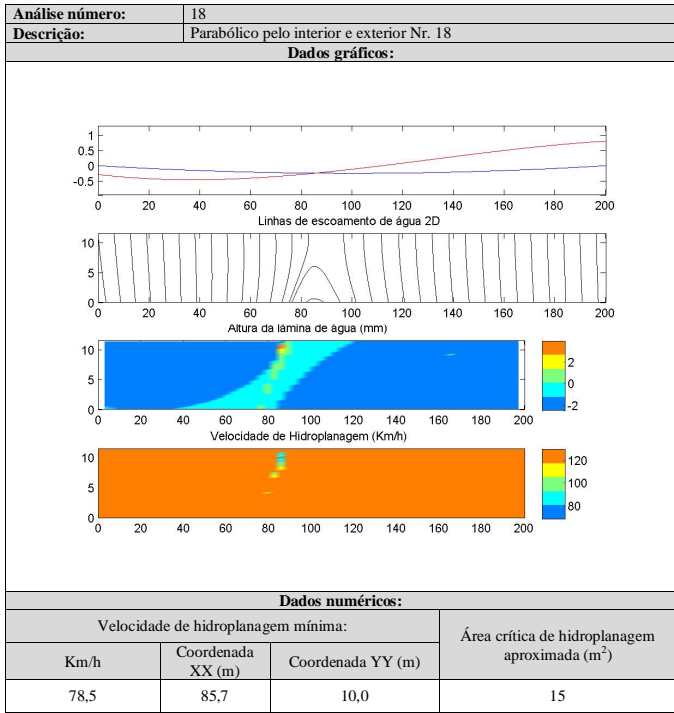
A4.17 - Análise de dados 17:



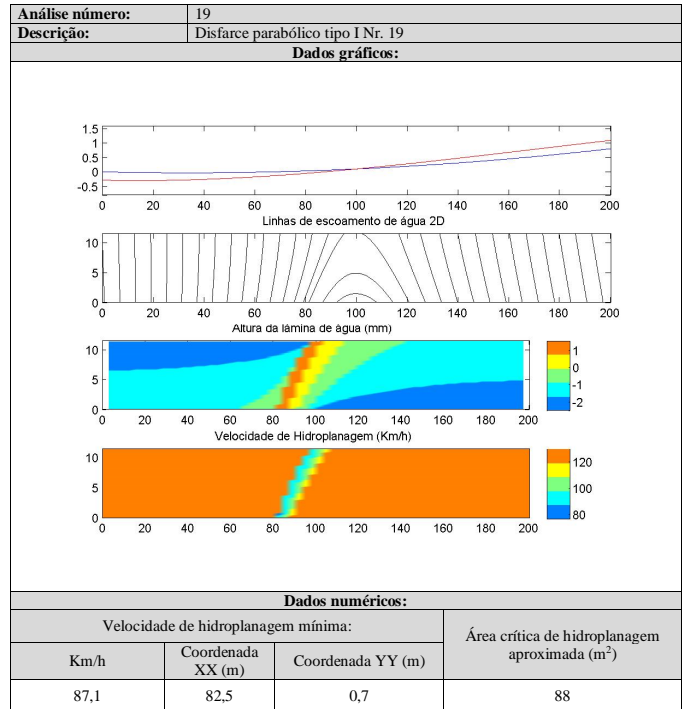
