

# Fundamentos de Dinâmica Veicular

## Capítulo 6

### Princípio de Carrocerias Aerodinâmicas

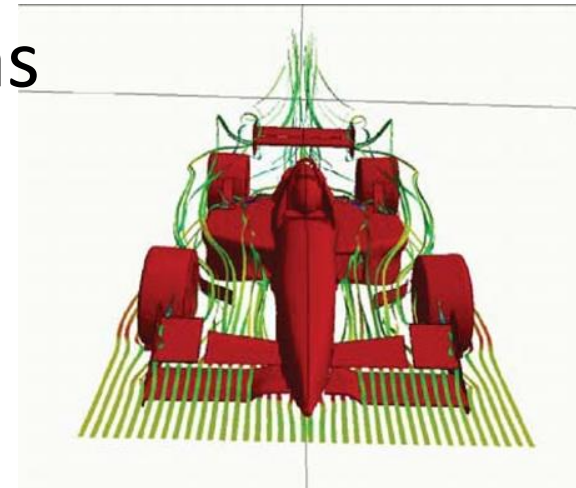

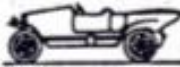













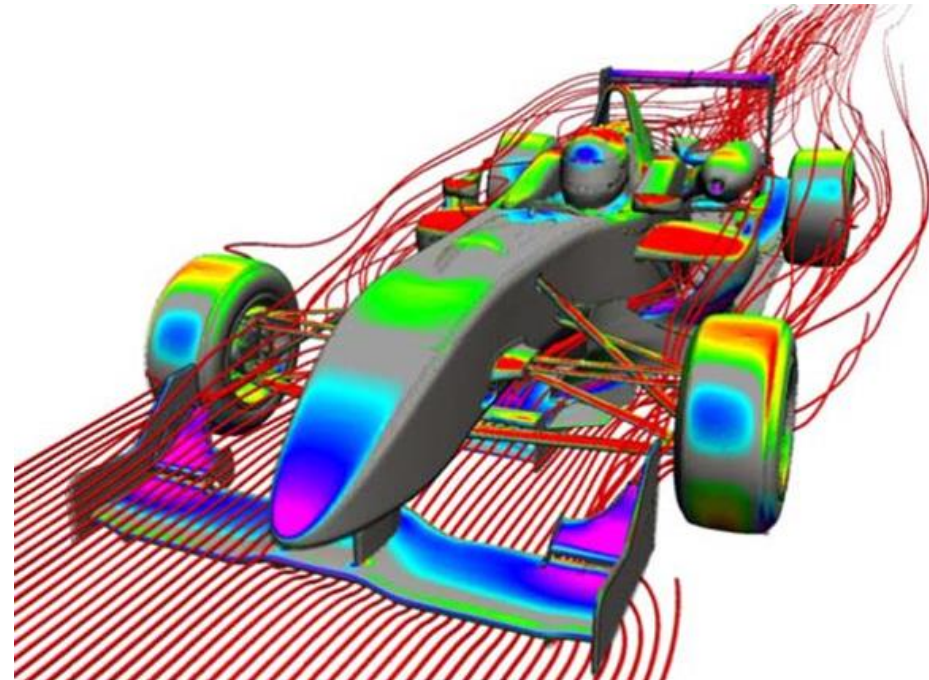
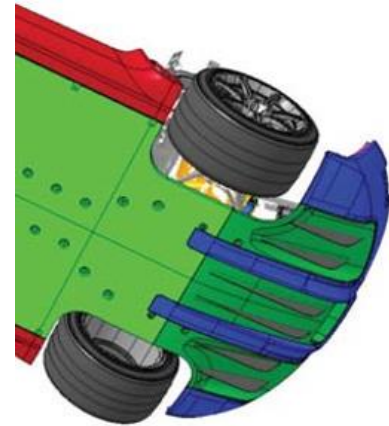
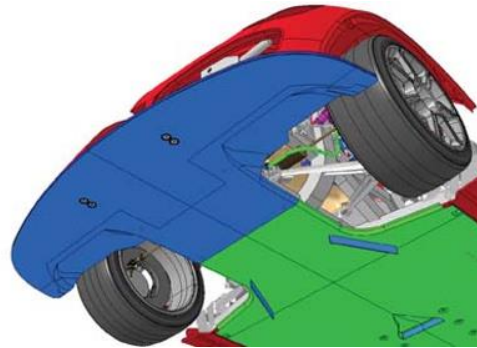


TABELA 1.1 - EVOLUÇÃO DAS FORMAS AERODINÂMICAS, fonte: Ref[2]

Formas básicas	1900 a 1925	 Torpedo	 Boat tail	 Air ship
Formas aerodinâmicas	1921 a 1923	 Rumpler	 Bugatti	
	1922 a 1939	 Jaray		
	1922 a 1939	 Kamm	 Schlör	
	Desde 1955	 Citroën	 NSU-Ro 80	
	Otimização de detalhes	Desde 1974	 VW-Scirocco I	 VW-Golf I
Otimização da forma	Desde 1983	 Audi 100 III	 Ford Sierra	





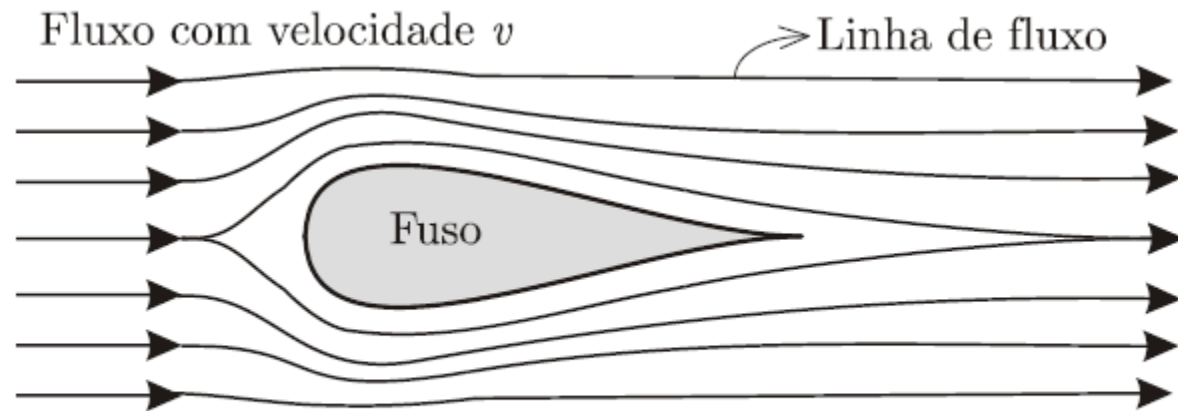


Figura 7.1: Fusô aerodinâmico.

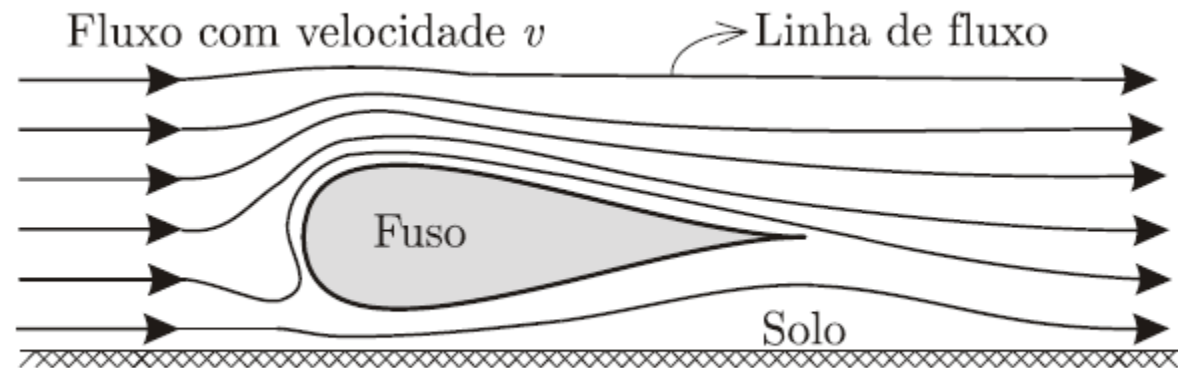


Figura 7.2: Efeito do solo no escoamento do ar sobre um fusô.

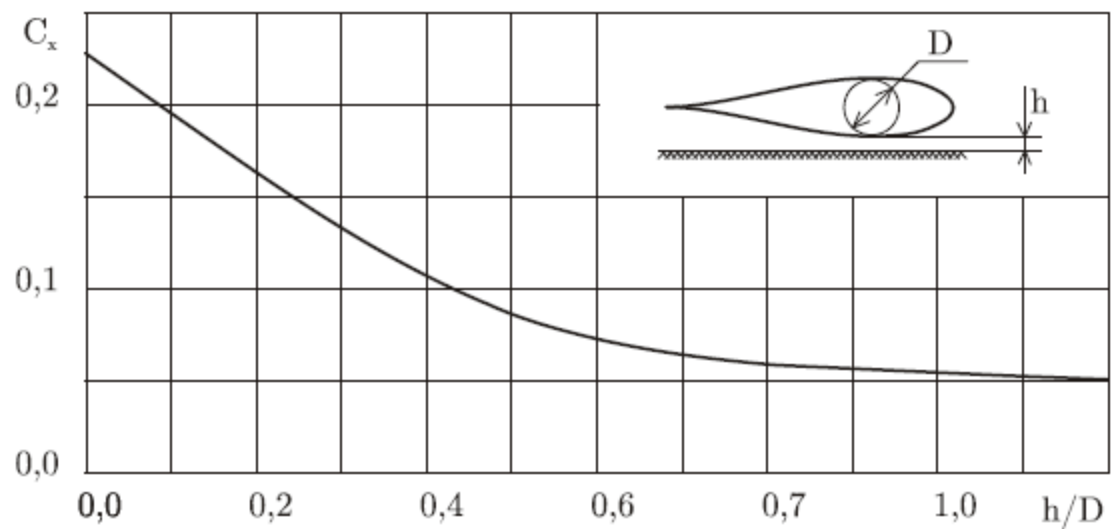


Figura 7.3: Efeito da proximidade do solo no  $C_x$  de um fusô.

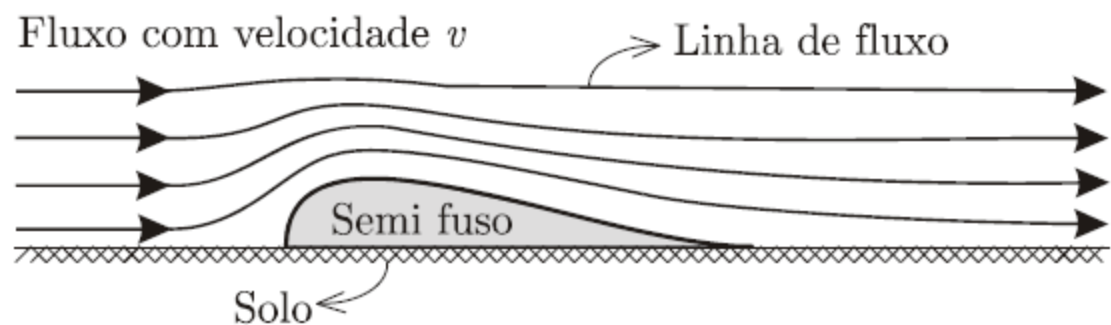


Figura 7.4: Semi fusô, com fluxo simétrico imaginário.

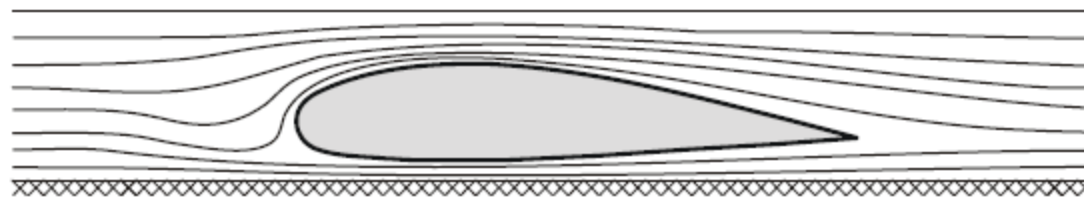


Figura 7.5: Fusão assimétrico.

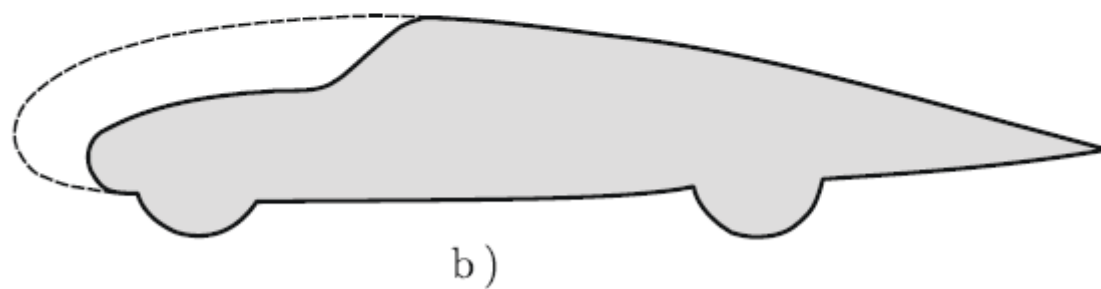
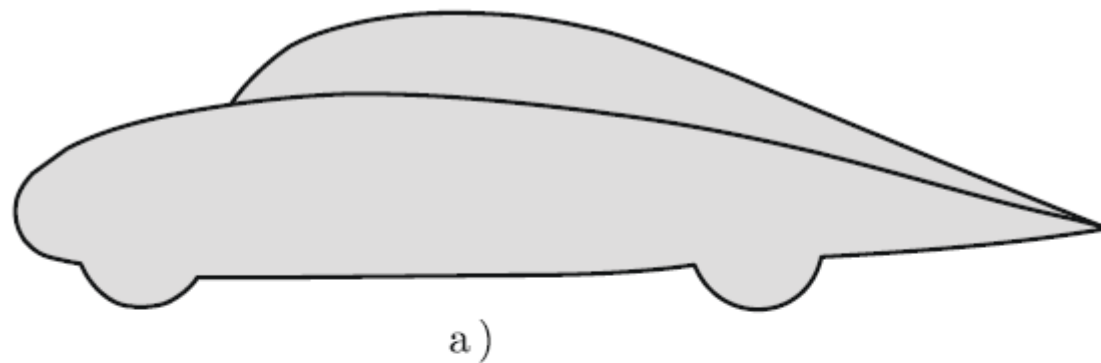


Figura 7.6: Formas de Jaray e maneira de obté-las.



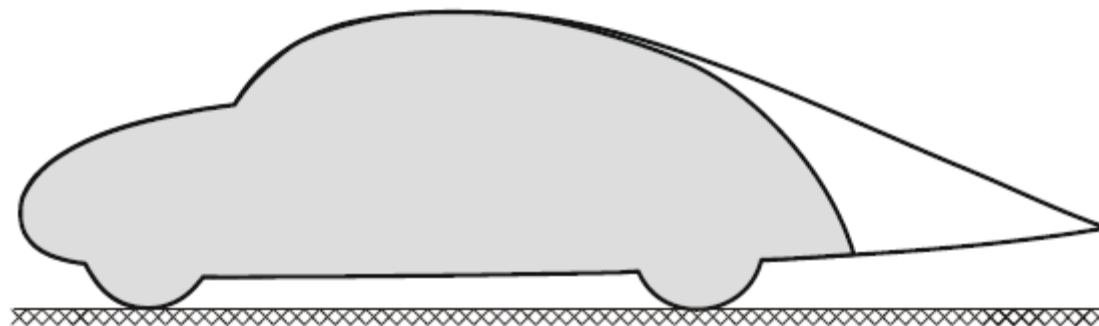


Figura 7.7: Forma de Jaray modificada.

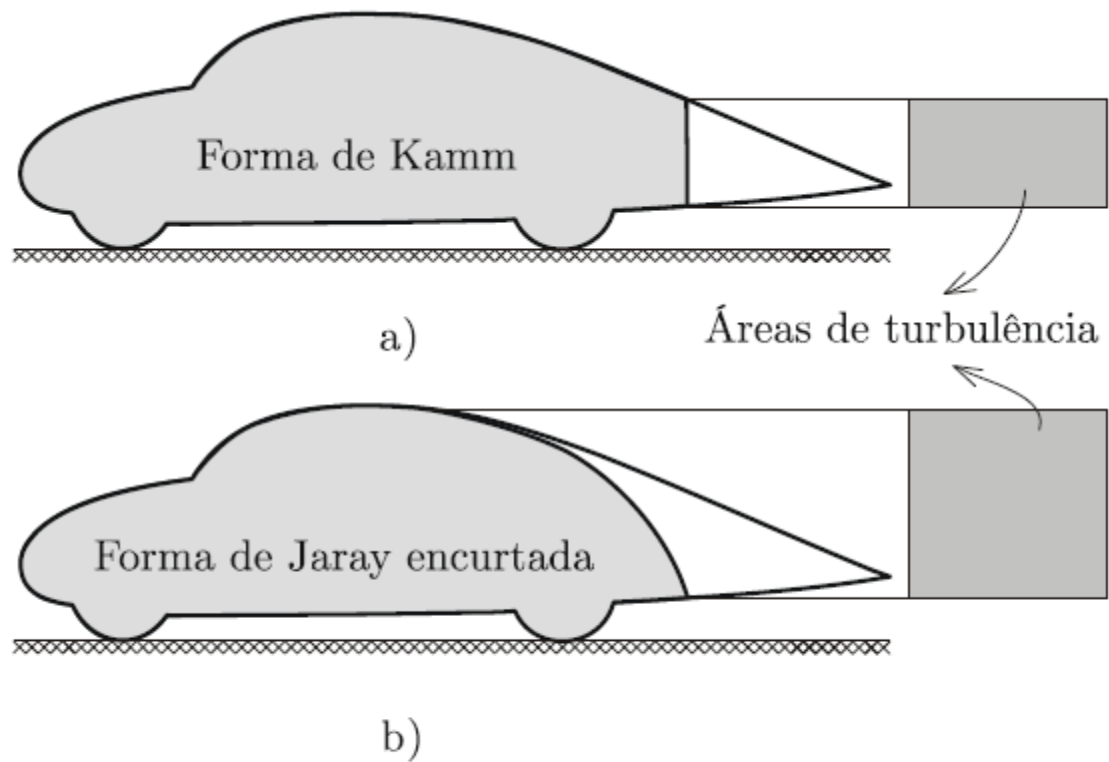


Figura 7.8: Área de turbulência para as formas de Kamm e Jaray encurtada.

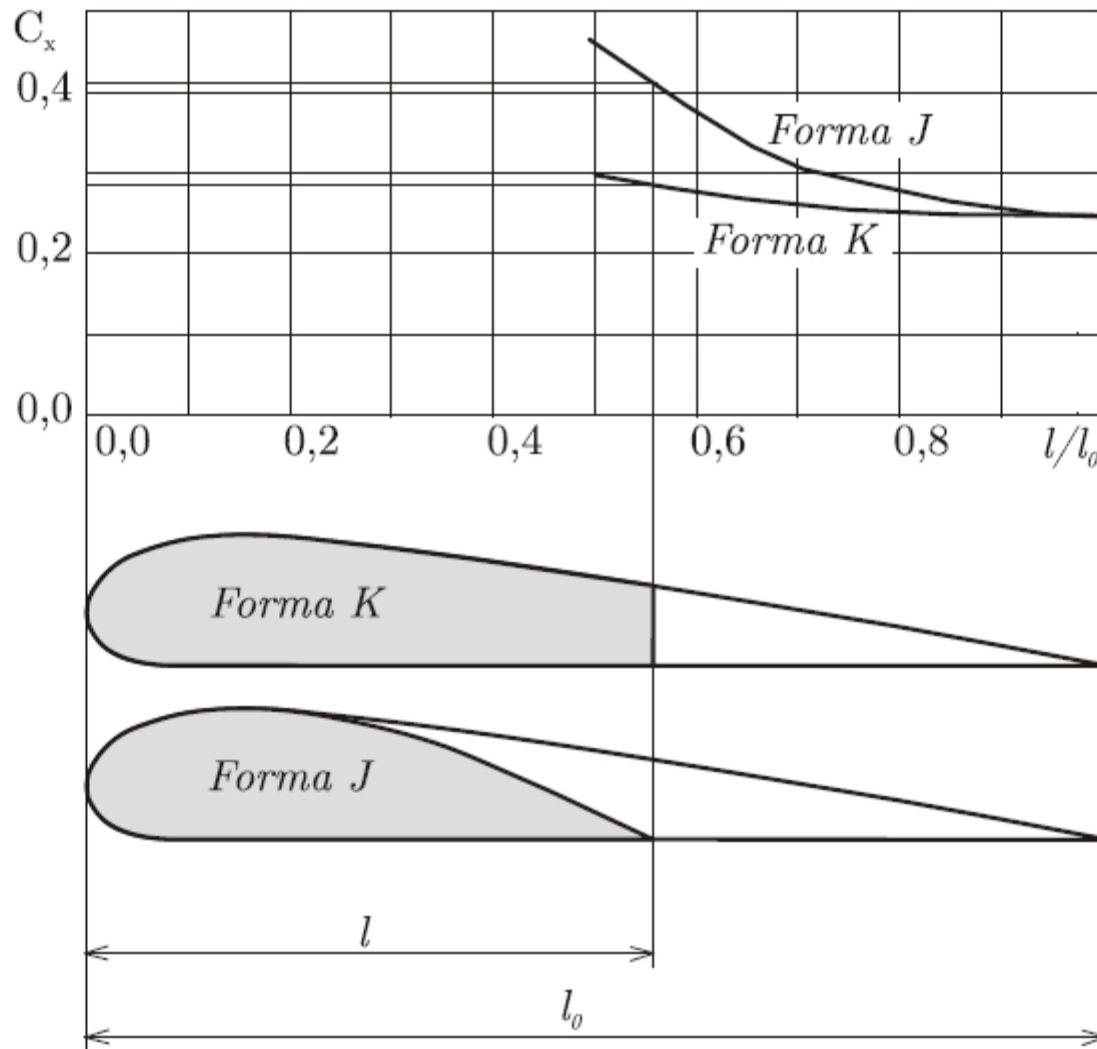


Figura 7.9: Comparação do  $C_x$  entre as formas J e K, para diferentes comprimentos.

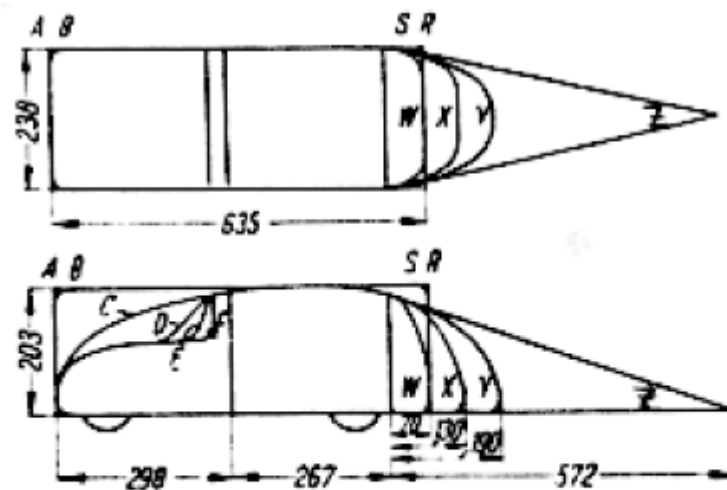


Figura 7.10: Modelo usado por Lay em seus estudos.

Tabela 7.1: Estudo de Lay.

		Traseira			
		W	X	Y	Z
Frente do modelo	F	0,35	0,35	0,32	0,24
	E	0,32	0,26	0,25	0,17
	D	0,30	0,23	0,21	0,12
	C	0,30	0,24	0,20	0,12

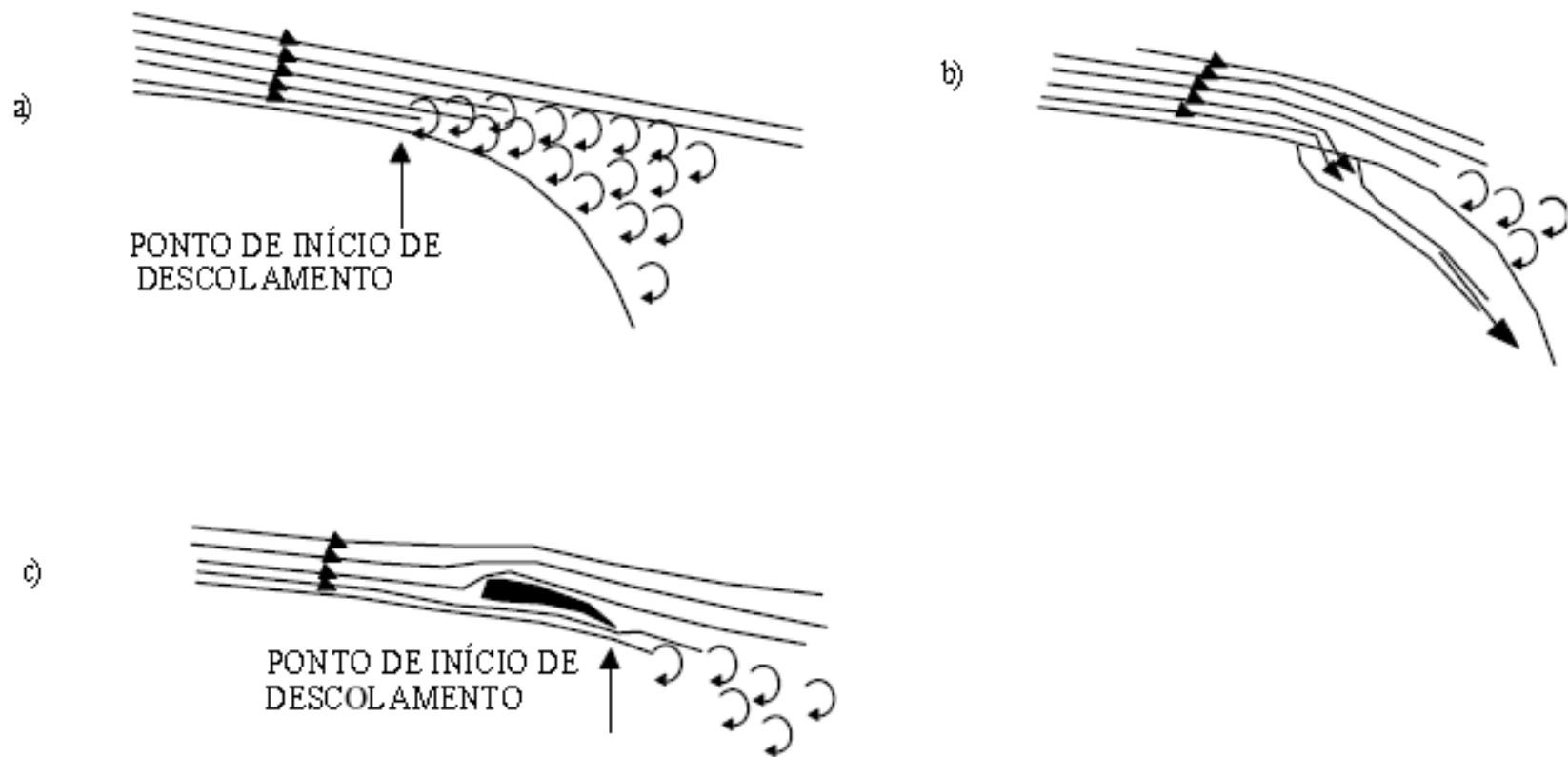


Figura 7.11: Meios de reduzir a resistência do ar.

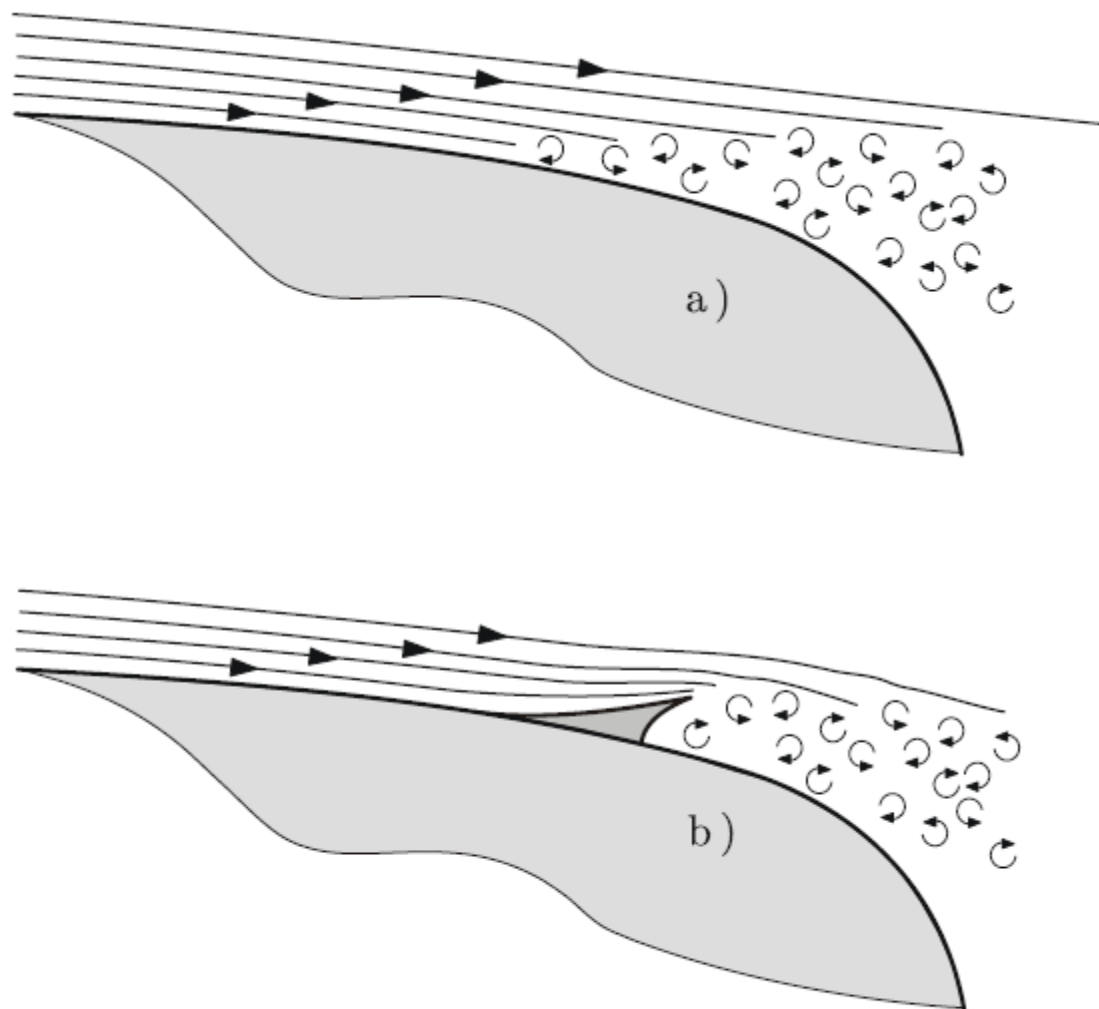


Figura 7.12: Emprego de cantos auxiliares em locais de deslocamento da camada limite.

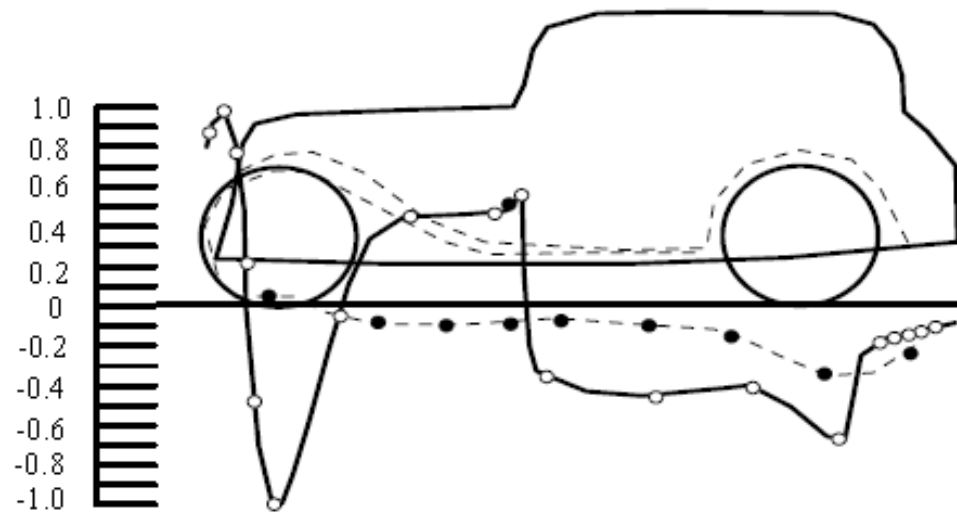


Figura 7.13: Distribuição de pressão resultantes em um veículo de concepção antiga.

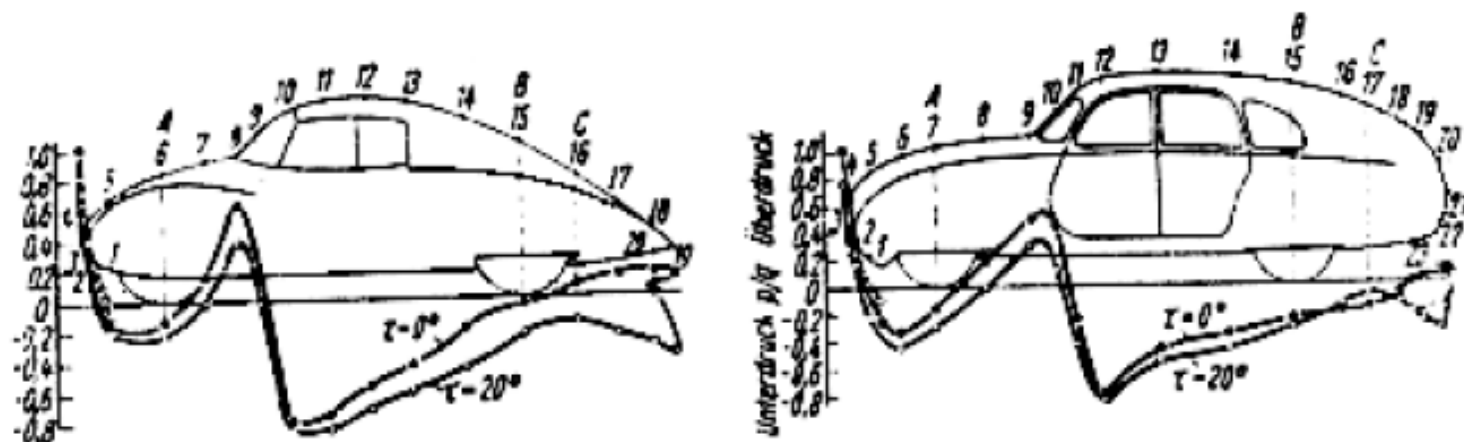


Figura 7.14: Distribuição de pressão nas formas de Jaray e de Kamm.

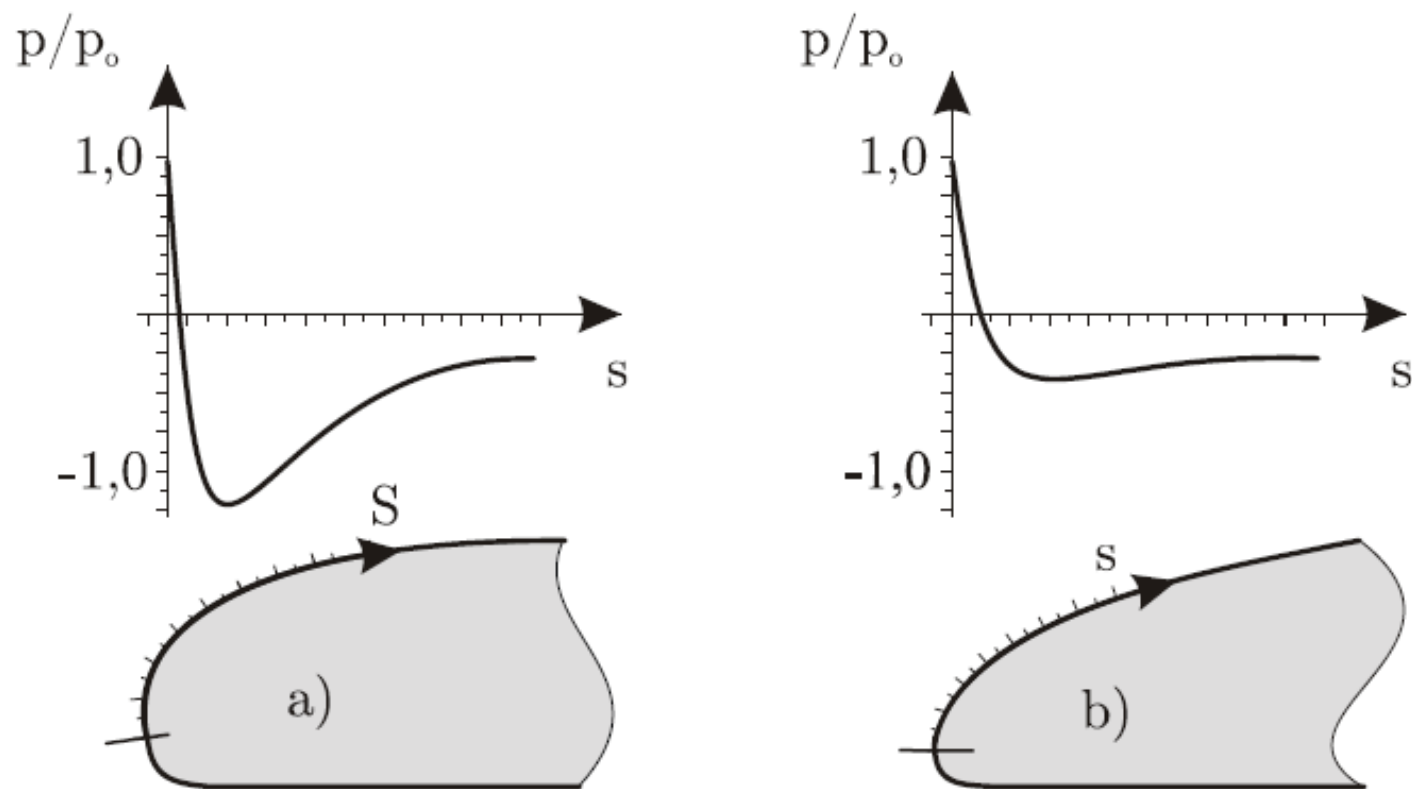


Figura 7.15: Comparação da distribuição de pressão em dois tipos de frente.



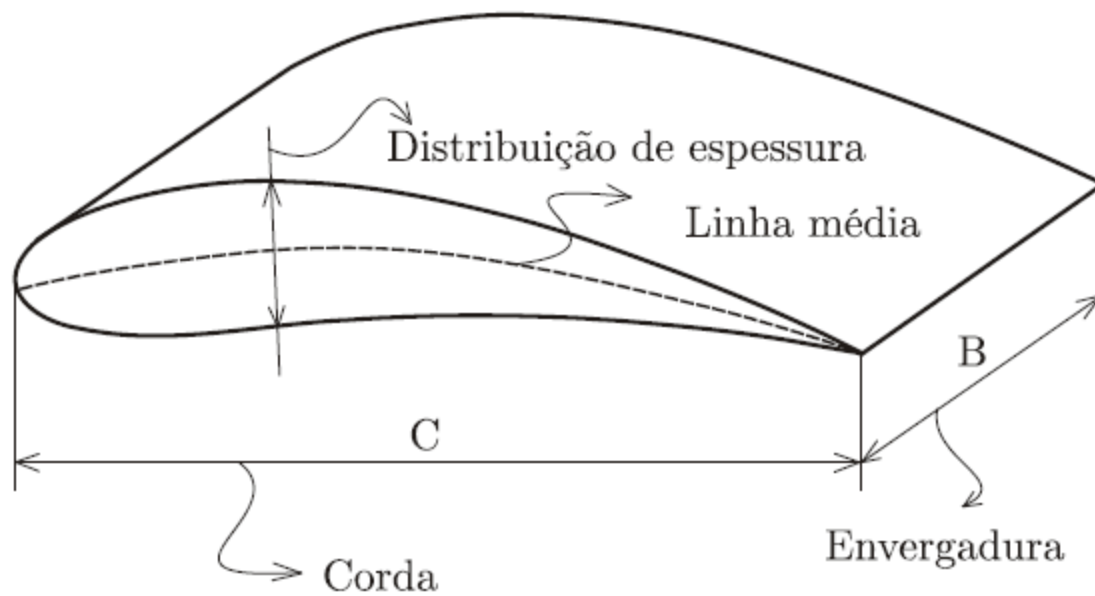


Figura 7.16: Características básicas de um aerofólio.