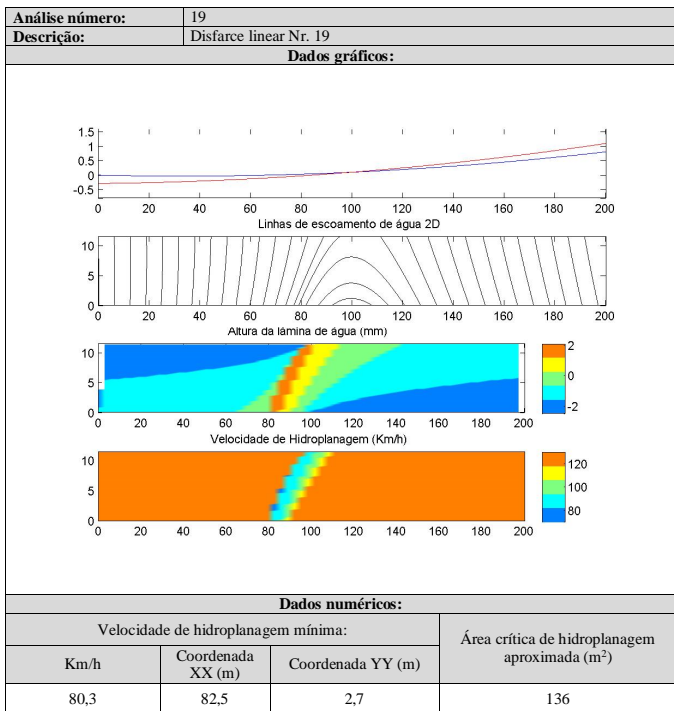


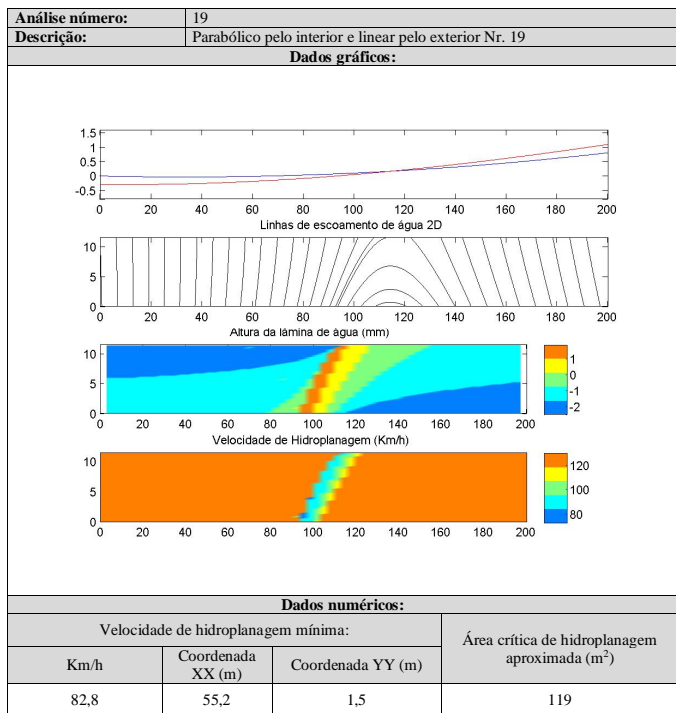
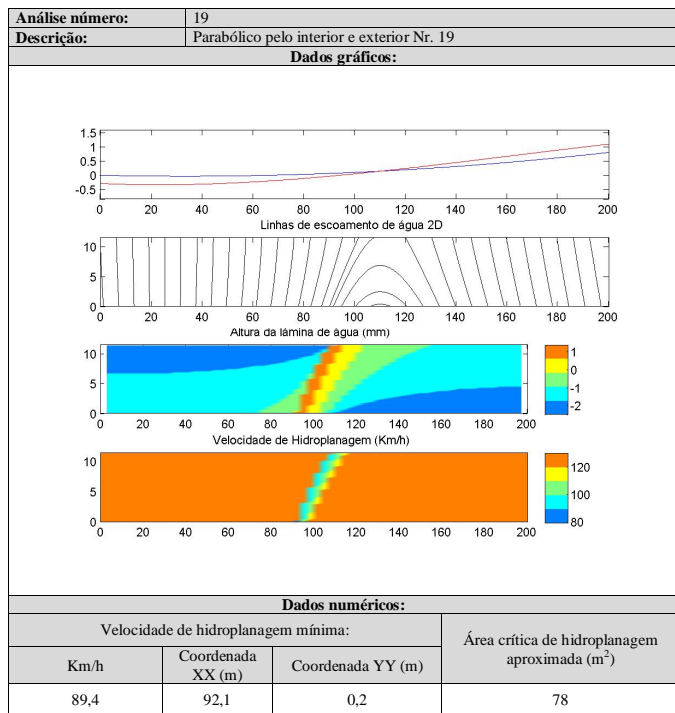
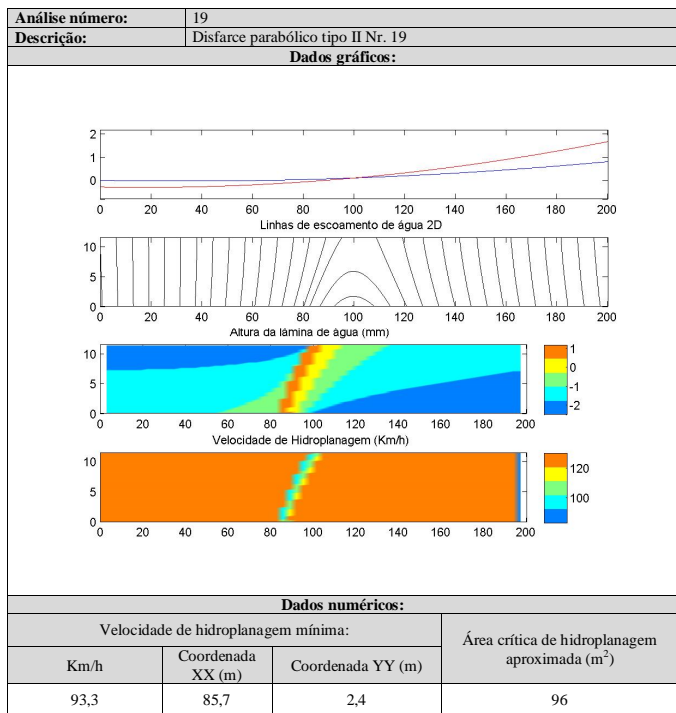
A4.18 - Análise de dados 18:



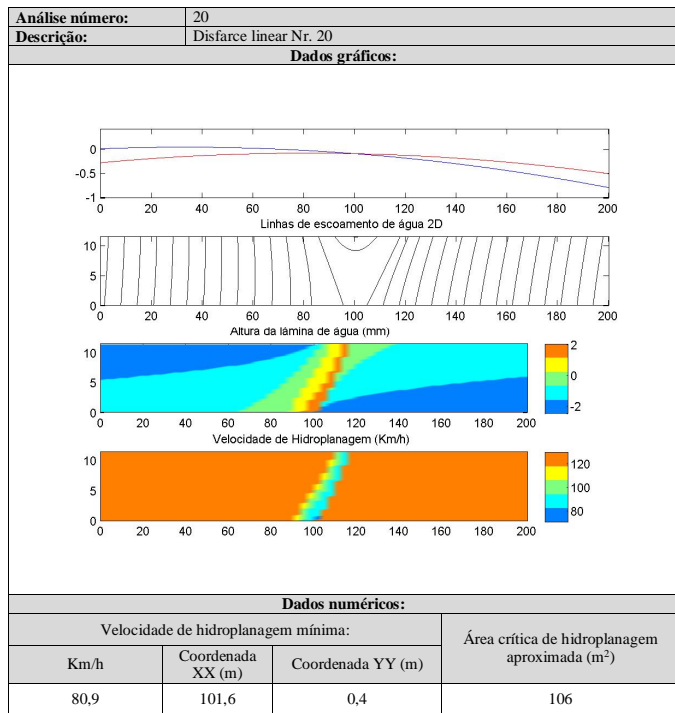


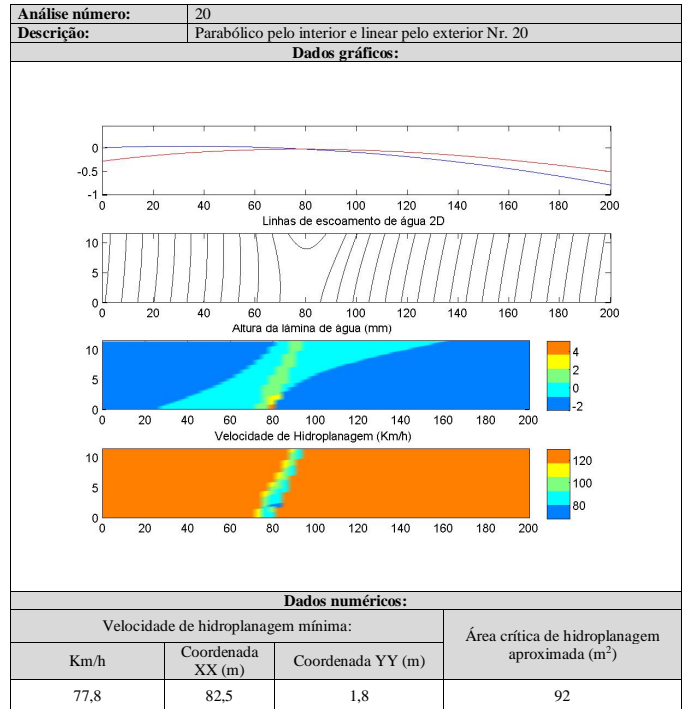