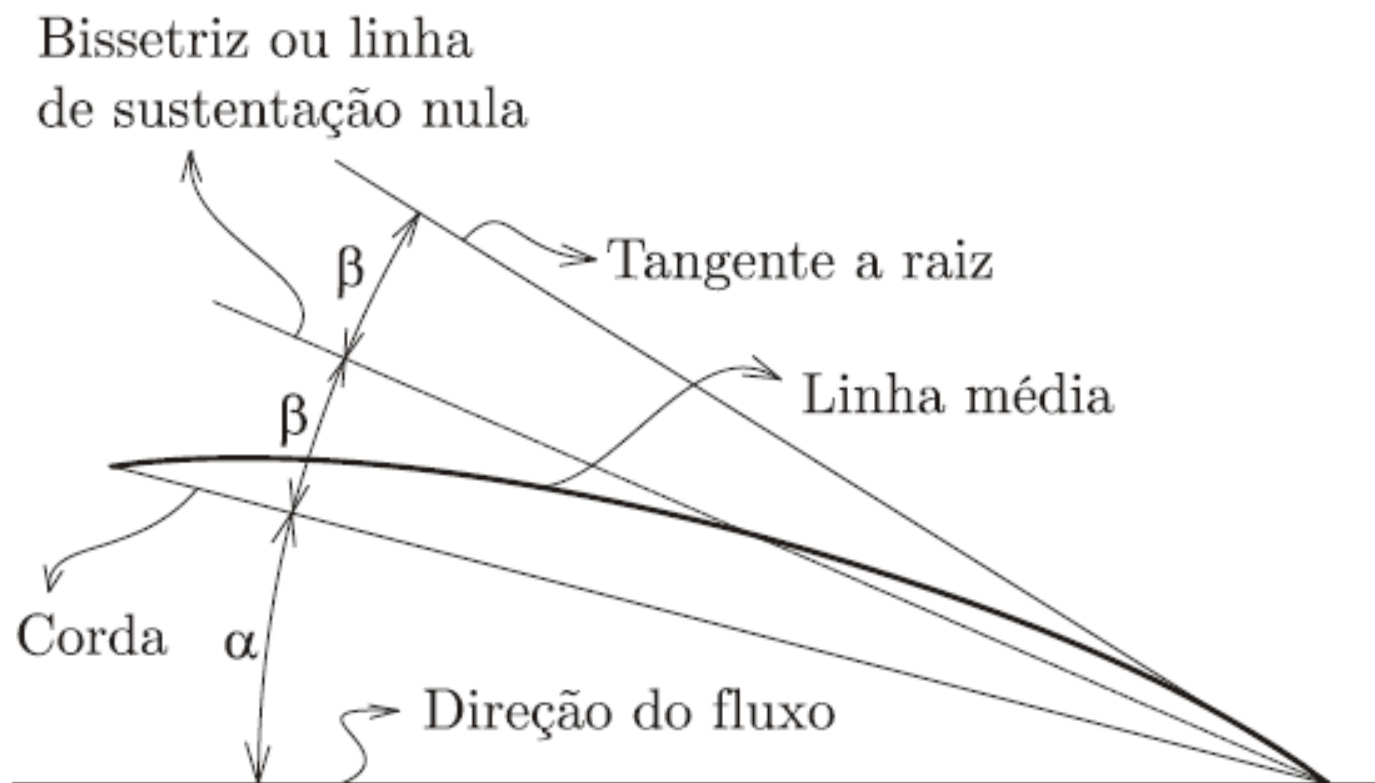


Figura 7.17: Geometria de um aerofólio de arco circular.

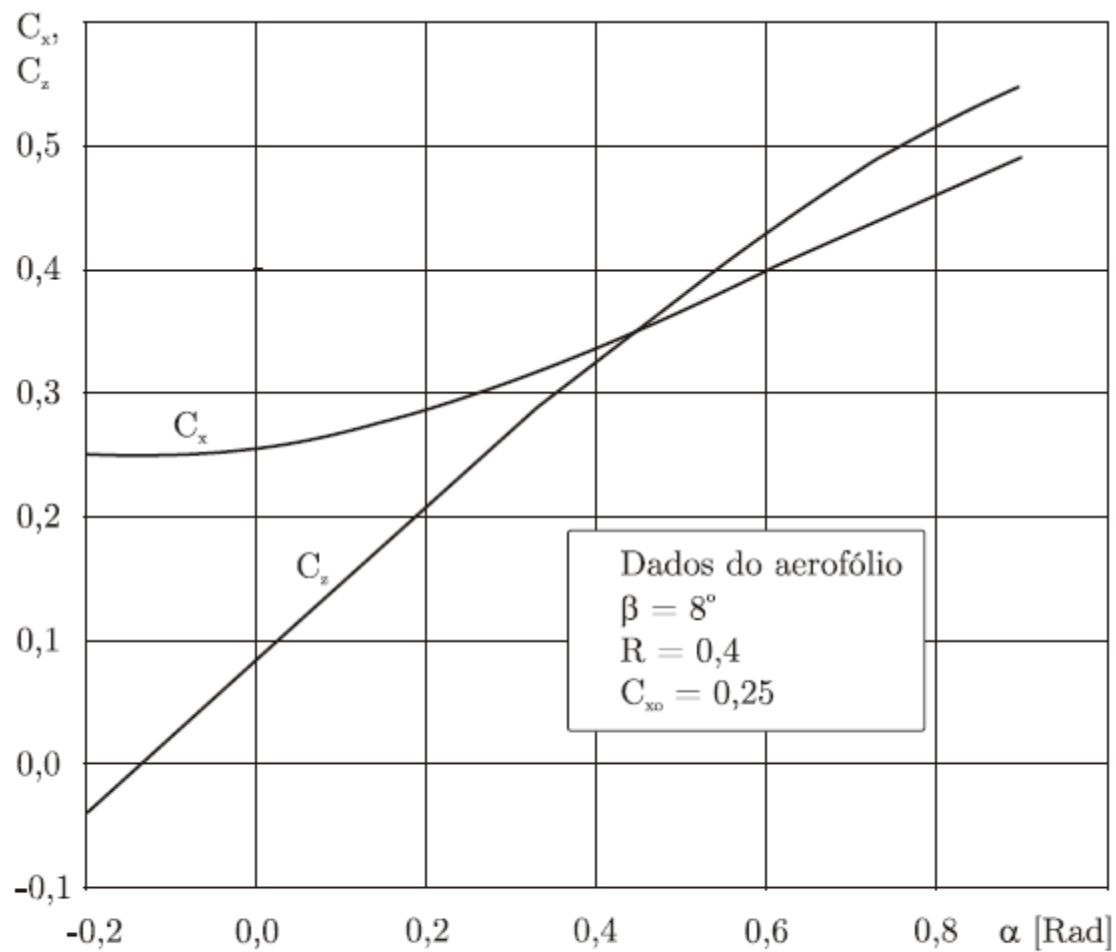


Figura 7.18: Variação do  $C_x$  com o  $C_z$  .

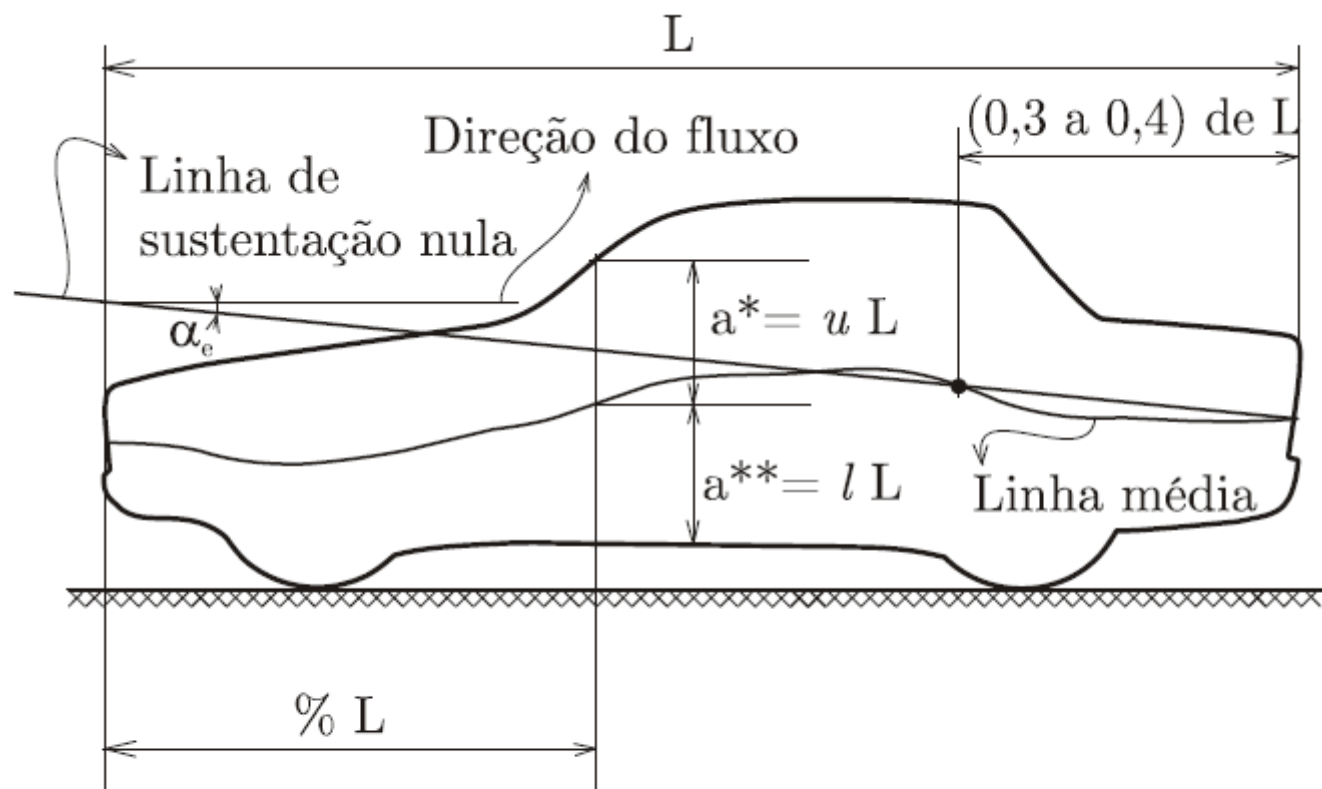


Figura 7.19: Linha média de um veículo convencional.

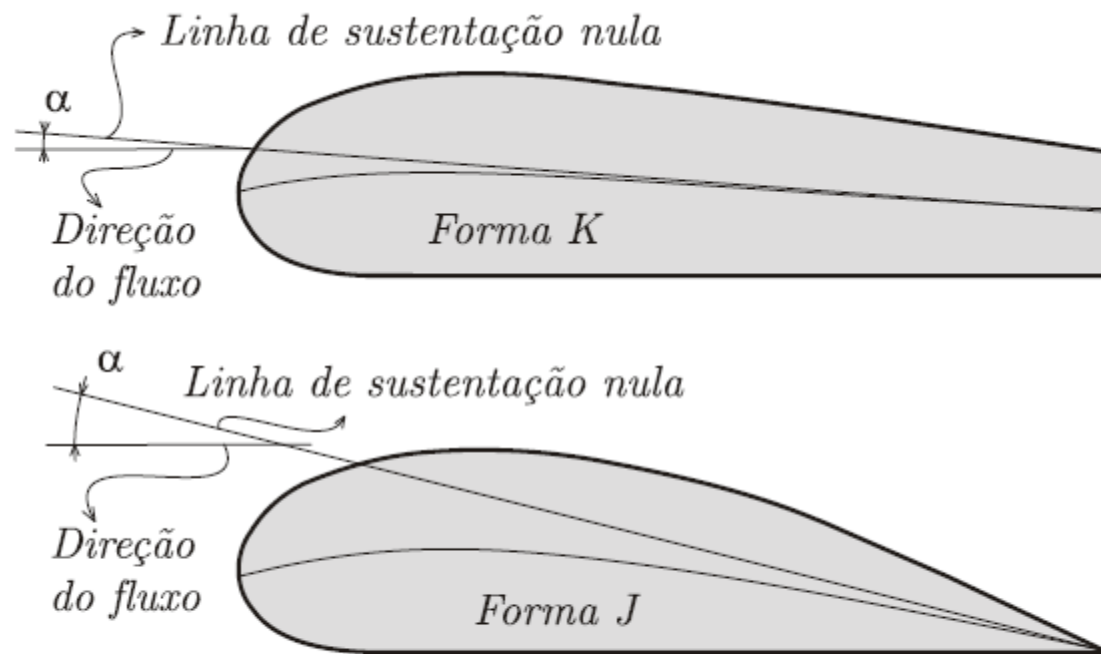


Figura 7.20: Ângulo de ataque efetivo para as formas de Jaray (J) e a de Kamm (K).

Tabela 7.2: Valores de " $\alpha$ ", para o cálculo do ângulo de ataque.

Abcissa	Constante " $\alpha$ "
0,0	1,45
0,025	2,11
0,05	1,56
0,1	2,41
0,2	2,94
0,3	2,88
0,4	3,13
0,5	3,67
0,6	4,69
0,7	6,72
0,8	11,75
0,9	21,72
0,95	99,85
1,0	-164,90

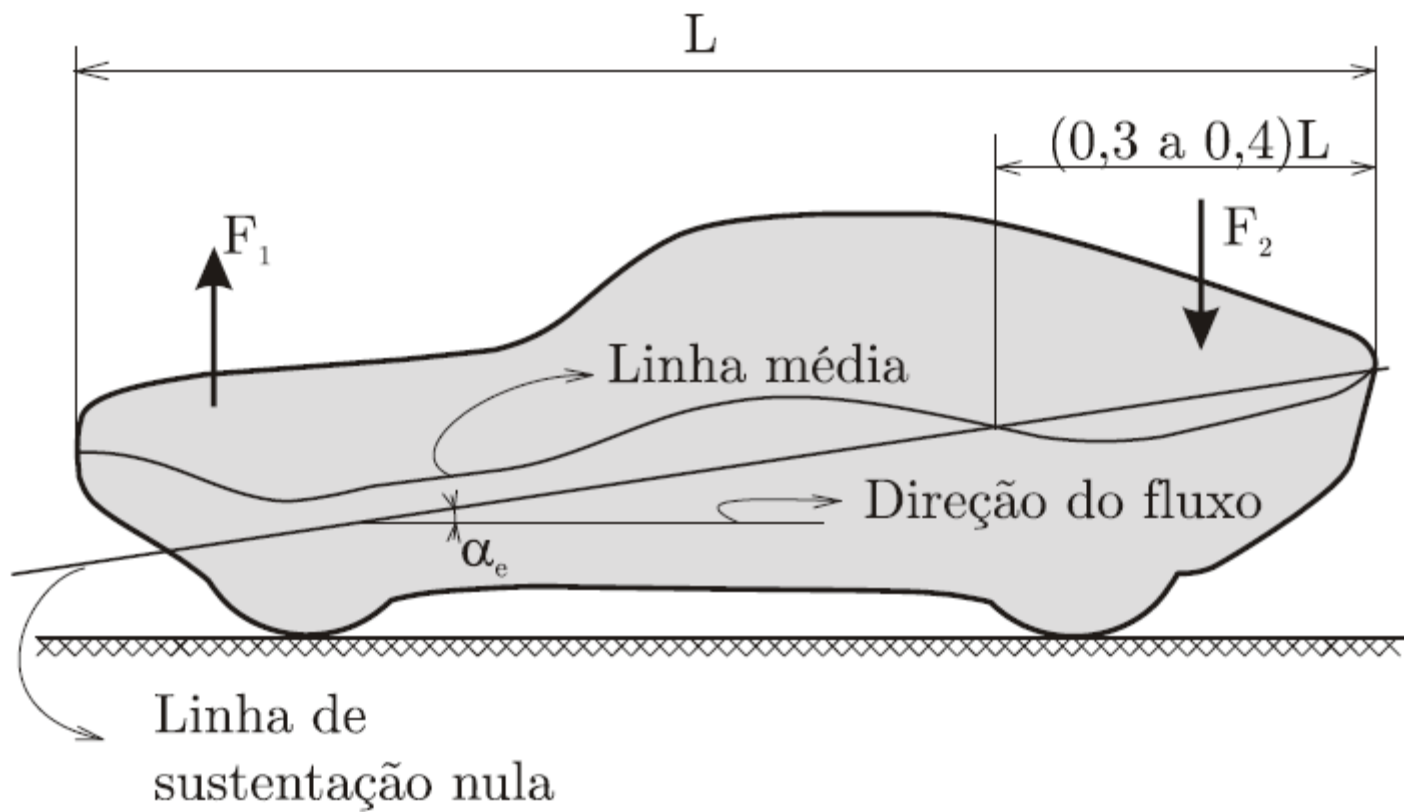


Figura 7.21: Uso de traseira alta para redução da força de sustentação.

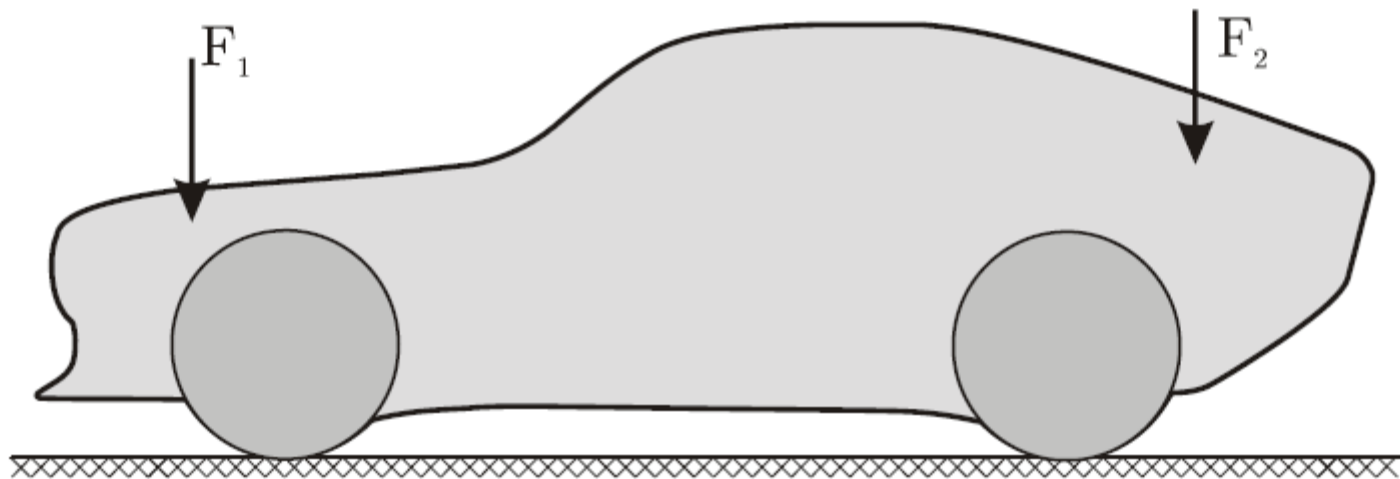


Figura 7.22: Uso de spoiler na dianteira do veículo para redução de força de sustentação.



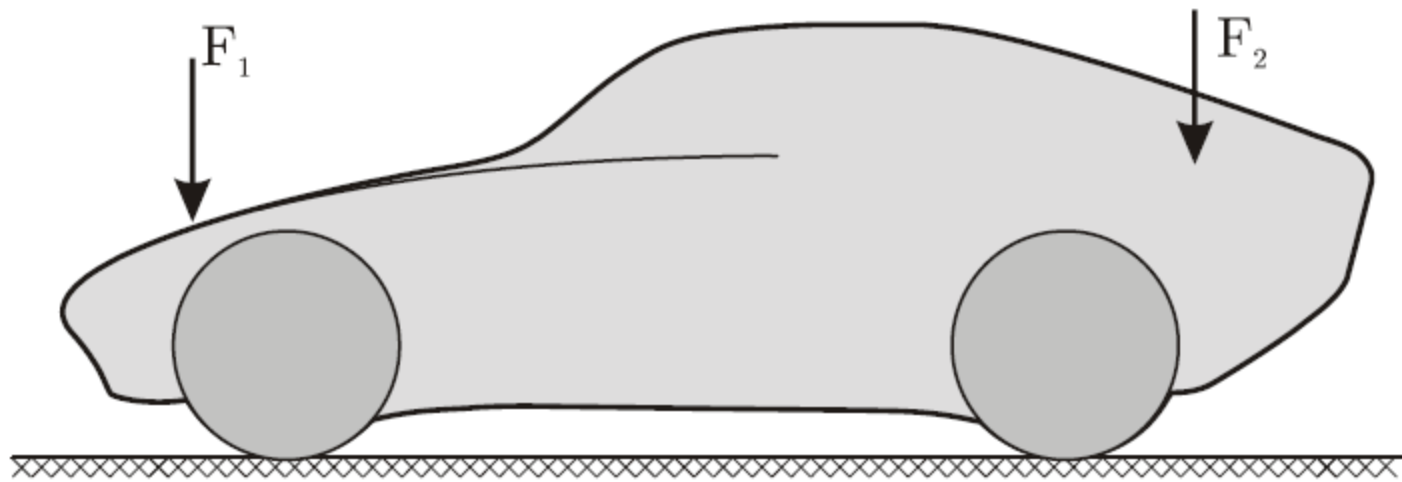


Figura 7.23: Alteração da carroceria de forma a reduzir a força de sustentação na dianteira do veículo.

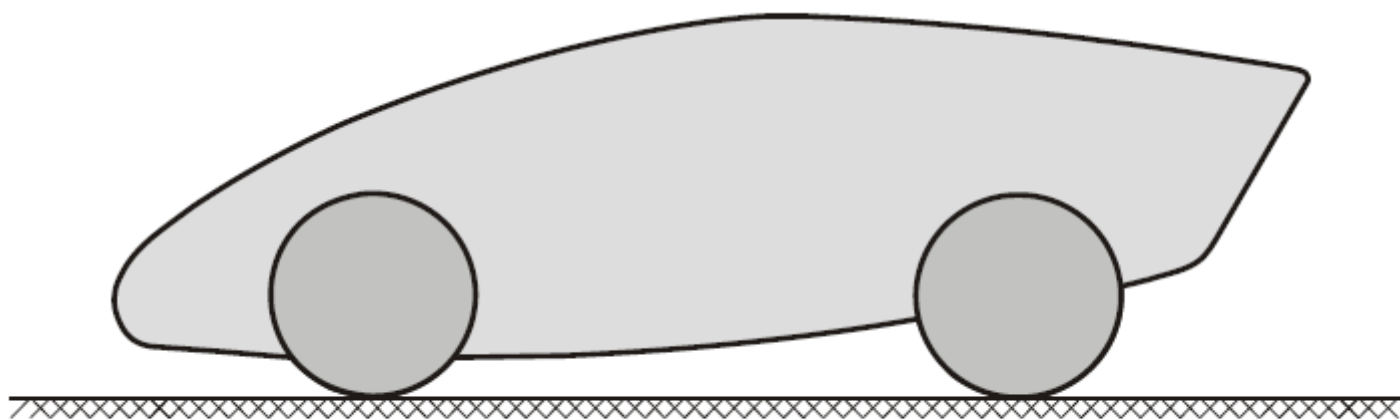


Figura 7.24: Forma provável da carroceria de um carro do futuro.

**MARCIO DE OLIVEIRA RAMOS**

**ESTUDO DAS MELHORES PRÁTICAS DA AERODINÂMICA  
VEICULAR, VISANDO A MELHORIA DE CONSUMO DE  
COMBUSTÍVEL E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES  
APLICADAS A VEÍCULOS DE PASSEIO**

Monografia apresentada ao curso de Pós-graduação  
em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia  
Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de  
Tecnologia para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Mestre João Carlos Martins Coelho

SÃO CAETANO DO SUL

2012

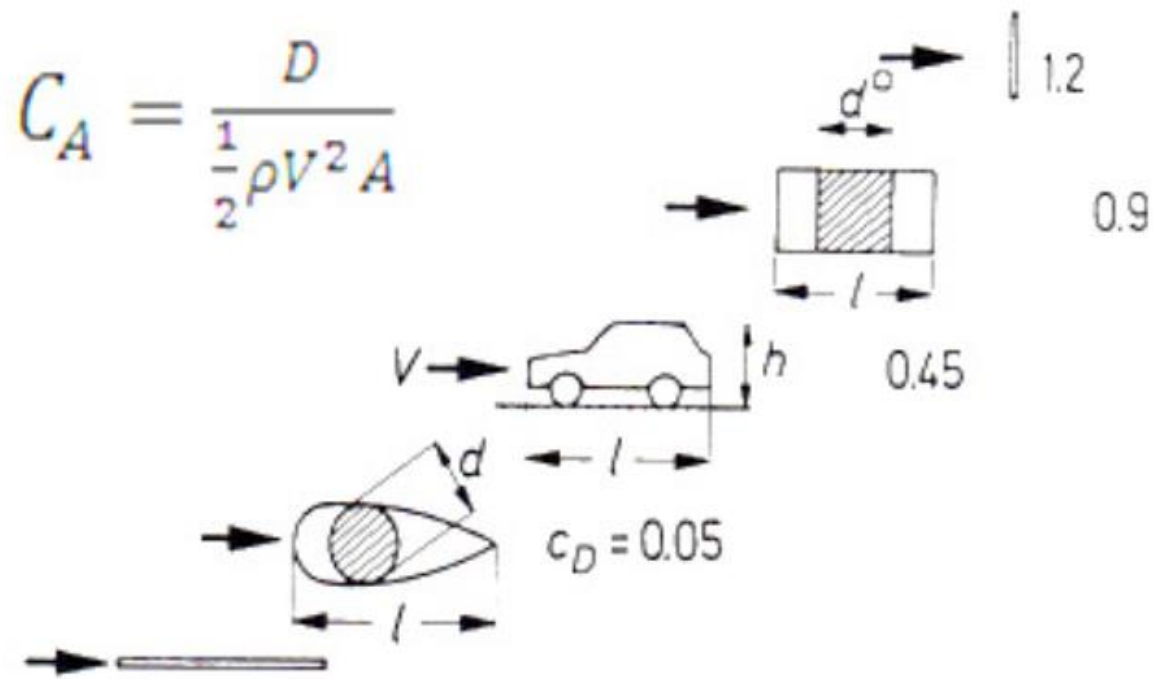


FIGURA 4.1 - ARRASTO DE UM CARRO COMPARADO A UM CORPO BIDIMENSIONAL, fonte: Ref[2]

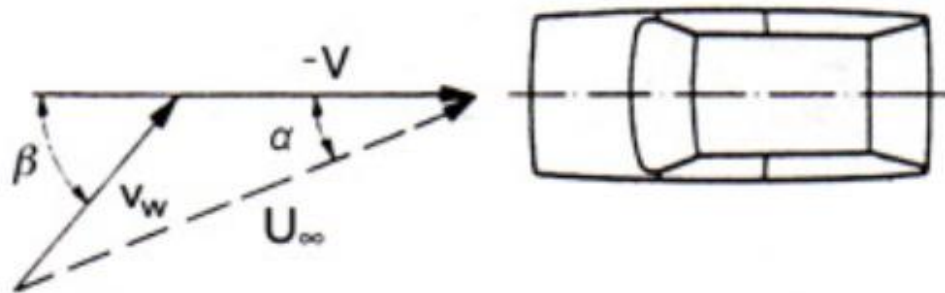


FIGURA 4.2 - DIREÇÃO DO ESCOAMENTO DO VENTO EM RELAÇÃO AO VEÍCULO, fonte: Ref[2]

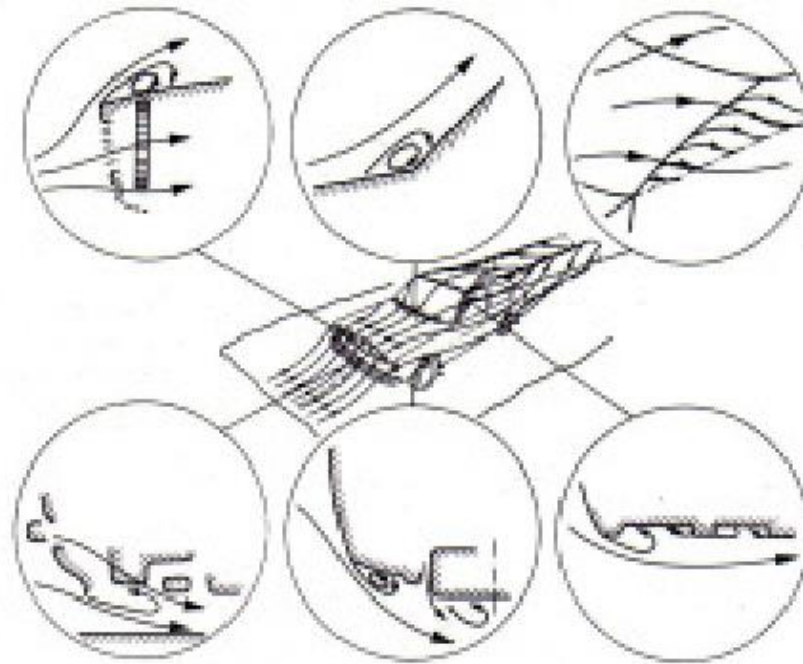


FIGURA 4.3 - ZONAS DE RECIRCULAÇÃO NA REGIÃO FRONTAL DE UM VEÍCULO, fonte: Ref[2]

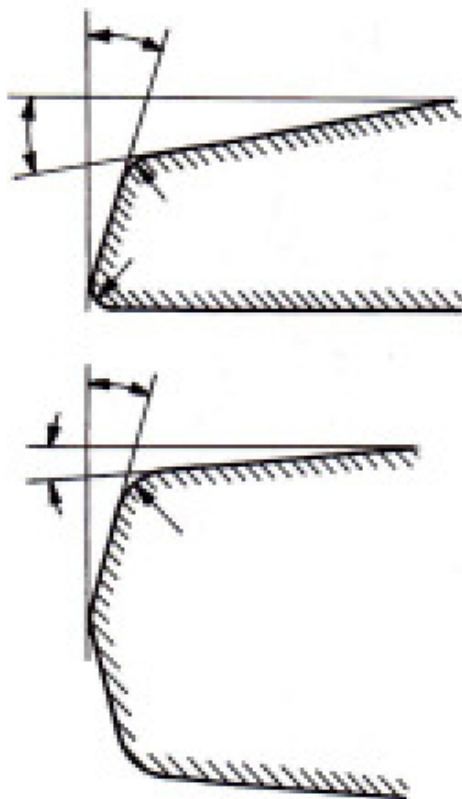
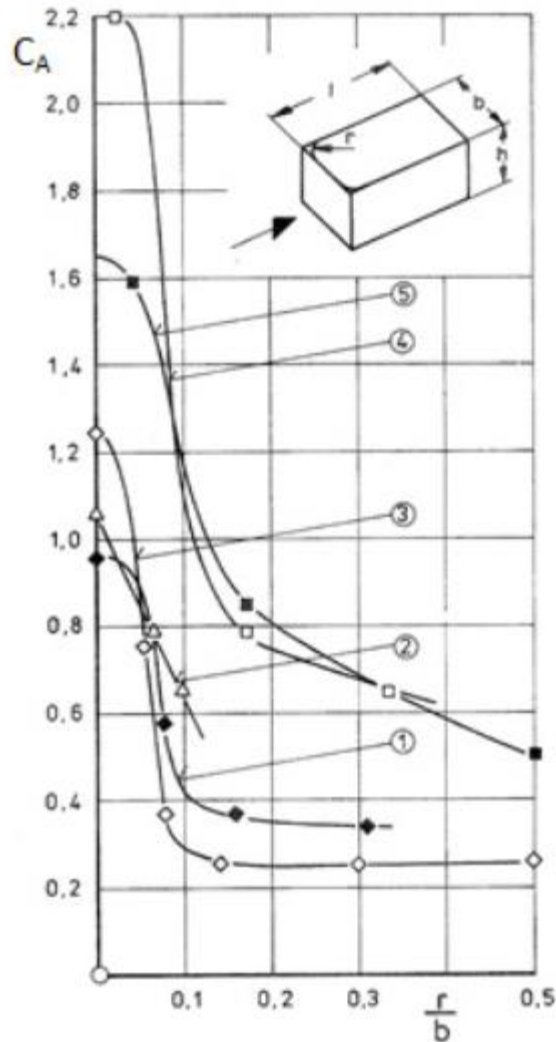


FIGURA 4.8 - OS PARÂMETROS ESSENCIAIS UTILIZADOS PARA OTIMIZAR A REGIÃO FRONTAL DO VEÍCULO, fonte: Ref[2]



Nr.	Símbolo	Autor	Observação
1	—◆—	F. Pawlowski 1930	$Re \approx 1 \cdot 10^4$ Bloco quadrado
2	—▽—	W. E. Loy 1933	Veículo genérico Todas as arestas arredondadas: $b/h = 1,17$
3	—◇—	B. Goethert 1944	$Re \approx 1 \cdot 10^4$ Corpo aerodinâmico
4	—□—	N. K. Delony u.	$Re \approx 1 \cdot 10^4$ Corpo bidimensional
5	—■—	N. E. Sorensen 1954	
6	—●— —○—	R. Borth 1960	$Re = 1,2 \cdot 10^4$ $b/h = 2$ , $b/h = 1$ , arestas arredondadas
7	—▲—	G. W. Corr 1968	$Re = 2 \cdot 10^4$ $b/h = 1$ , arestas arredondadas

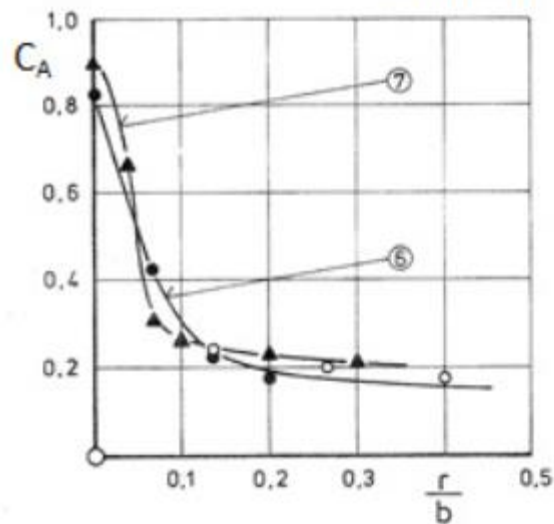


FIGURA 4.9 - INFLUÊNCIA DOS RAIOS DE CANTO NO ARRASTO DE BLOCOS QUADRADOS, fonte: Ref[2]



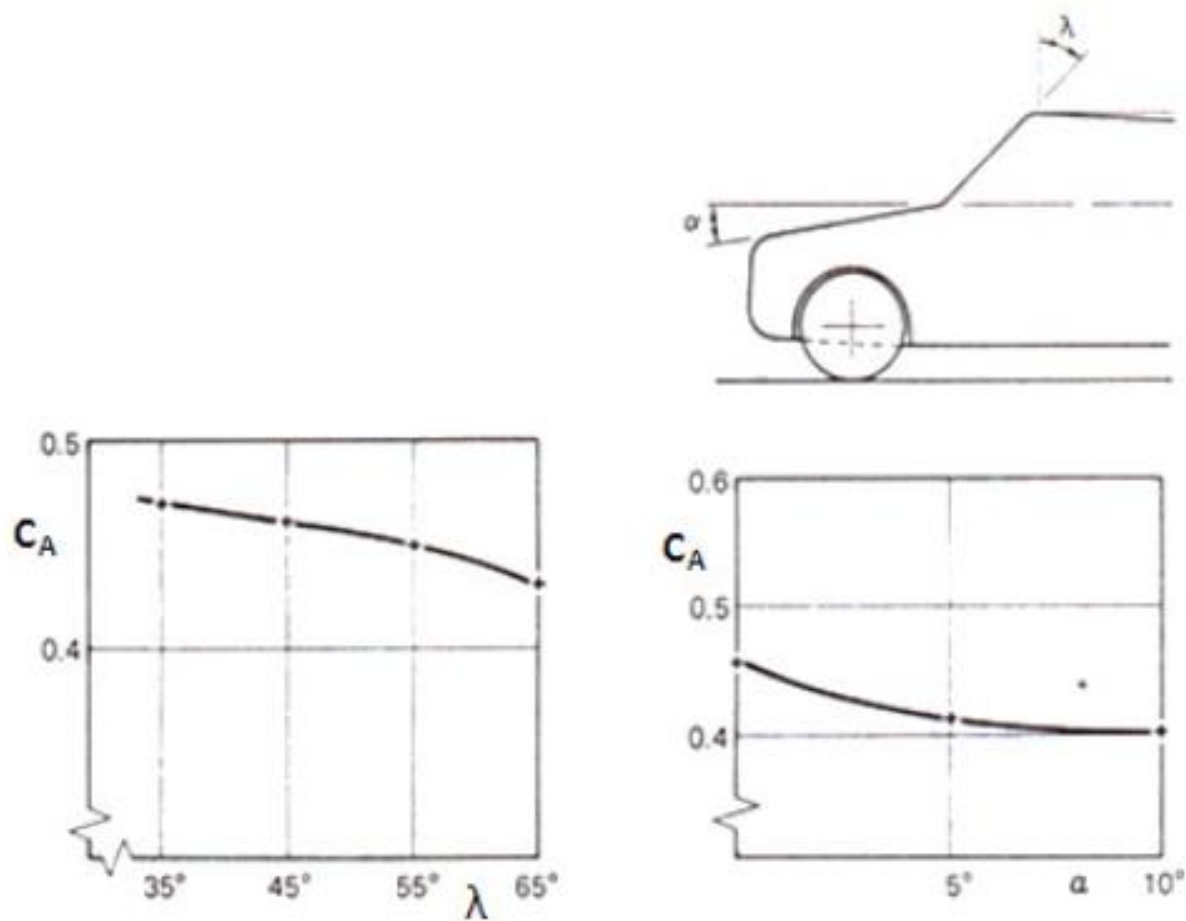


FIGURA 4.10 - REDUÇÃO DO ARRASTO COM INCLINAÇÃO DO ÂNGULO  $\alpha$  DO CAPÔ E INCLINAÇÃO DO ÂNGULO  $\lambda$  DO PARA-BRISA, fonte: Ref[3]

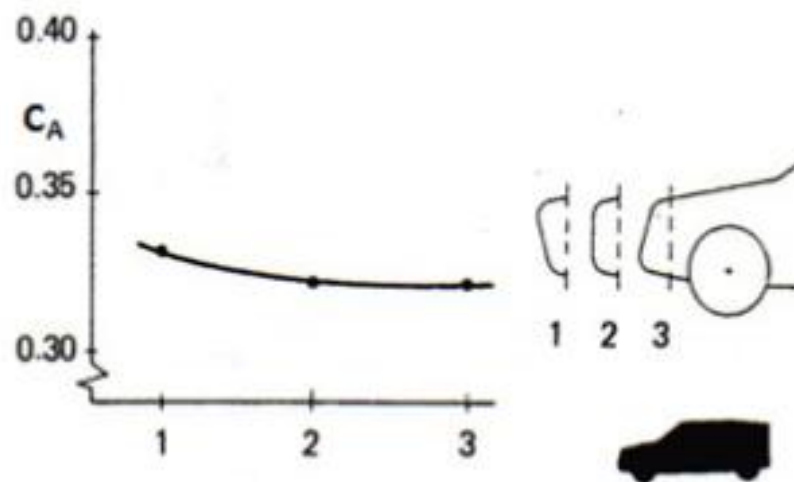
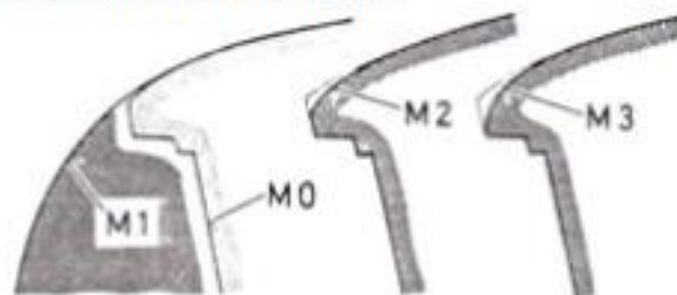


FIGURA 4.11 - INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO DA REGIÃO FRONTAL NO ARRASTO, fonte: Ref[3]

### Seção central longitudinal



### Seção horizontal na altura dos faróis

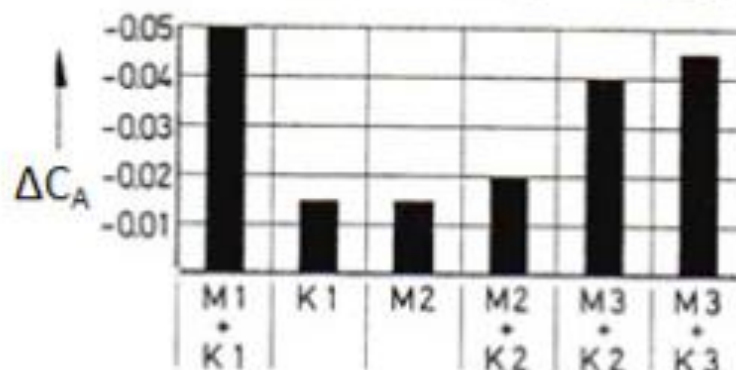
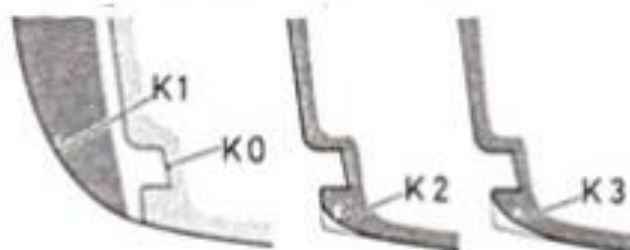


FIGURA 4.12 - OTIMIZAÇÃO DA REGIÃO FRONTAL DO VW GOLF I, fonte: Ref[4]



FIGURA 4.13 - LINHAS DE CORRENTE NO VW GOLF I NUM TUNEL DE VENTO, fonte: Ref[4]

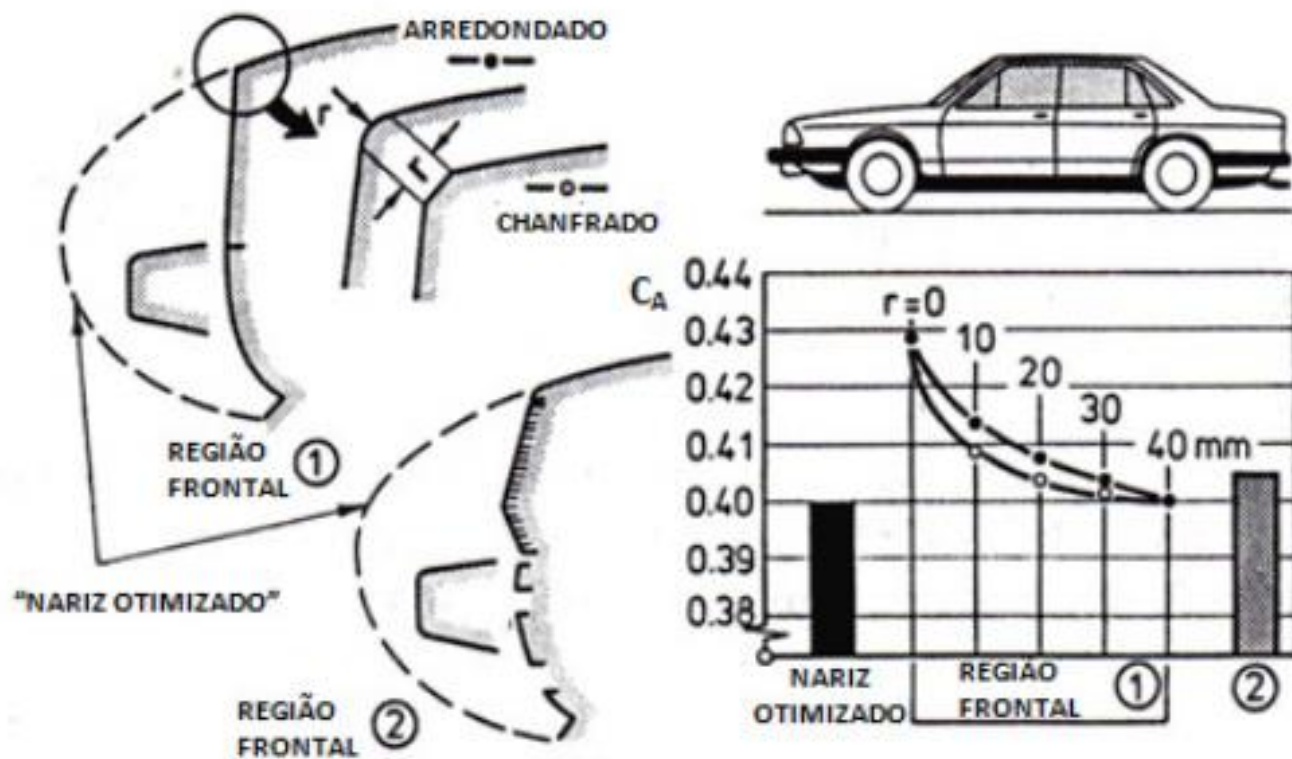


FIGURA 4.14 - REDUÇÃO DO ARRASTO POR MEIO DE CHANFROS E RAIOS NA REGIÃO DIANTEIRA, fonte: Ref[2]