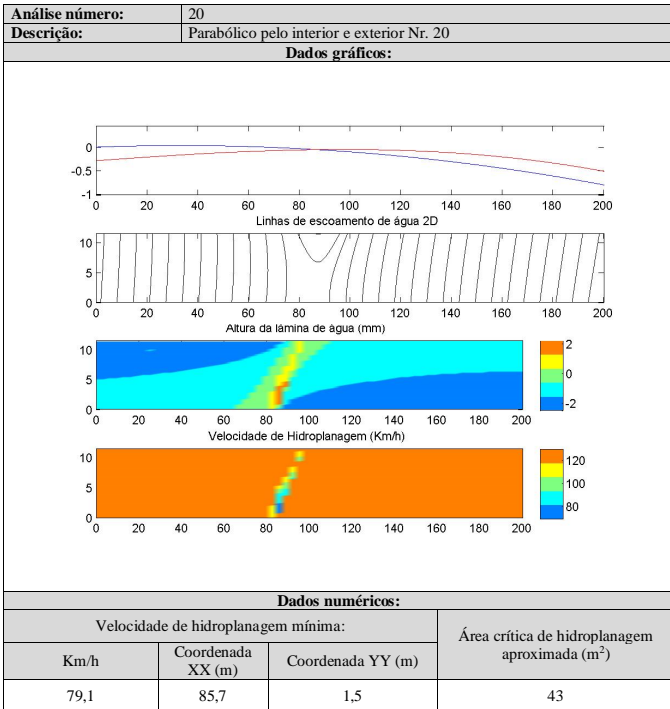
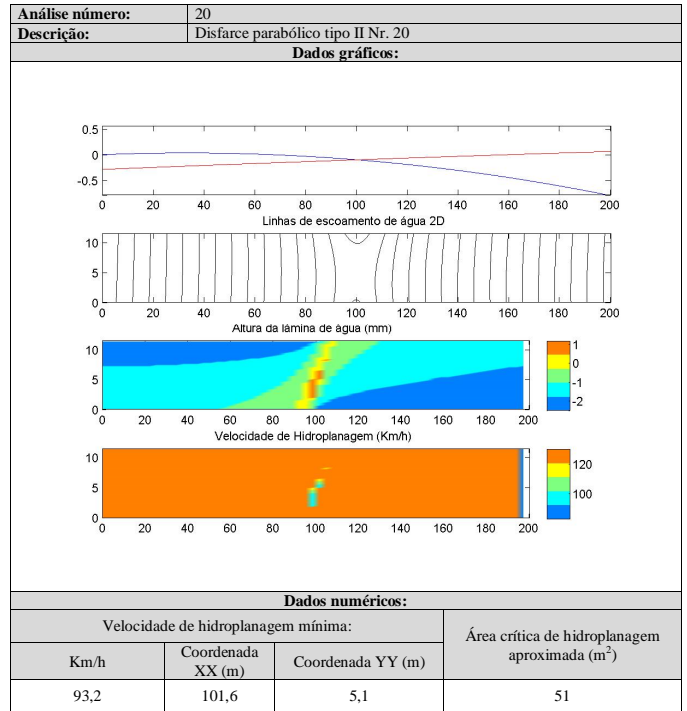
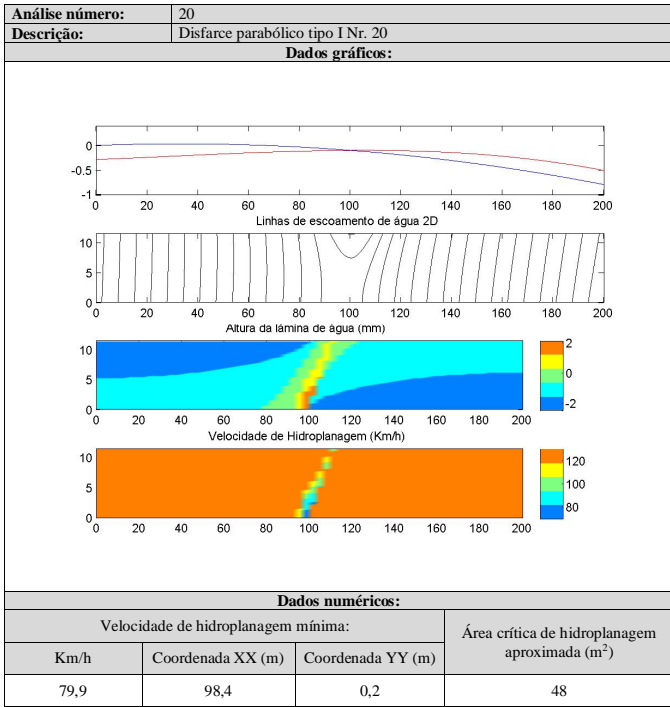
A4.19 - Análise de dados 19:



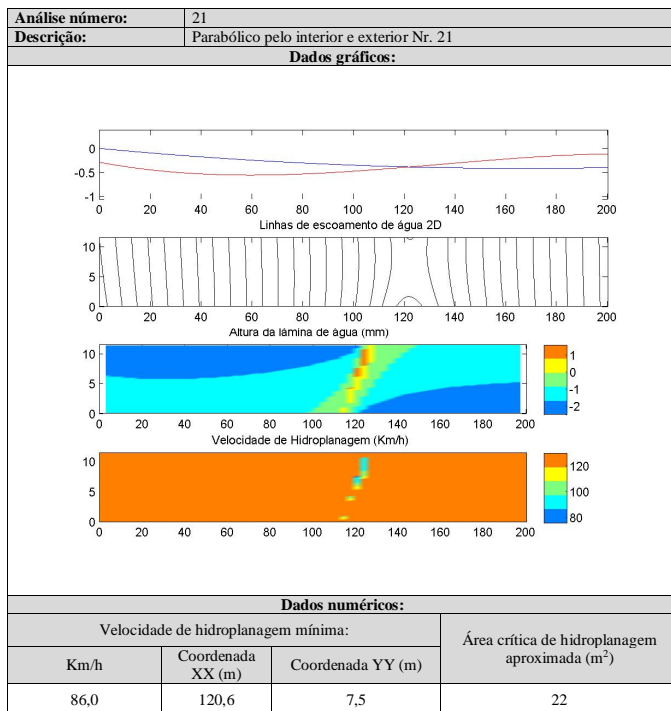
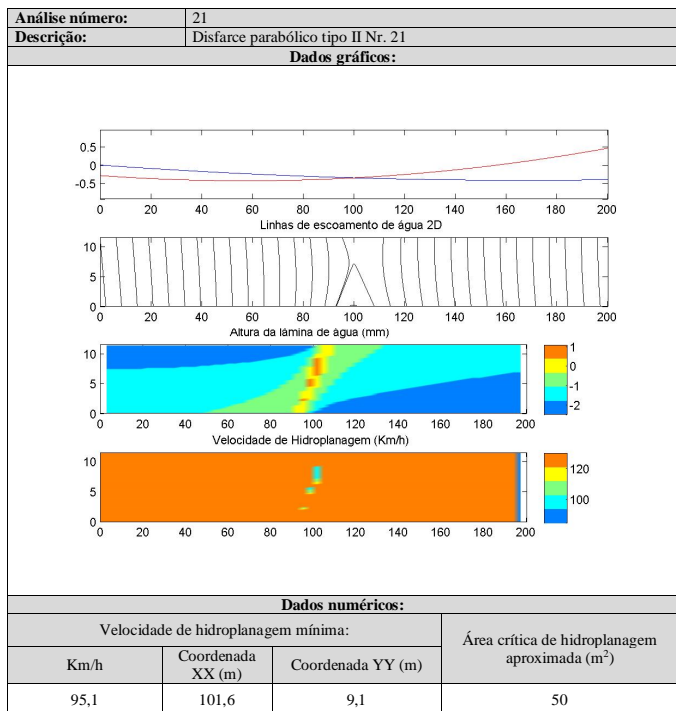