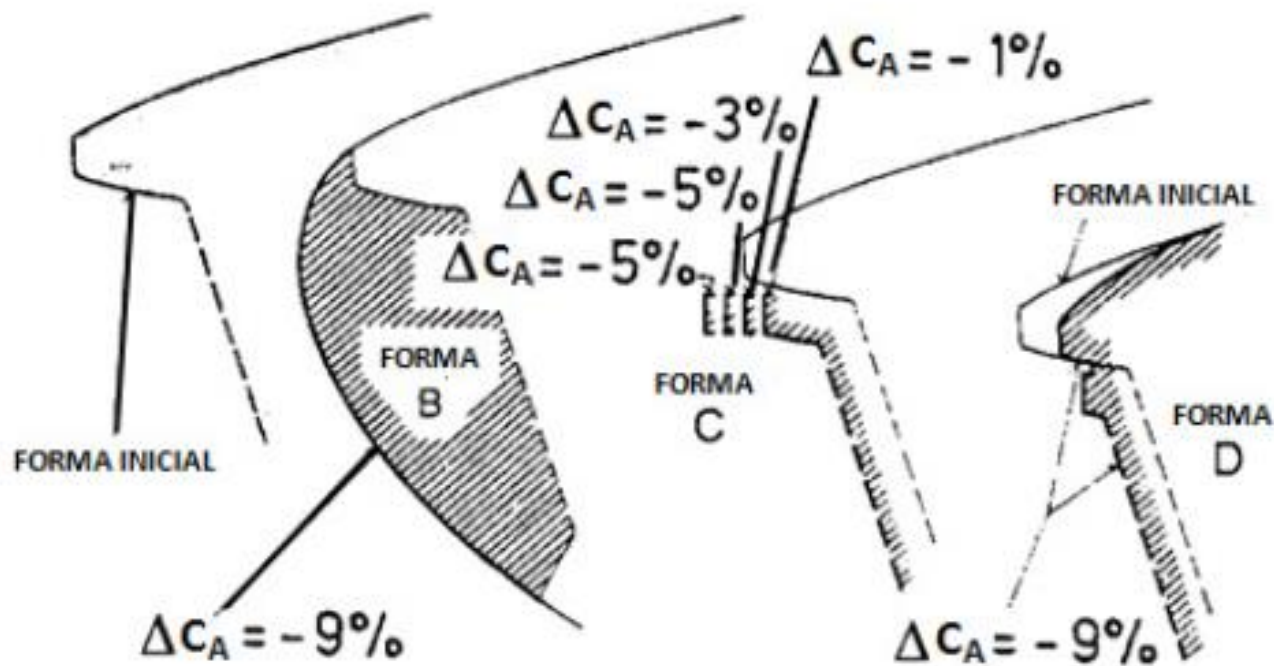


FIGURA 4.15 - REDUÇÃO DO ARRASTO POR MEIO DO REFINAMENTO DO RAIOS DO CAPÔ E FORMAS DA GRADE, fonte: Ref[2]

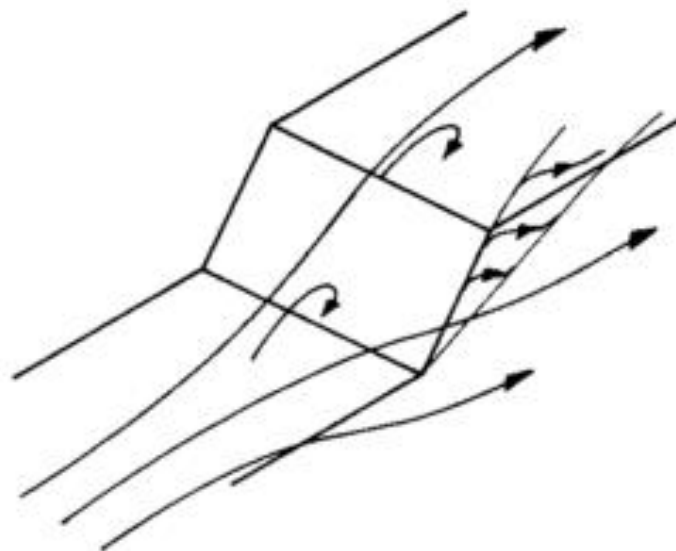


FIGURA 4.16 - MODELO SIMPLIFICADO DO ESCOAMENTO AO REDOR DO PARA-BRISA, fonte: Ref[2]

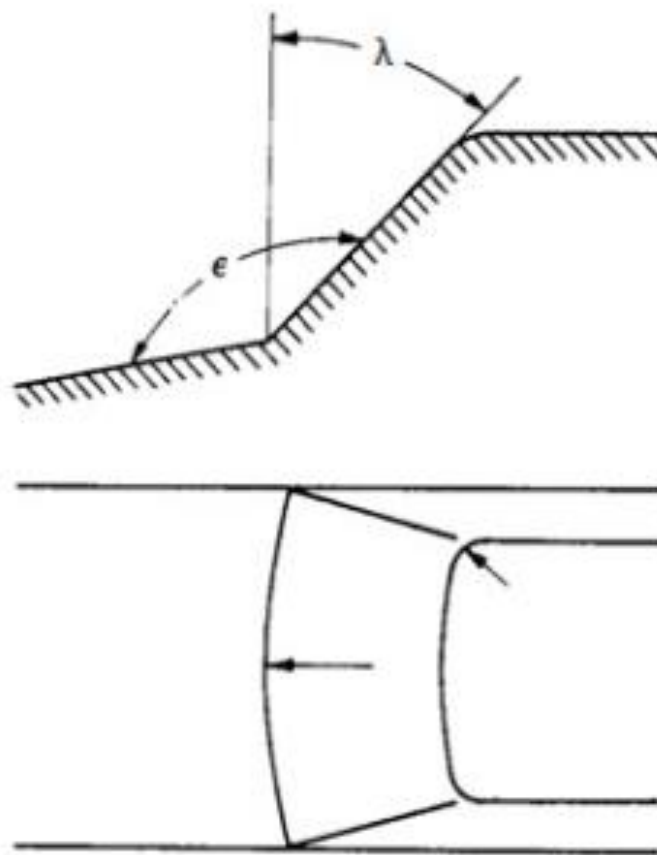


FIGURA 4.17 - PRINCIPAIS PARÂMETROS DA GEOMETRIA DO PARA-BRISA, fonte: Ref[2]



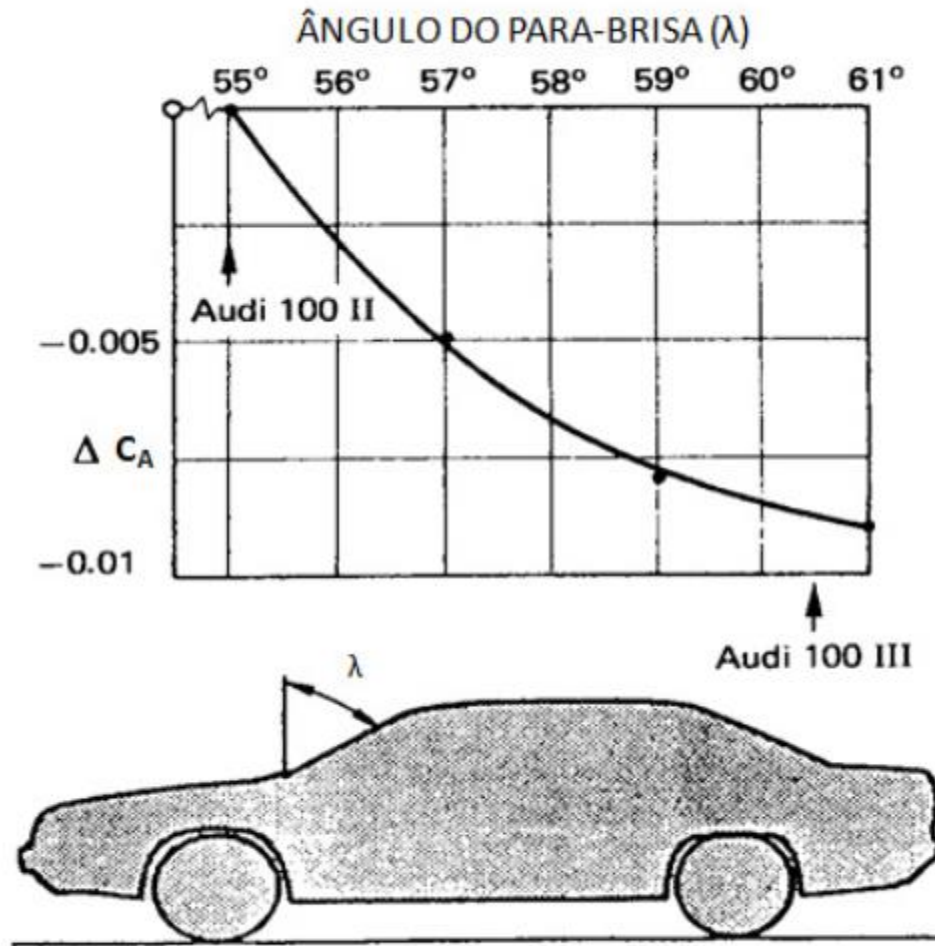


FIGURA 4.18 - INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO DO ÂNGULO  $\lambda$  DO PARA-BRISA NO ARRASTO, fonte: Ref[5]



FIGURA 4.19 - POSIÇÃO DOS PICOS DE PRESSÃO DO AUDI 100: 100 II,  $C_A = 0,42$  ; 100 III,  $C_A=0,30$ , fonte: Ref[5]

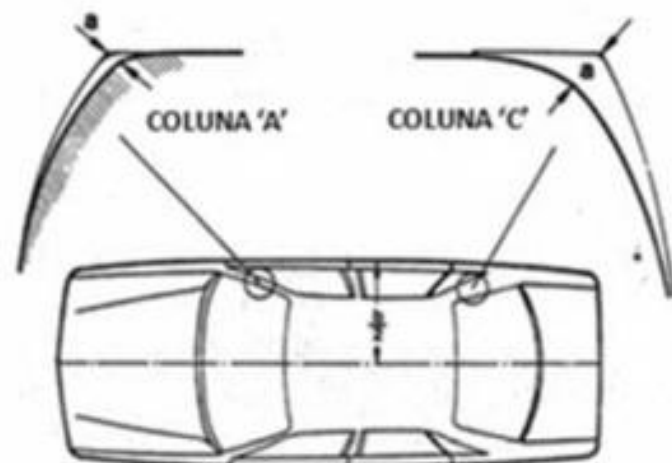
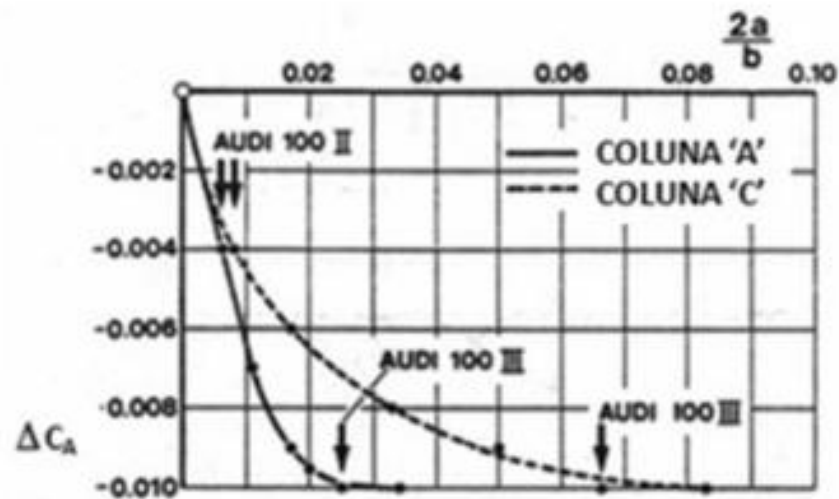


FIGURA 4.20 - REDUÇÃO DO ARRASTO POR MEIO DO ARREDONDAMENTO DAS COLUNAS 'A' E 'C' DO AUDI 100 III, fonte: Ref[5]

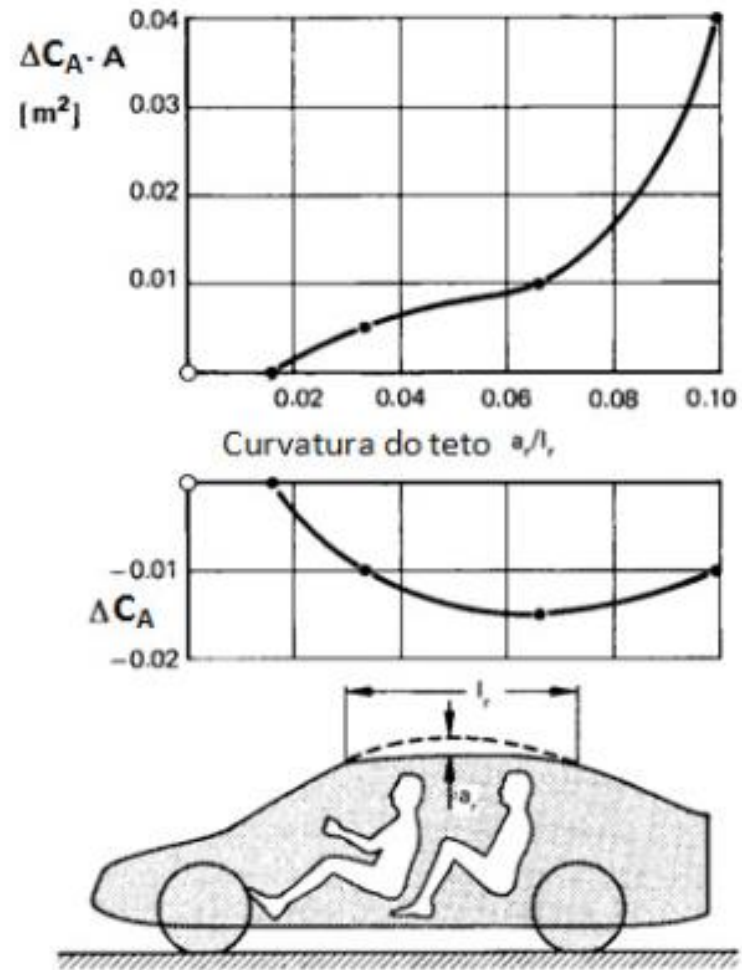


FIGURA 4.21 - EFEITO DA CURVATURA DO TETO NO COEFICIENTE DE ARRASTO, fonte: Ref[12]

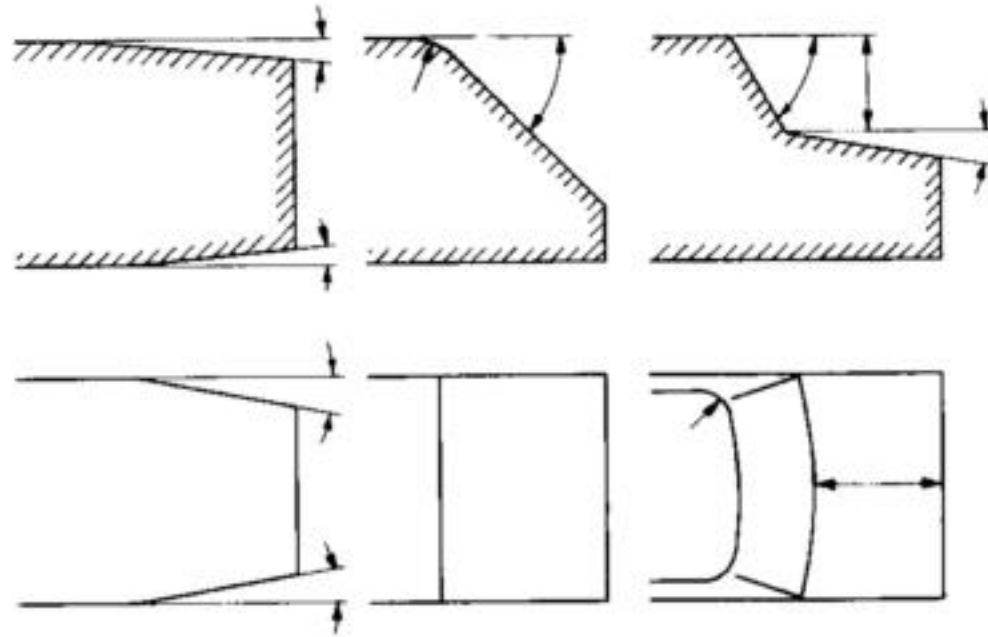


FIGURA 4.22 - OS TRÊS TIPOS MAIS COMUNS DE VEÍCULOS E SEUS ESSENCIAIS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS, fonte: Ref[2]

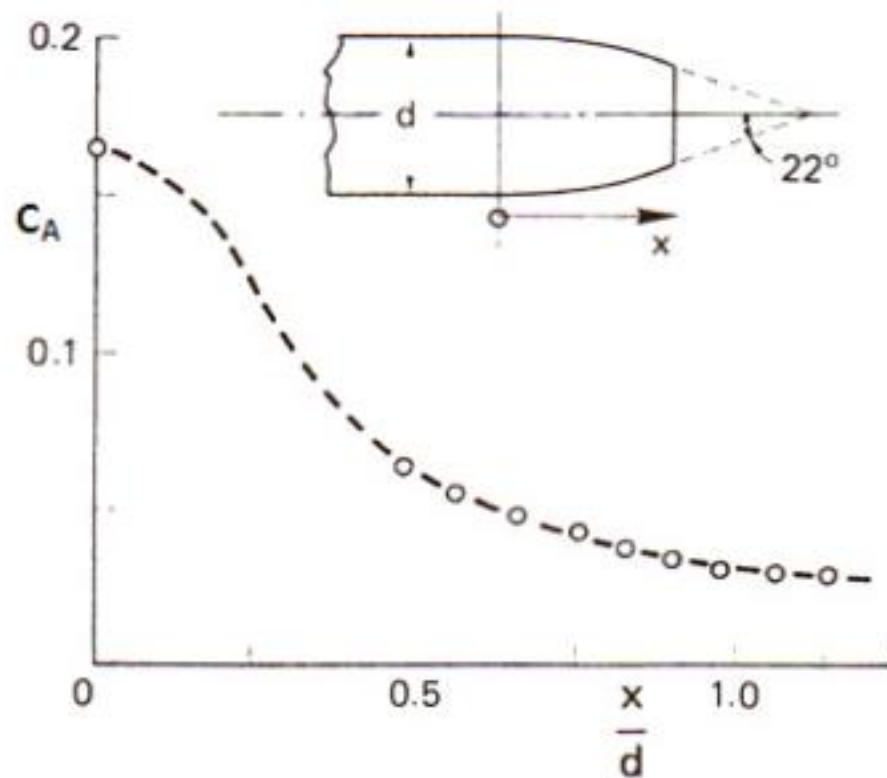


FIGURA 4.23 - REDUÇÃO DO ARRASTO DE UM CORPO DE REVOLUÇÃO USANDO O MÉTODO BOAT-TAILING, fonte: Ref[7, 8]