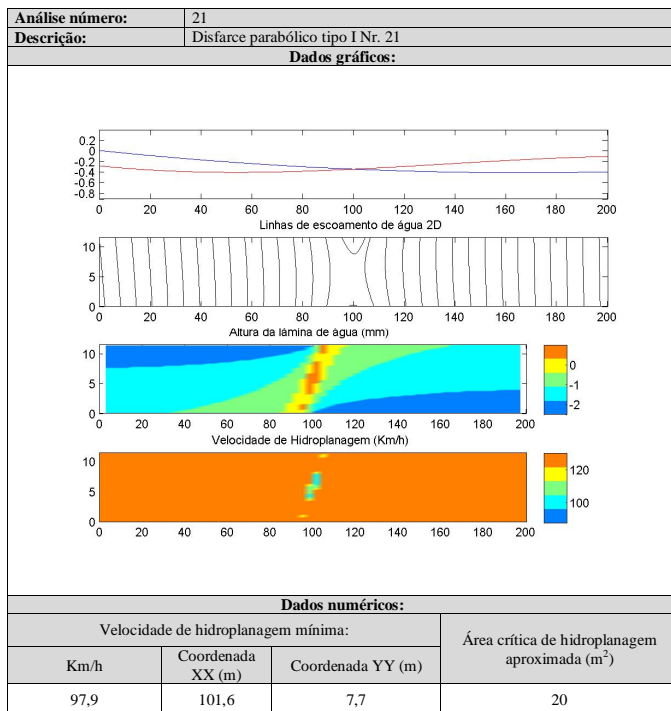
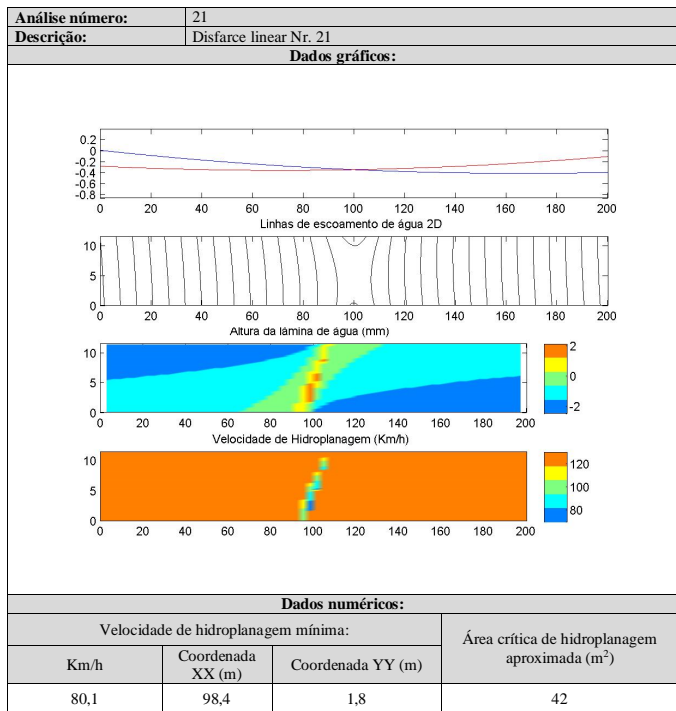


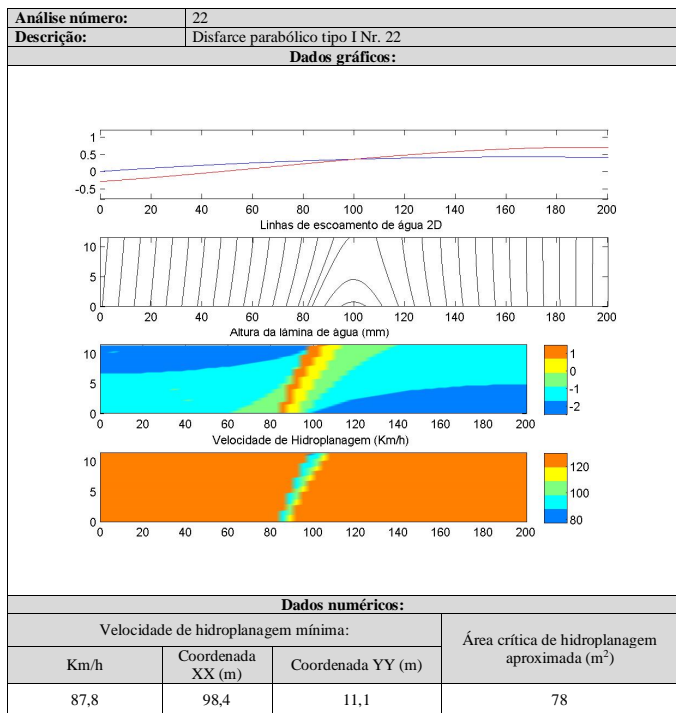