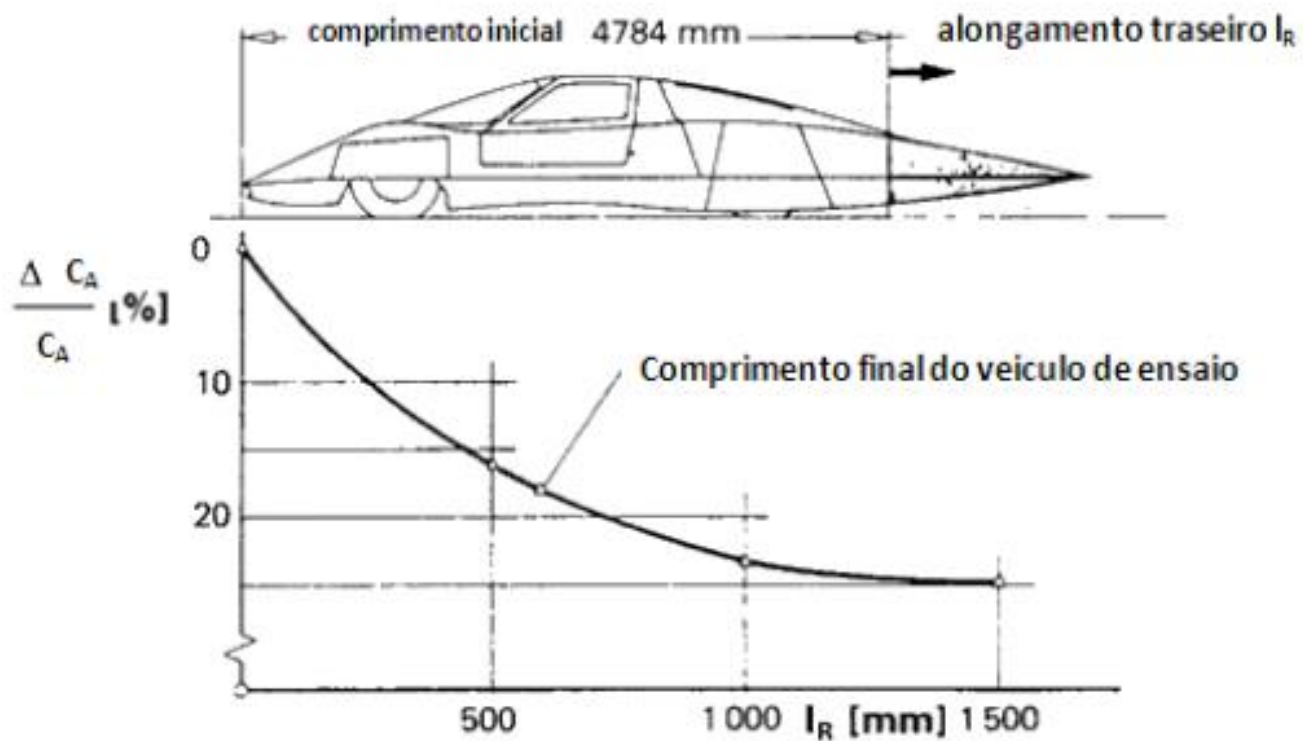


FIGURA 4.24 - METODO DE BOAT-TAILING APLICADO AO VEICULO DE ENSAIO C111 III DA DAIMLER-BENZ AG, fonte: Ref[15]

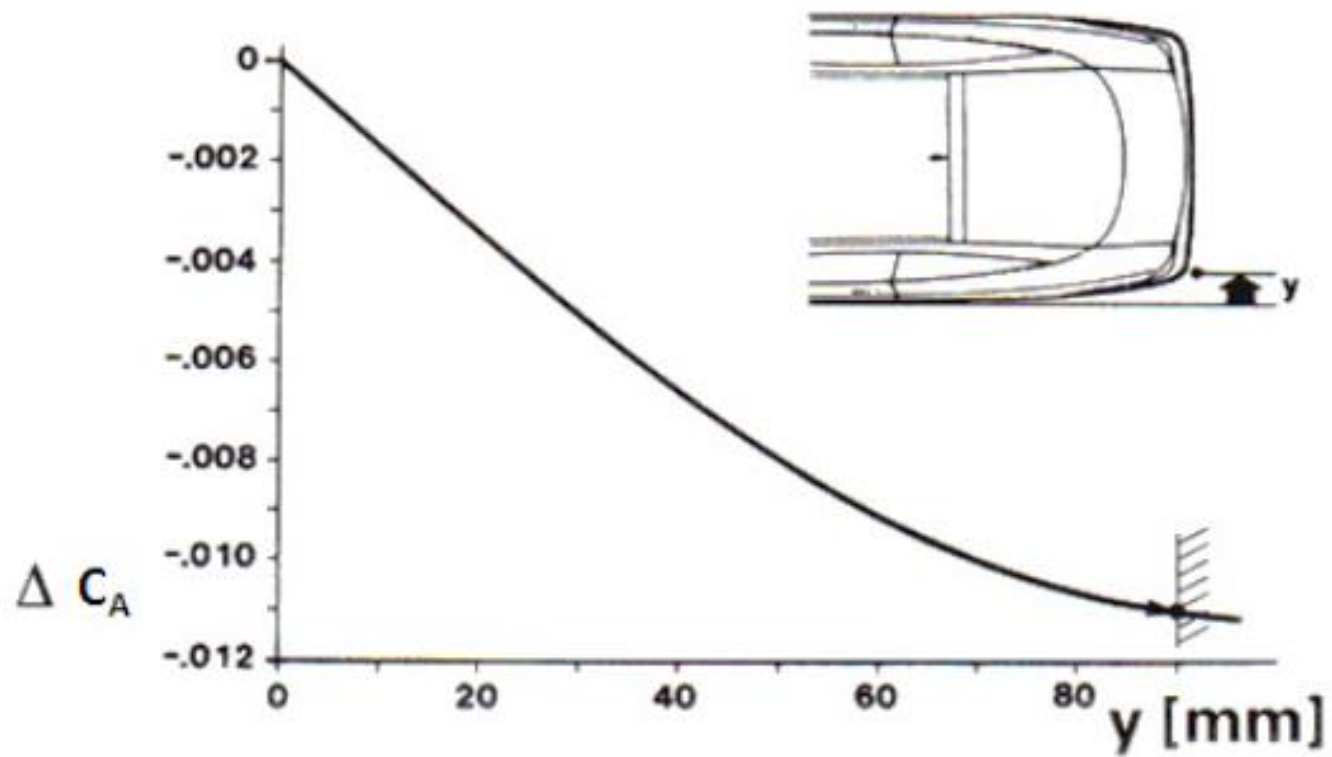


FIGURA 4.25 - MÉTODO BOAT-TAILING APLICADO NO OPEL CALIBRA COUPE, fonte: Ref[16]



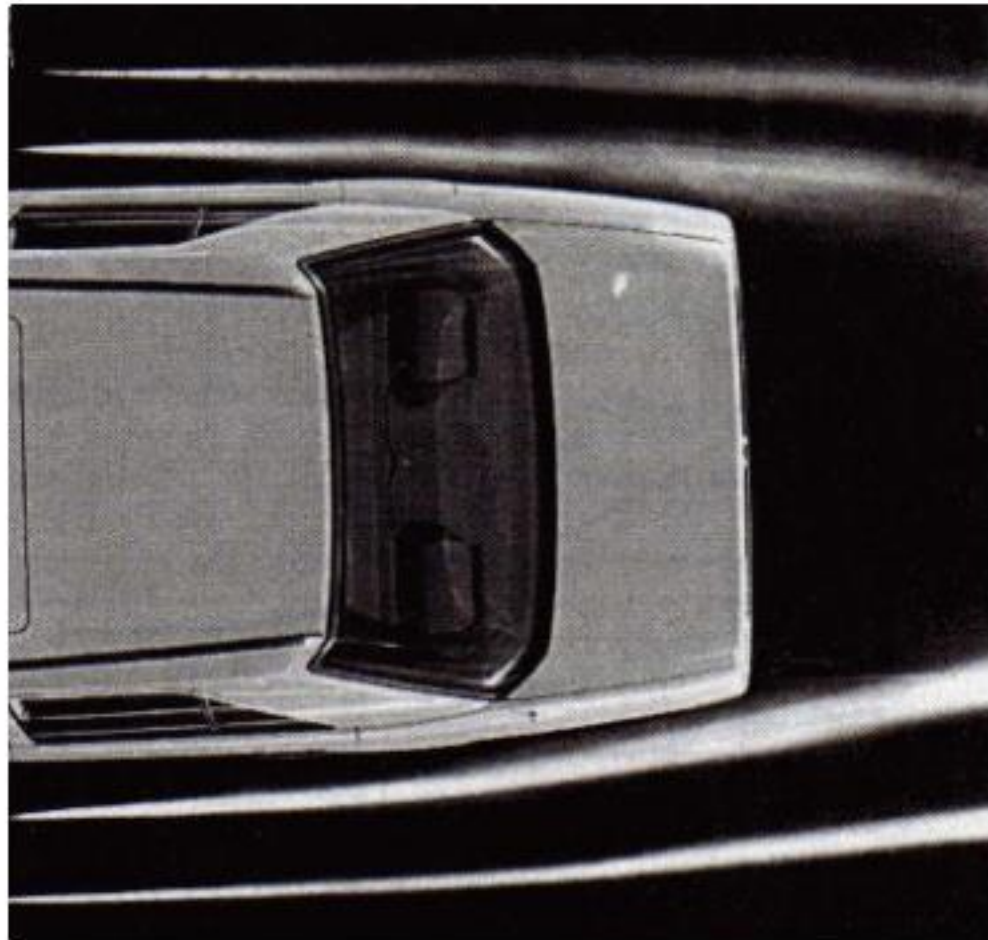


FIGURA 4.26 - LINHAS DE FUMAÇA SEGUEM O CONTORNO BOAT-TAILING DA TRASEIRA DO MERCEDES-BENZ 190, fonte: Ref[2]

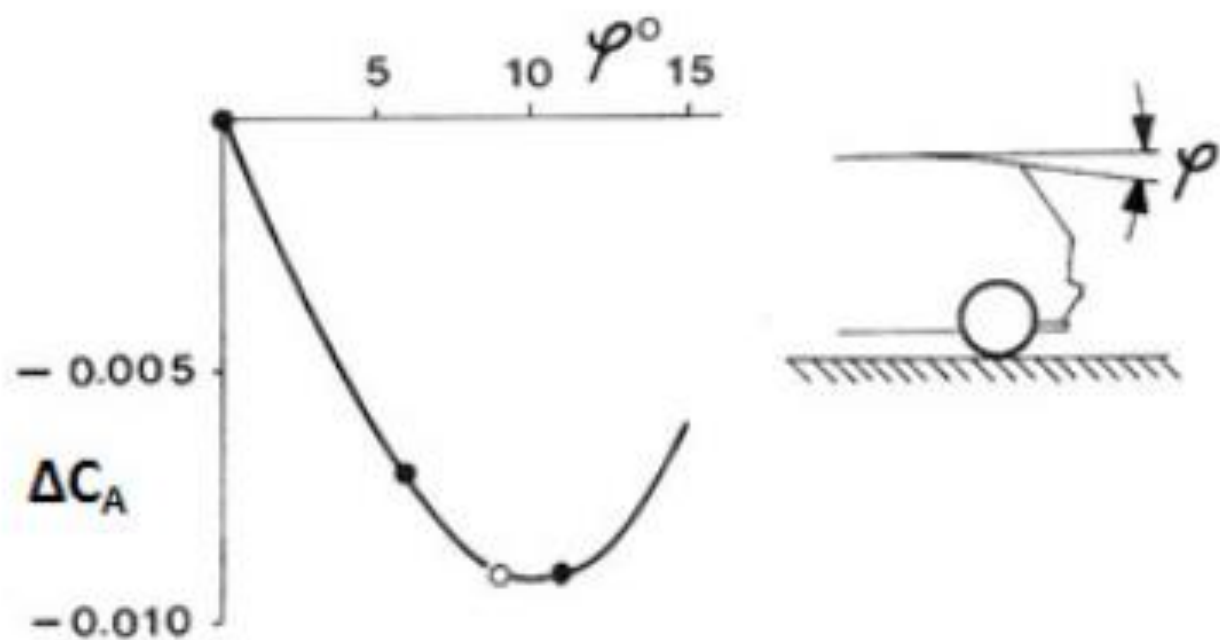


FIGURA 4.27 - REDUÇÃO DO ARRASTO NO FIAT UNO, fonte: Ref[17]

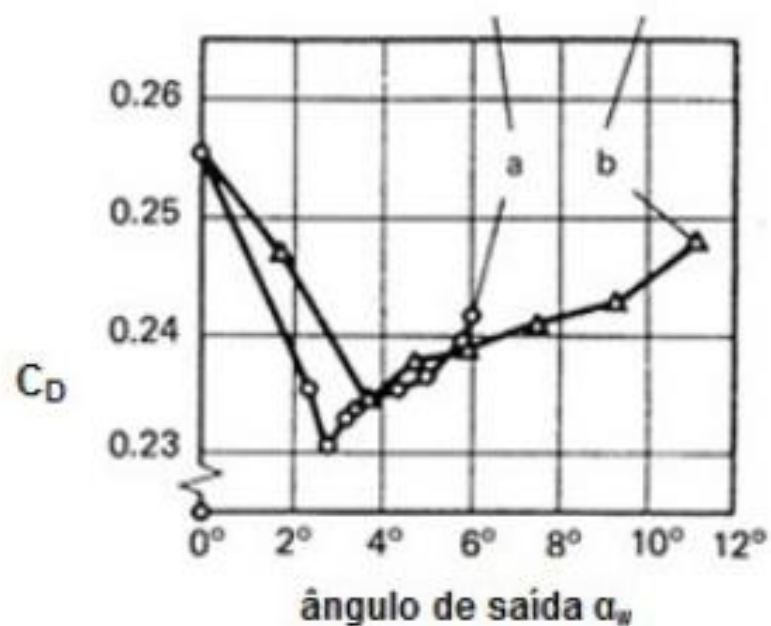
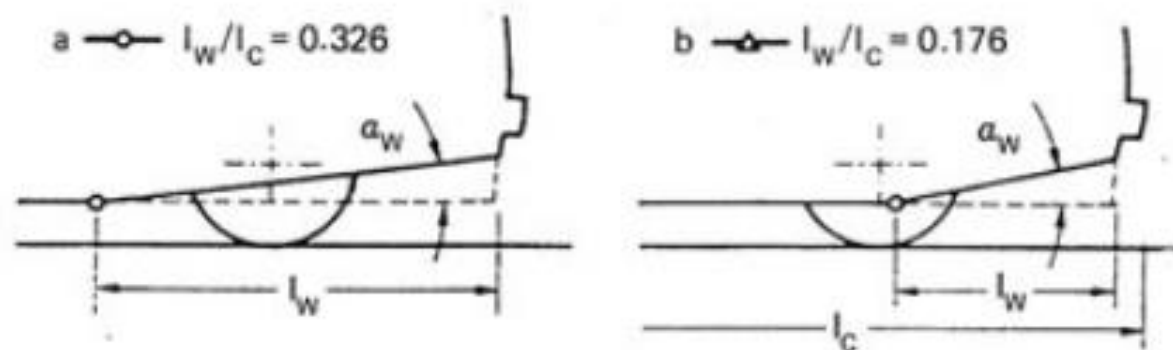


FIGURA 4.28 - REDUÇÃO DO ARRASTO NA REGIÃO DO EIXO TRASEIRO, fonte: Ref[9]

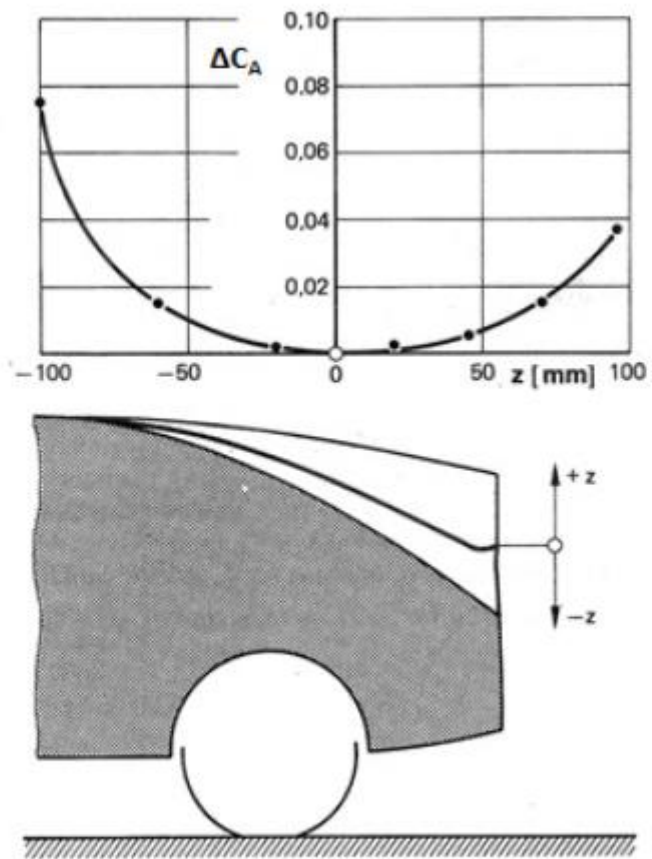
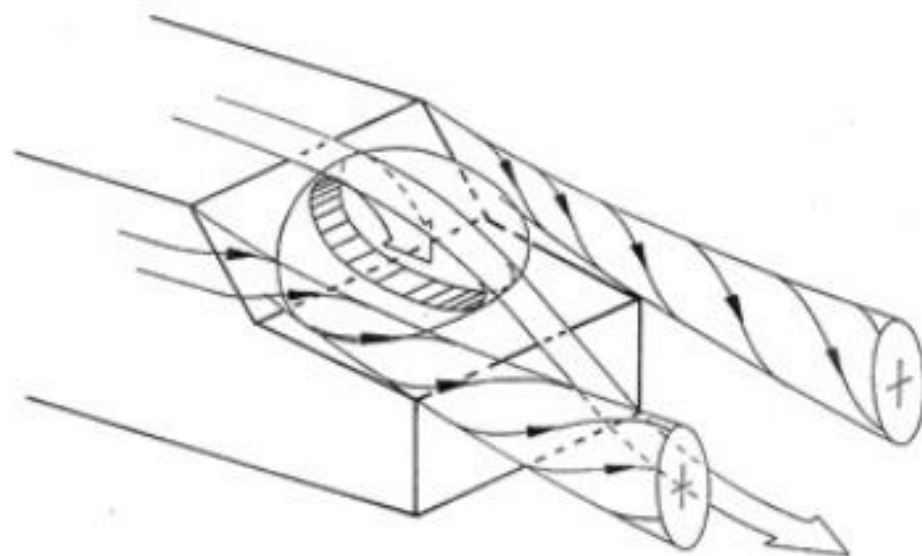
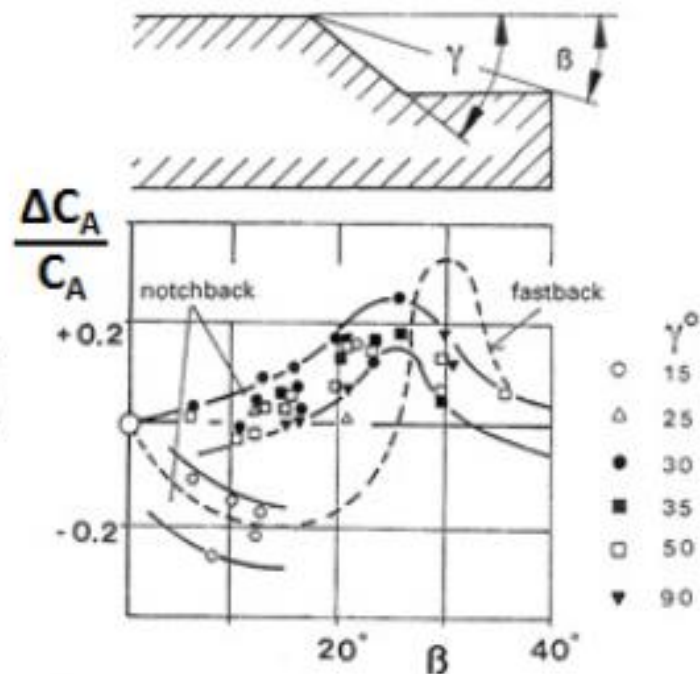


FIGURA 4.36 - EFEITO DA ALTURA  $Z$  NO COEFICIENTE DE ARRASTO, fonte: Ref[2]



a)



b)

FIGURA 4.37 - ESCOAMENTO E ARRASTO DE UM *NOTCHBACK*: a) ESCOAMENTO PADRÃO ESQUEMATICO, b) COEFICIENTE DE ARRASTO  $C_A$  VERSUS ANGULO  $\beta$ , fonte: Ref[2]

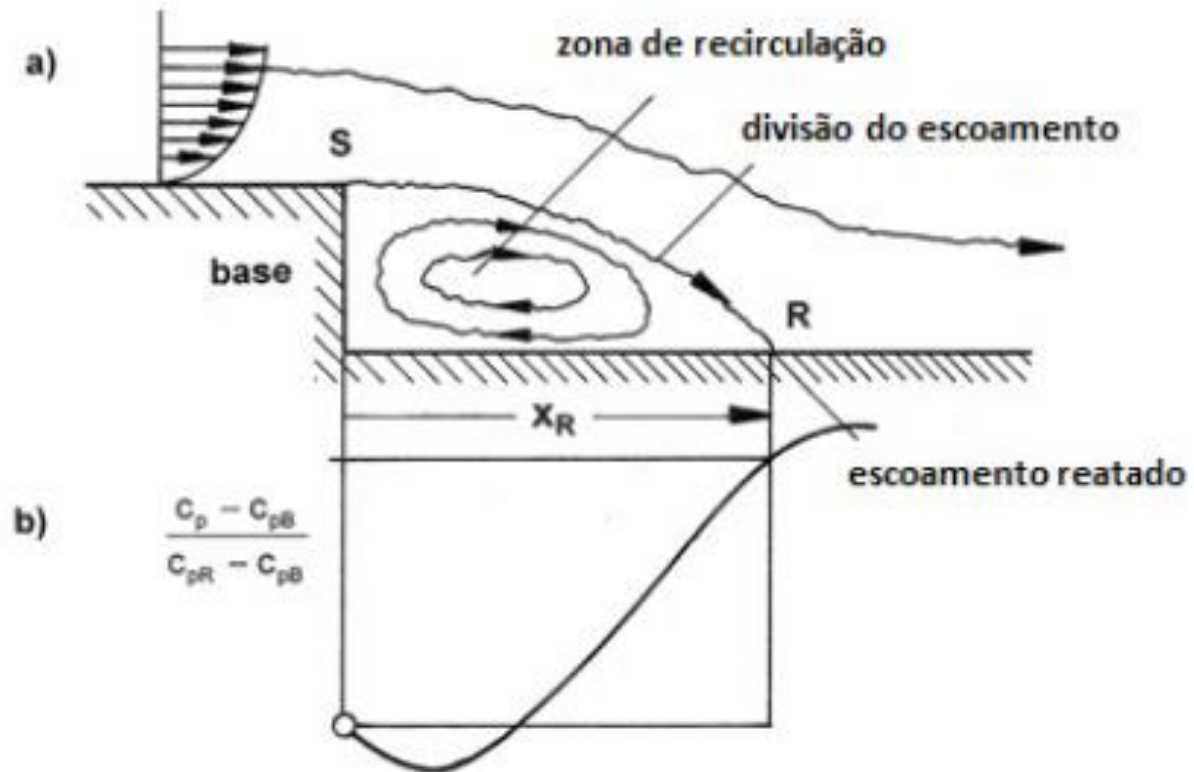


FIGURA 4.38 - ESCOAMENTO NA TRASEIRA DE UM *NOTCHBACK*: a) ESCOAMENTO PADRÃO ESQUEMÁTICO, b) DISTRIBUIÇÃO UNIVERSAL DE PRESSÃO, fonte: Ref[2]

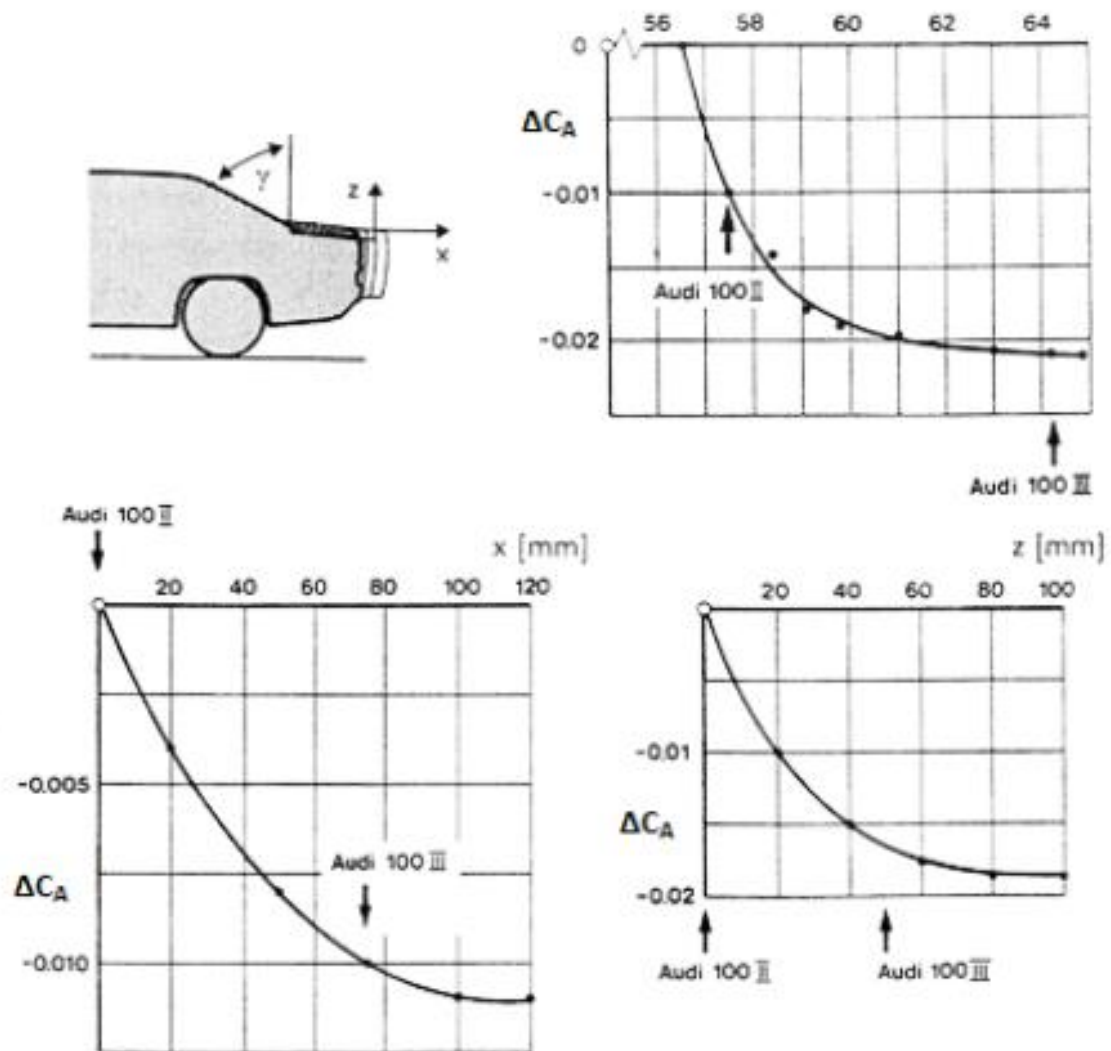


FIGURA 4.39 - AJUSTE DOS TRÊS PARÂMETROS DA TRASEIRA DO AUDI 100 III, fonte: Ref[5]

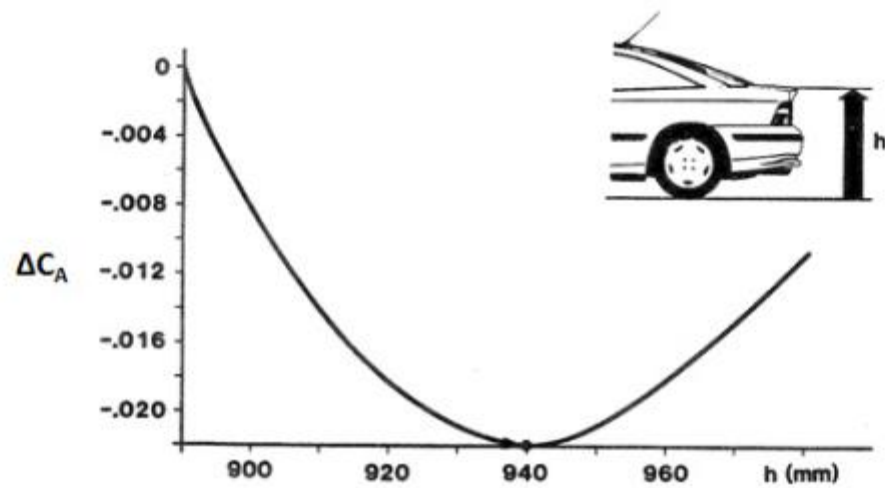


FIGURA 4.41 - ALTURA  $h$  DA TRASEIRA OTIMIZADA PARA O OPEL CALIBRA, fonte: Ref[16]



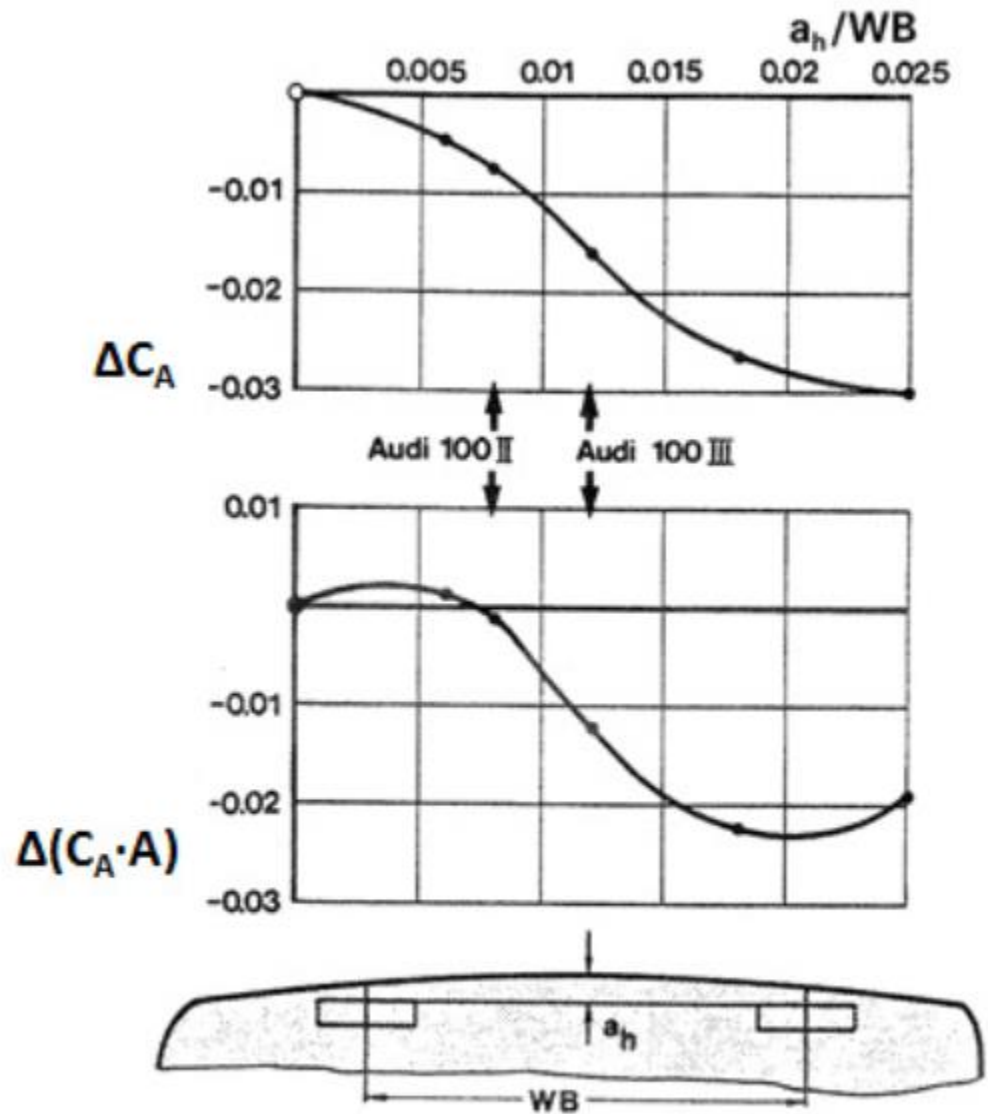


FIGURA 4.42 - EFEITO DO ARCO NO ARRASTO DE UM VEÍCULO *NOTCHBACK* (VISTA SUPERIOR) , fonte: Ref[5]

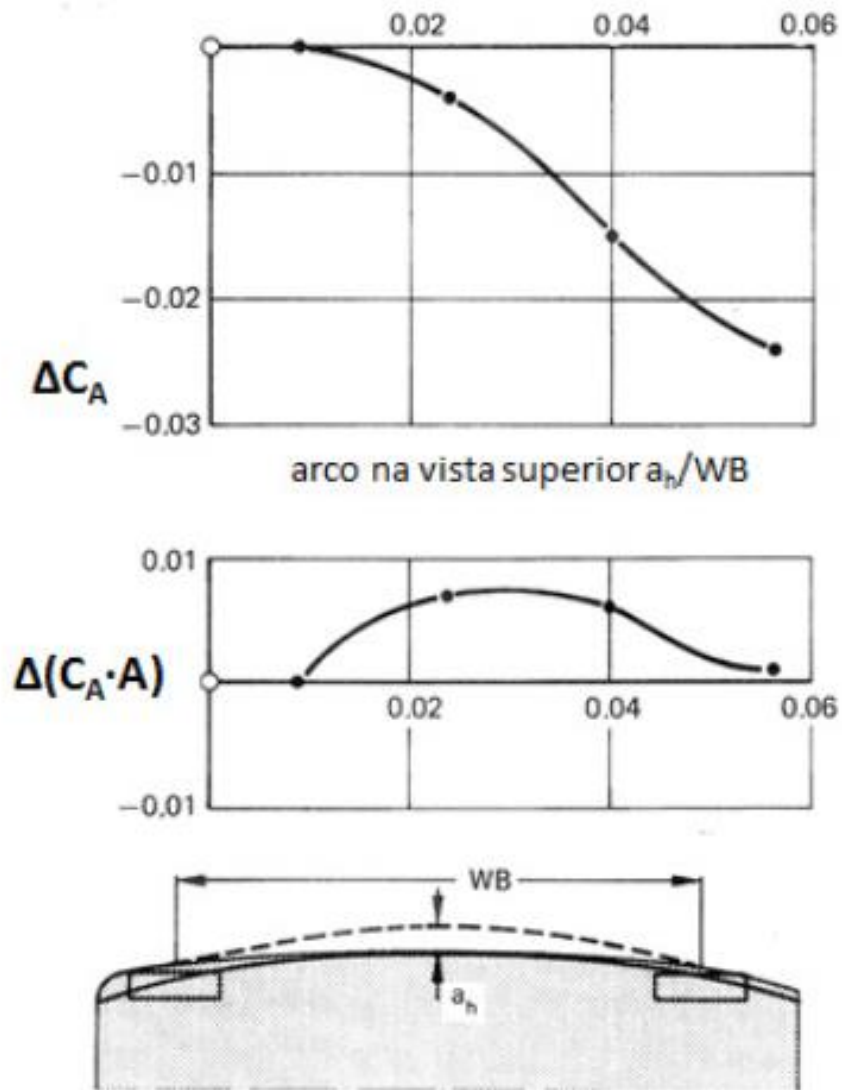


FIGURA 4.43 - EFEITO DO ARCO NO ARRASTO DE UM VEÍCULO *FASTBACK* (VISTA SUPERIOR) , fonte: Ref[12]

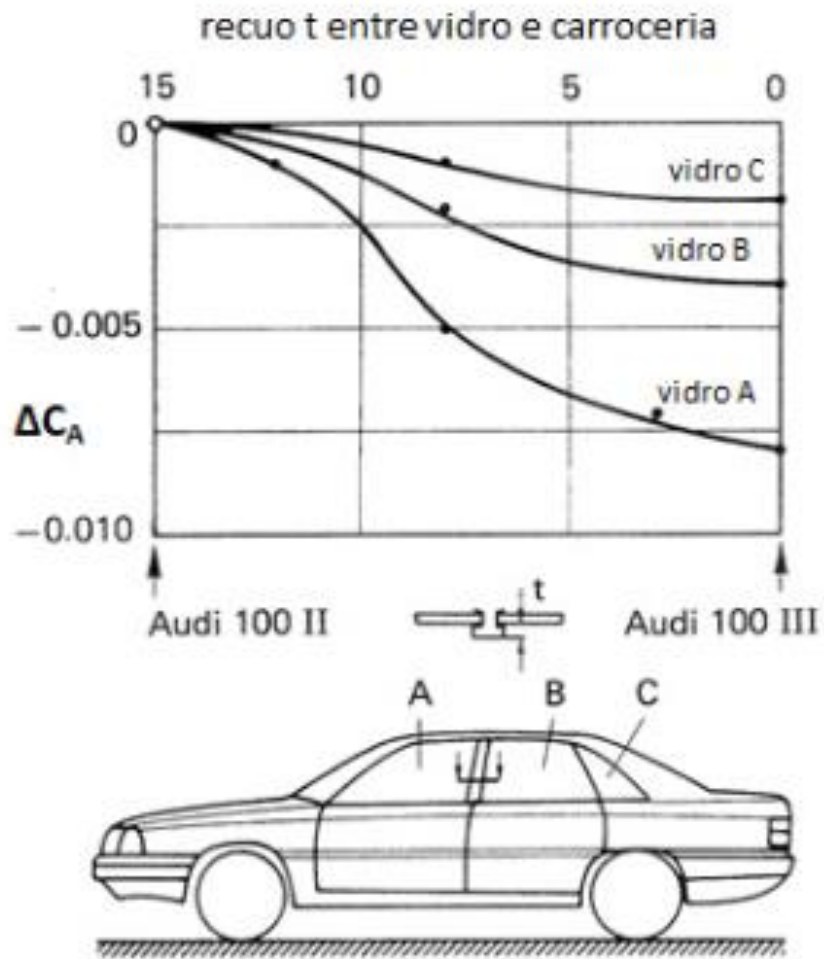


FIGURA 4.44 - EFEITO DO RECUE NOS VIDROS LATERAIS NO ARRASTO, fonte: Ref[5]

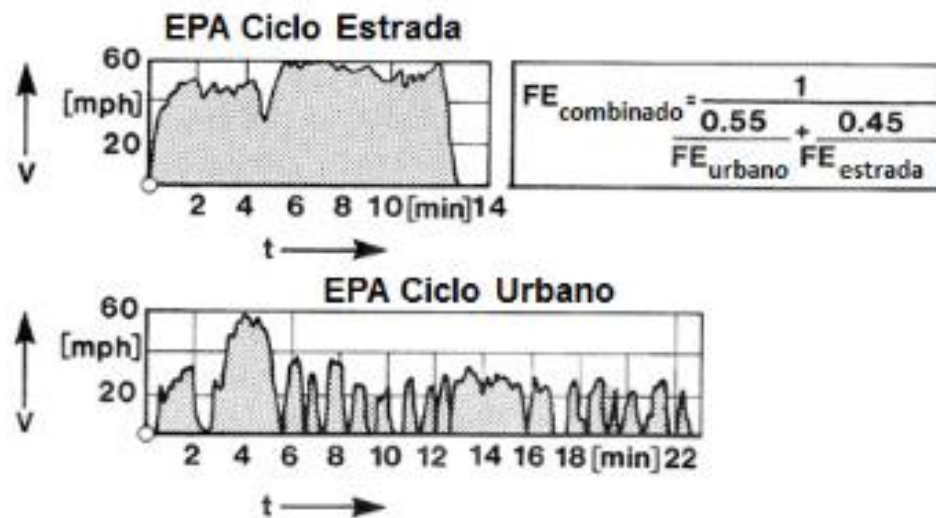


FIGURA 5.1 - MODO DE CONDUÇÃO DO VEÍCULO NA REGULAMENTAÇÃO EPA, fonte: Ref[18]

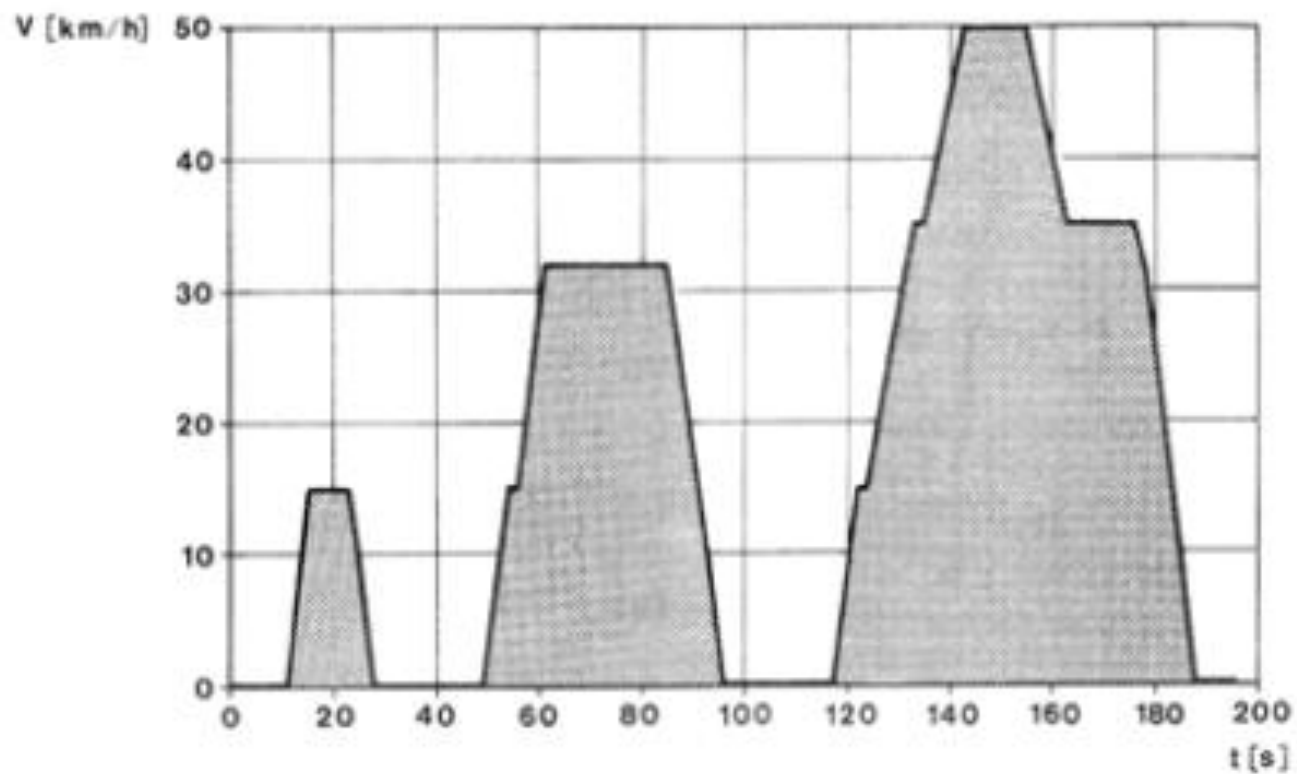


FIGURA 5.2 - CICLO URBANO EEC, fonte: Ref[19]

- Ciclo de alta velocidade.

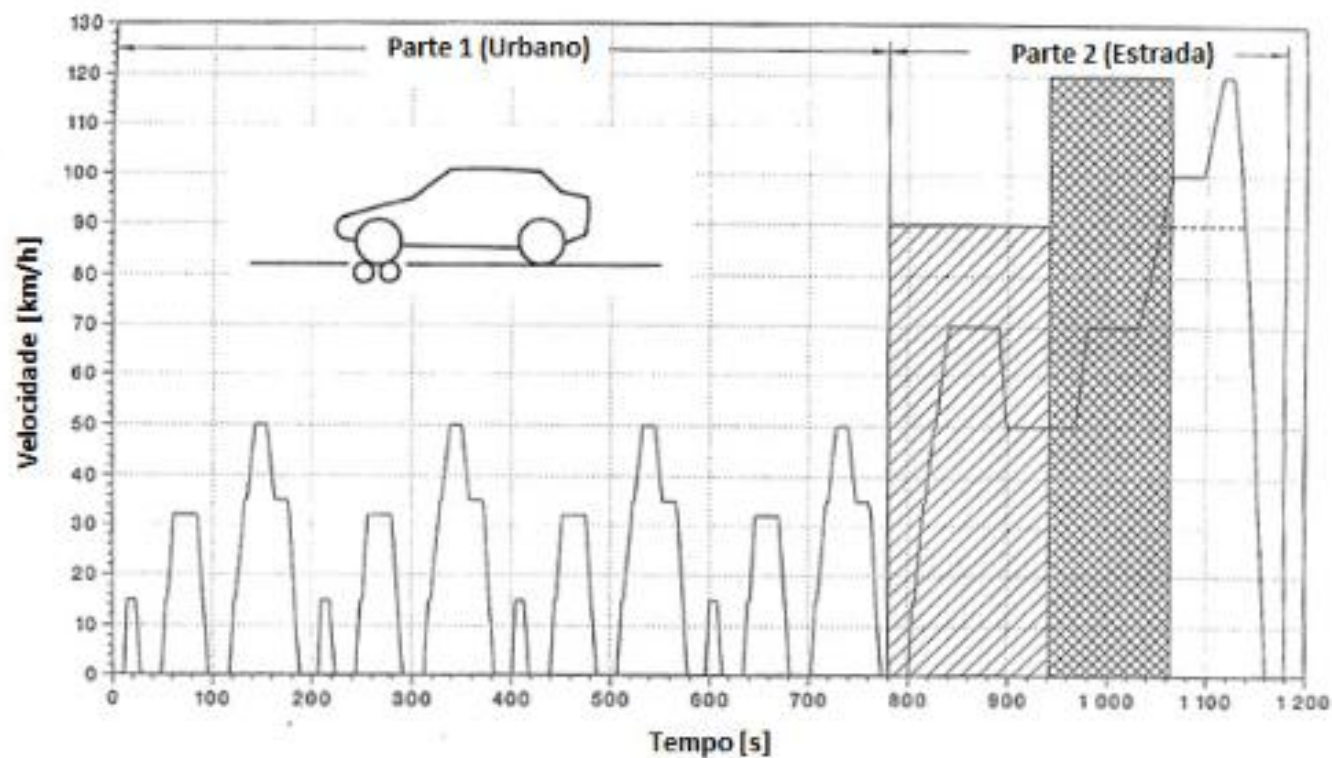


FIGURA 5.3 - CICLO DE CONDUÇÃO EUROPEU PARA CERTIFICAÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTIVEL E EMISSÕES, fonte: Ref[19]

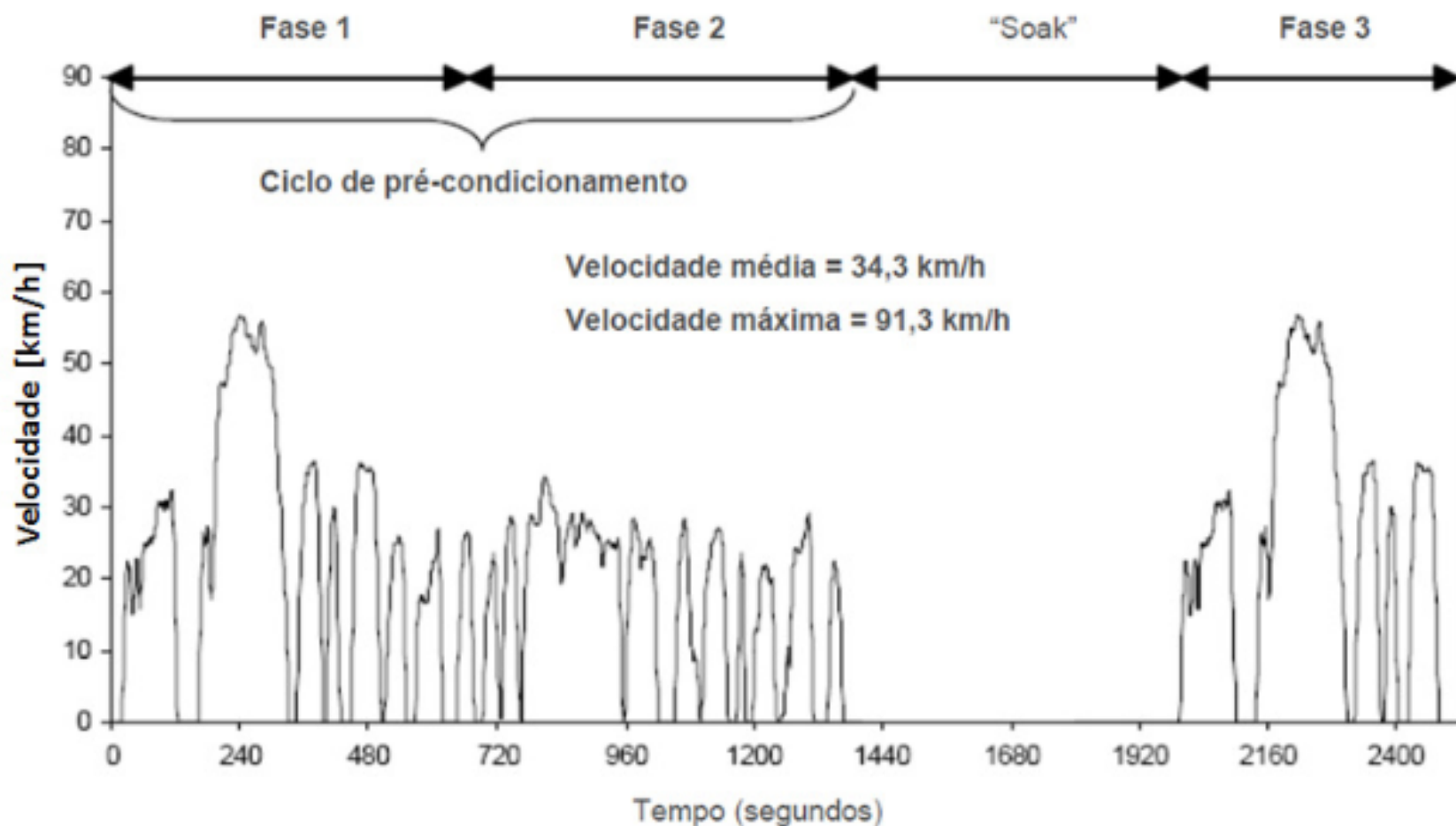


FIGURA 5.4 - CICLO DE CONDUÇÃO PARA ENSAIO DE CONSUMO NA CIDADE CONFORME NBR 7024, fonte: Ref[20]

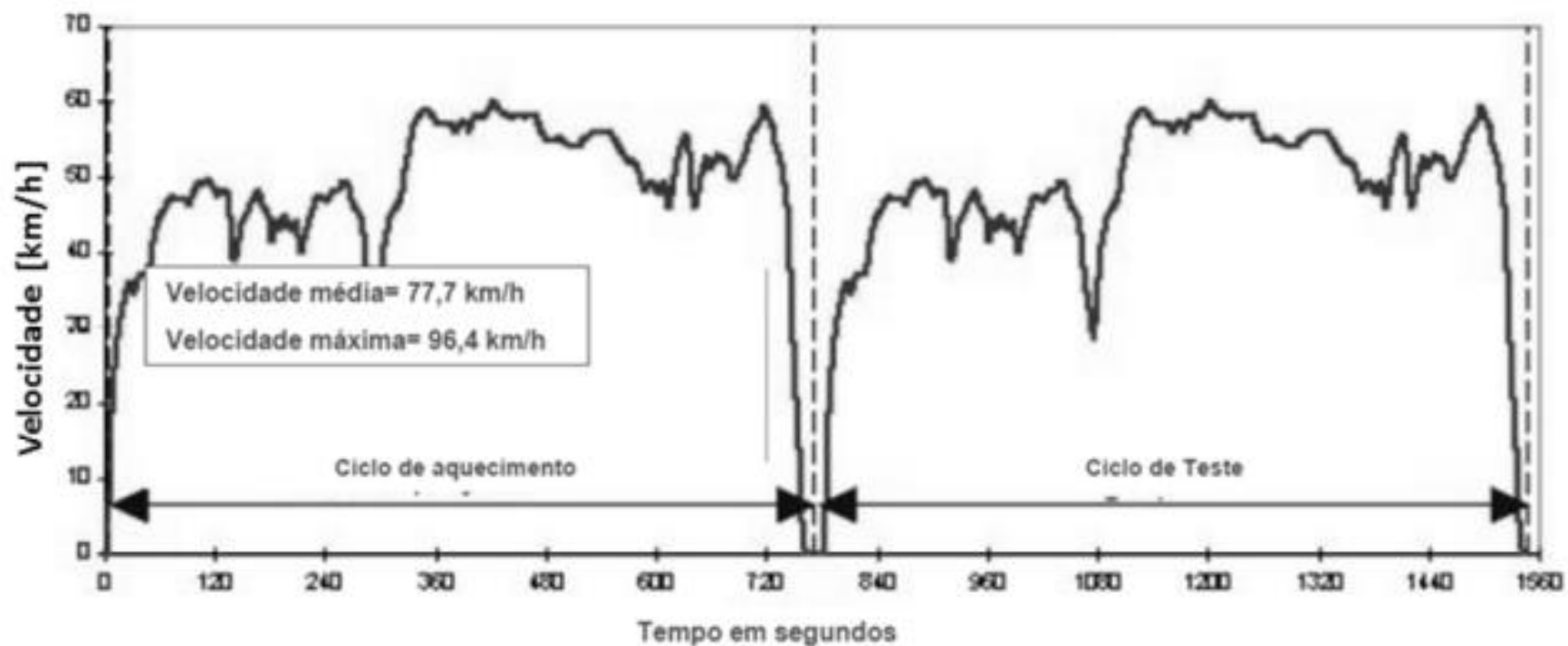


FIGURA 5.5 - CICLO DE CONDUÇÃO PARA ENSAIO DE CONSUMO NA ESTRADA CONFORME NBR 7024, fonte: Ref[20]



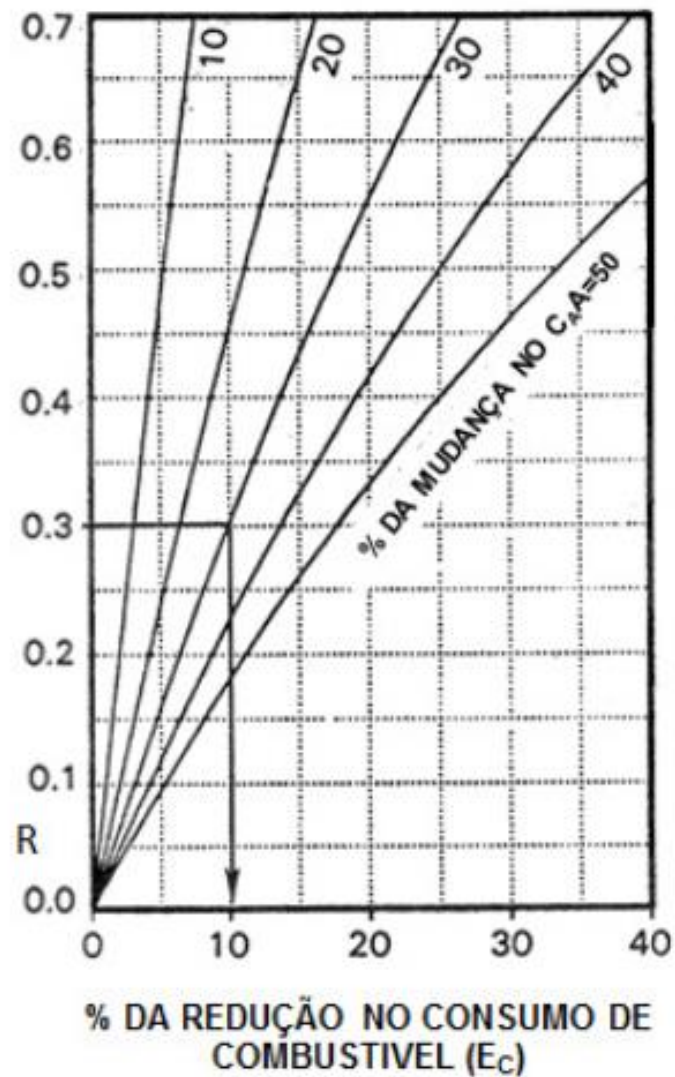


FIGURA 5.7 - DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DA REDUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL, fonte: Ref[13, 14]

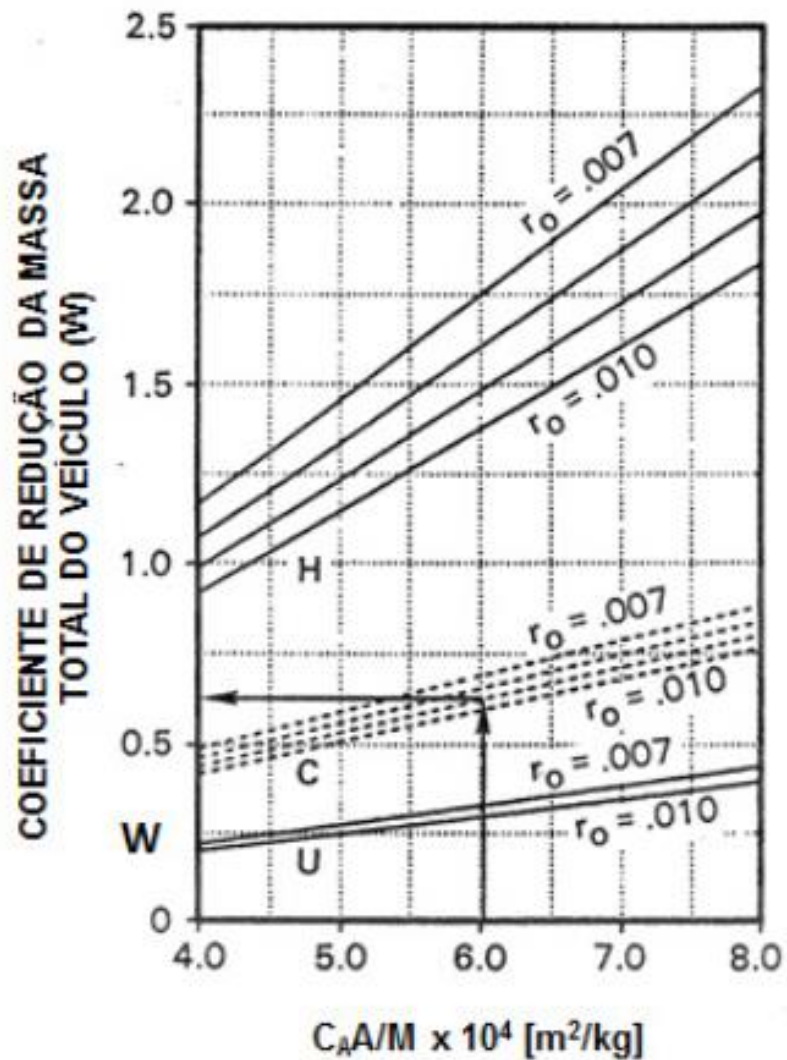


FIGURA 5.8 - DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE W PARA CÁLCULO DA REDUÇÃO DA MASSA TOTAL DO VEÍCULO, fonte: Ref[13, 14]

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WHITE, Frank M.. **Mecânica dos Fluidos**. 4. ed. Rhode Island: McGraw-Hill, 1999. 570 p.
- [2] HUCHO, Wolf-Heinrich et al. (Ed.). **Aerodynamics of Road Vehicles**. 4. ed. Warrendale: SAE International, 1998. 918 p.
- [3] GILHAUS, A. RENN, V., **Drag and Driving-Stability-Related Aerodynamic Forces and their Interdependence-Results of Measurements on 3/8-Scale Basic Car Shapes**, Warrendale: SAE Paper No 860211, SAE International, 1986.
- [4] JASSEN, L.J.; HUCHO, Wolf-Heinrich. **Aerodynamische Entwicklung von VW Golf und Scirocco**. Stuttgart: ATZ, 1975.
- [5] BUCHHEIM, R.; LEIE, B.; LUCKOFF, H.-J.. **Der Neue Audi 100-Ein Biespiel für Konsequente Aerodinamische Personenwagen-Entwicklung**. Stuttgart: ATZ, 1983.
- [6] MAULL, D.J.. **Mechanisms of Two and Three-Dimensional Base Drag**. In: SOVRAN, G.; MOREL, T.; MASON, W.T.. **Aerodynamic Drag Mechanisms of Bluff Bodies and Road Vehicles**. New York: Plenum, 1978. p.137-159.
- [7] MAIR, W.A.. **Drag-Reducing Techniques for Axi-Symmetric Bluff Bodies**. In: SOVRAN, G.; MOREL, T.; MASON, W.T.. **Aerodynamic Drag Mechanisms of Bluff Bodies and Road Vehicles**. New York: Plenum, 1978. p.161-187.
- [8] MAIR, W.A.. **Reduction of Base Drag by Boat-tailed Afterbodies in Low-Speed Flow**. *Aeronautical quarterly*. London, v. 20, 1969. p.29-36.

- [9] POTTHOFF, J.. **The Aerodynamic Layout of UNICAR Research Vehicle.** In: VEHICLE AERODYNAMICS, 1982, Wolfsburg.
- [10] MOREL, T.. **The Effect of Base Slant on the Flow Pattern and Drag of Three-Dimensional Bodies with Blunt Ends.** In: SOVRAN, G.; MOREL, T.; MASON, W.T.. Aerodynamic Drag Mechanisms of Bluff Bodies and Road Vehicles. New York: Plenum, 1978. p.191-226.
- [11] BEARMAN, P.W.. **Bluff Bodies Flows Applicable To Vehicle Aerodynamics.** In: Aerodynamics of Transportation, 1979, Niagara Falls. p.1-11.
- [12] BUCHHEIM, R.; DEUTENBACH, K.-R.; LUCKOFF, H.-J.. **Necessity and Premises for Reducing the Aerodynamic Drag of Future Passenger Cars,** Warrendale; SAE Paper No 810185, SAE, 1981.
- [13] SOVRAN, G. BOHN, M.S.. **Formula for Tractive Energy Requirements of Vehicles During the EPA-Schedules,** Warrendale; SAE Paper No 810184, SAE, 1981.
- [14] SOVRAN, G.. **Tractive Energy Based Formula for the Impact of Aerodynamics on Fuel Economy over the EPA-Schedules,** Warrendale; SAE Paper No 830304, SAE, 1983.
- [15] LIEBOLD, H.. **Aus der Entwicklung des C111 III,** Automobil-Industrie, No 2, 1979, p 29-36.

[16] EMMELMANN, H-J.,BERNEBURG, H.,SCHULZE,J. **The Aerodynamic Development of the Opel Calibra**, Warrendale; SAE Paper No 900317, SAE, 1990.

[17] MAIOLI, M..**Function Versus Apperance, The Interaction Between Customer, Stylist and Enginner in Vehicle Design**, Int. Journal of Vehicle Design, Vol. 5,1983, P 305-316.

[18] QUALITY, Office Of Transportation And Air. **Fuel Economy Test Methods**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/fueleconomy/regulations.htm#test>>. Acesso em: 04 maio 2012.

[19] NEDC (New European Driving Cycle). **93/116/EEC**, 1993.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7024**, Rio de Janeiro, ABNT, 2010.

[21] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares-PROCONVE. **Resolução Nº 315**, de 29 de outubro de 2002.

[22] CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências. **Resolução Nº 415**, de 24 de setembro de 2009.

[23] REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. **EC Nº 715/2007**, on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information, 2007.