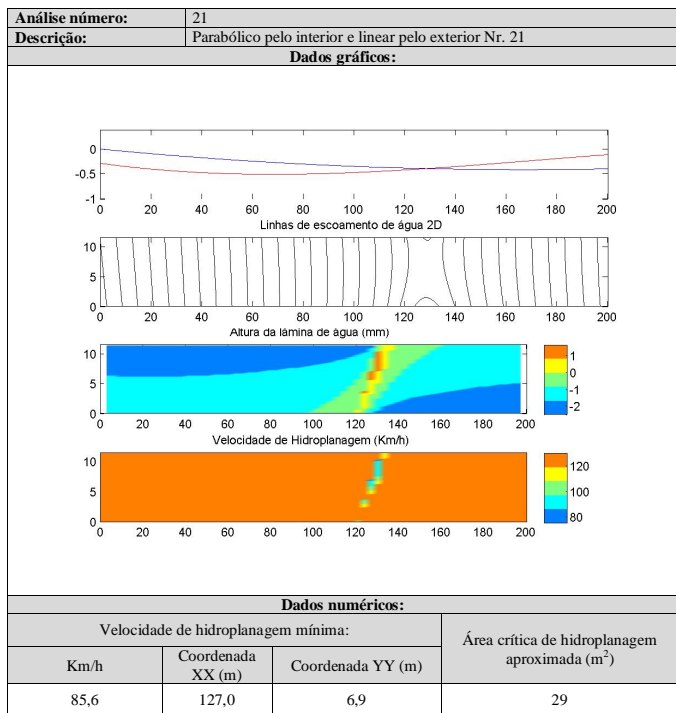
A4.20 - Análise de dados 20:





A4.21 - Análise de dados 21:





A4.22 - Análise de dados 22:

