

5 Análise Paramétrica

As simulações apresentadas neste capítulo refletem o objetivo deste trabalho em avaliar o comportamento dos fluidos da fase dispersa e contínua na formação de uma gota. Esse fenômeno ocorre principalmente por sua interface no ponto central da garganta, mediante alterações de parâmetros do modelo, como viscosidade dos fluidos e geometria do capilar.

Uma vez que o raio da interface é parâmetro determinante para a pressão capilar, optou-se por observar o deslocamento do ponto central da garganta ao longo do tempo, pois é neste local a maior probabilidade de se originar a formação de uma gota. O critério adotado para determinar a formação de uma gota é simples, e consiste no monitoramento do deslocamento do ponto central da interface entre os fluidos de fase dispersa e contínua. Se o ponto central da interface entre os fluidos for equivalente a zero, pode-se afirmar que uma gota se formou.

Juntamente com gráfico que apresenta o deslocamento do ponto central da interface com o tempo, quando necessário para o teste será apresentado também um gráfico da distribuição de pressão ao longo do capilar. Rossen (2009) cita que por haver deslocamento em escala capilar, o gráfico de pressão, em muito contribui para a observação do comportamento da interface, e portanto para a avaliação da formação de gota.

Importante mencionar que em nenhuma das simulações consideradas há escoamento forçado. Logo, a condição inicial das simulações sempre será a de velocidade nula de ambos os fluidos.

O caso base é o caso de onde se derivará as análises comparativas de cada simulação. Isto porque, como citado anteriormente no Capítulo 4, não houveram casos encontrados na literatura para simulações numéricas com dois líquidos imiscíveis que pudessem ser comparados com as simulações deste trabalho. Ainda assim, escolheu-se o trabalho de Jost (2007) para que sejam feitas análises comparativas dos resultados. Importante citar que as simulações numéricas do trabalho de Jost (2007) utilizaram interface entre gás-líquido. Também, Jost (2007) considerou em sua modelagem apenas um fluido líquido,

como sendo a fase contínua. Em todas as simulações de seu trabalho o ar era considerado como fluido de fase dispersa.

Assim pode-se considerar que o modelo desenvolvido para este trabalho é inédito para o campo numérico. Também foi possível refinar os resultados obtidos por Jost (2007), através de um modelo mais detalhado.

5.1. Caso Base

Conforme já apresentado anteriormente, os parâmetros escolhidos para o caso base estão descritos abaixo. A geometria do capilar escolhida, para fins de maior proximidade no momento da comparação foi replicada do trabalho de Jost (2007).

$$\text{Caso Base} \left\{ \begin{array}{l} \mu_1 = 1cP \\ \mu_2 = 10cP \\ L = 3 \times 10^{-3} m \\ T = L/3 \\ R_c = 100 \mu m \\ R_g = 50 \mu m \\ \delta = 75\% \times R_g \\ \sigma = 0,06 N / m \end{array} \right.$$

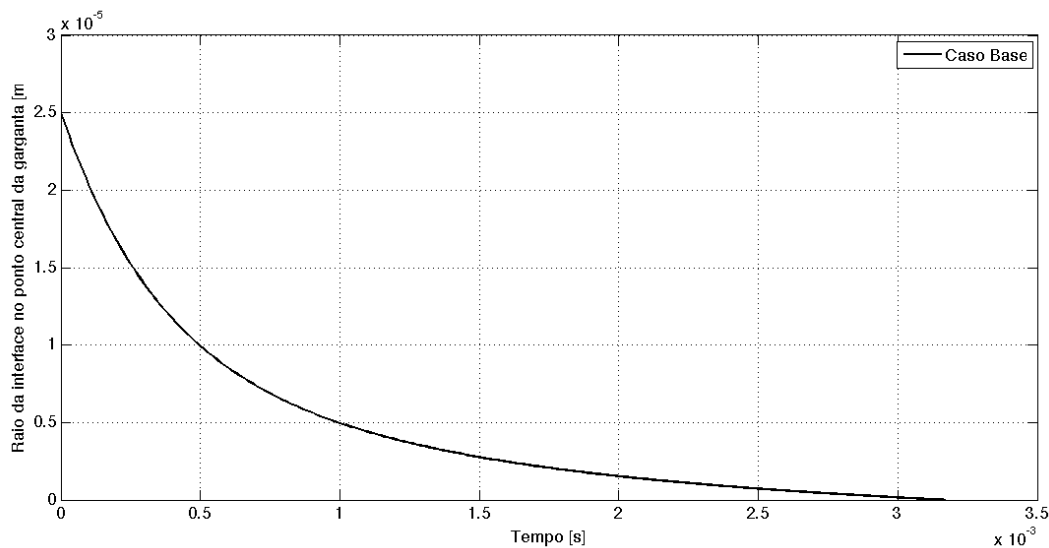


Figura 5.1: Deslocamento da interface no ponto central da garganta ao longo do tempo. Caso base.

Como pode ser visto pela Figura 5.1 houve quebra de gota em $3,18 \times 10^{-3} s$. Conforme já explicado no capítulo anterior, também houve taxa decrescente da posição da interface causada pelo estrangulamento do fluxo da fase contínua. Pela Figura 5.3 e pela Figura 5.4 é possível perceber que a pressão da fase dispersa é cerca de nove vezes maior que a pressão do fluido da fase contínua, que apresenta uma pequena variação ao longo do comprimento do capilar.

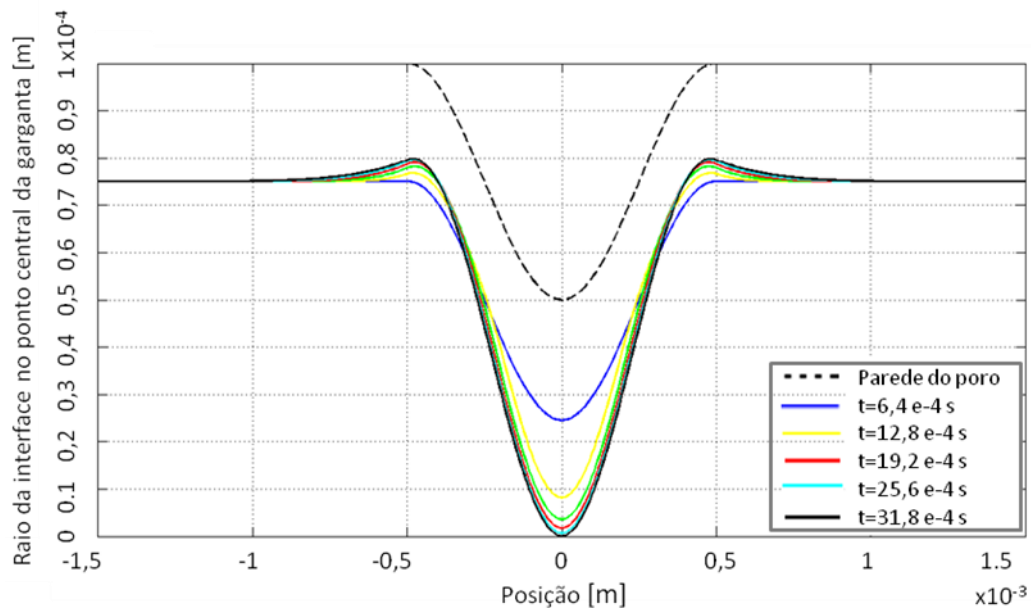


Figura 5.2: Posição da interface dos fluidos em na simetria do poro ao longo do tempo. Franjas de tempo para o Caso base.

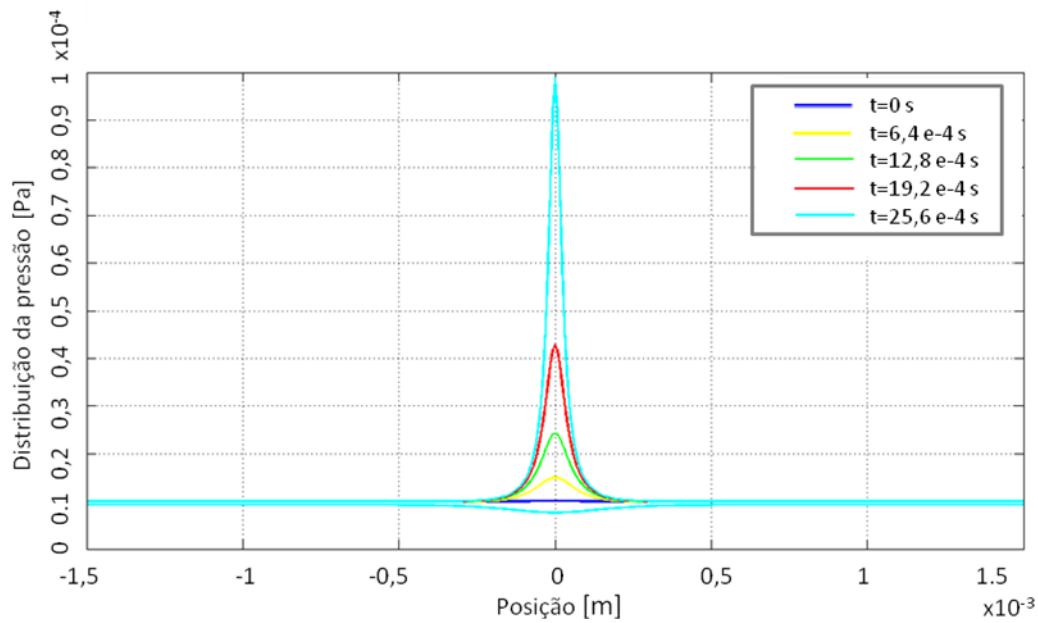


Figura 5.3: Distribuição de pressão capilar ao longo da extensão do poro. Caso base.

5.2. Efeito da Variação da Viscosidade das Fases de Fluido Contínua e Dispersa

Nesta seção as figuras abaixo ilustram o resultado de simulações, onde a partir do caso base variou-se a viscosidade do fluido da fase dispersa e da fase contínua. Observando a Figura 5.5, conclui-se que a viscosidade da fase contínua é mandatória em relação à viscosidade da fase dispersa, para a determinação do tempo de quebra de gota.

O comportamento do caso base, representado pela curva preta, assemelha-se com o caso ilustrado pela curva verde. Ambos possuem a mesma viscosidade da fase contínua, igual a 10 cP. Entretanto, a viscosidade da fase dispersa é cem vezes inferior.

O caso ilustrado pela curva azul possui um tempo de quebra de gota 10 vezes menor que o caso base, pois a viscosidade da fase contínua é 10 vezes menor, apesar de ter a mesma viscosidade da fase dispersa. O mesmo tempo de quebra de gota é repetido para o caso da curva vermelha, quando comparado com a curva azul, onde também possui a viscosidade da fase dispersa 10 vezes inferior do que o caso base. Contudo as curvas azul e vermelha possuem a mesma viscosidade da fase contínua.

Em termos quantitativos, quando a viscosidade do fluido da fase contínua se encontra na faixa de 10 cP (caso base), o tempo necessário para se formar uma gota é de $3,18 \times 10^{-3} s$. Considerando que os demais parâmetros da geometria do capilar e da propriedade dos fluidos de ambas as fases se mantenham inalterados, quando a viscosidade da fase contínua é reduzida 10 vezes, o tempo de quebra de gota é cerca de $3,18 \times 10^{-4} s$, ou seja, também 10 vezes menor.

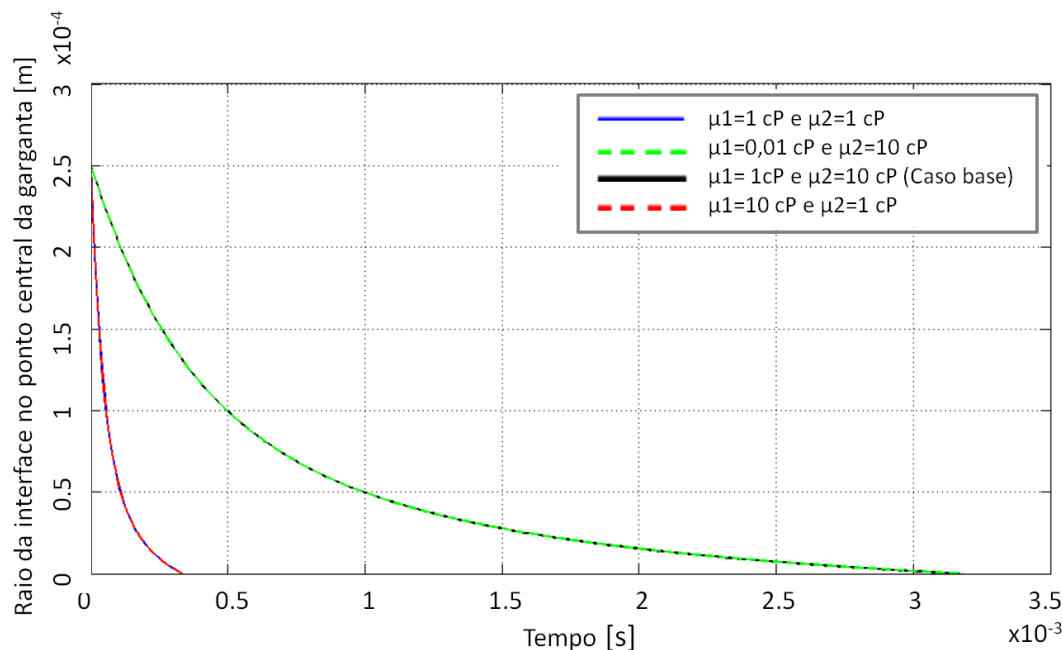


Figura 5.4: Deslocamento do ponto central da garganta ao longo do tempo. Variação da viscosidade da fase dispersa.

Na Figura 5.5, os resultados obtidos nas simulações deste trabalho são comparados com os resultados extraídos de Jost (2007). Observa-se que em ambos os trabalhos a variação da viscosidade da fase contínua em relação ao tempo de quebra de gota é linear. Ainda, para uma viscosidade de 0,01 cP, Jost (2007) determina que o tempo de quebra de gota seria na ordem de $2,65 \times 10^{-4} s$. A diferença nos tempos das simulações, responsável pela defasagem vertical das curvas da Figura 5.4, se deve ao fato de que Jost (2007) considerou para seu caso base uma espessura de filme da ordem de 10% o valor do raio do capilar, quando que para este trabalho o valor da espessura de filme para o caso base é de 75% do raio do capilar.

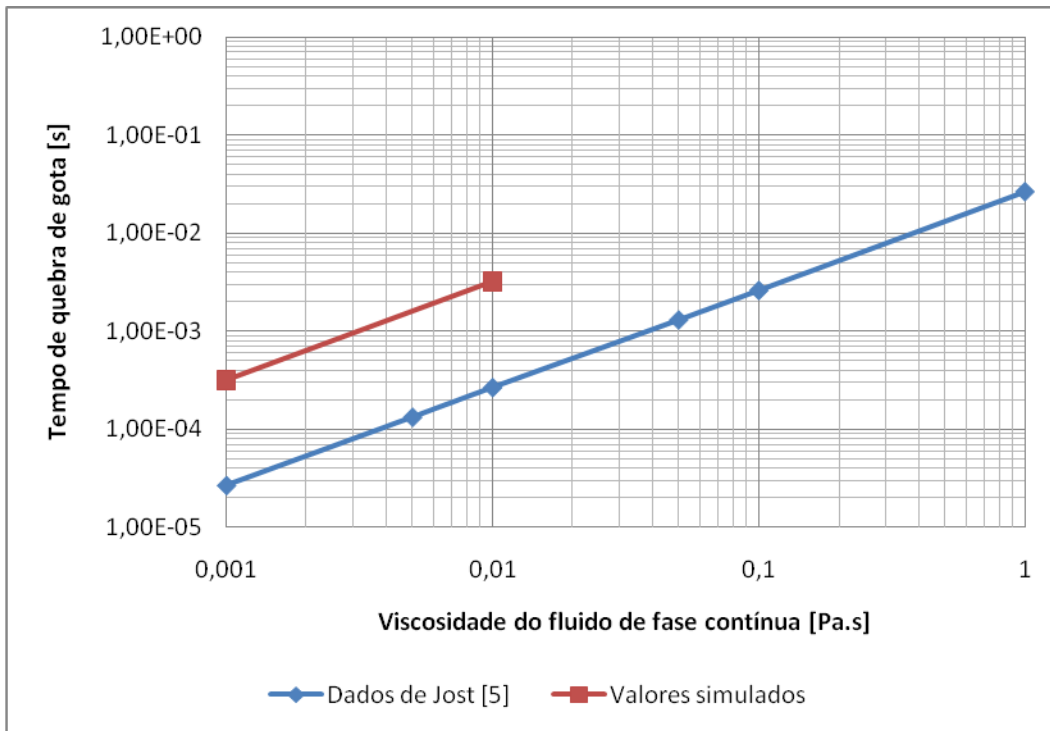


Figura 5.5: Influência da viscosidade da fase contínua no tempo de quebra de gota. Jost (2007).

A Figura 5.6 e a Figura 5.7 indicam que a taxa decrescente da variação da posição da interface é função do estrangulamento do fluxo da fase contínua em direção a garganta. Estas figuras mostram os dois casos de variação da viscosidade do fluido de fase contínua, ilustrando que em ambos ocorre a formação de gota.

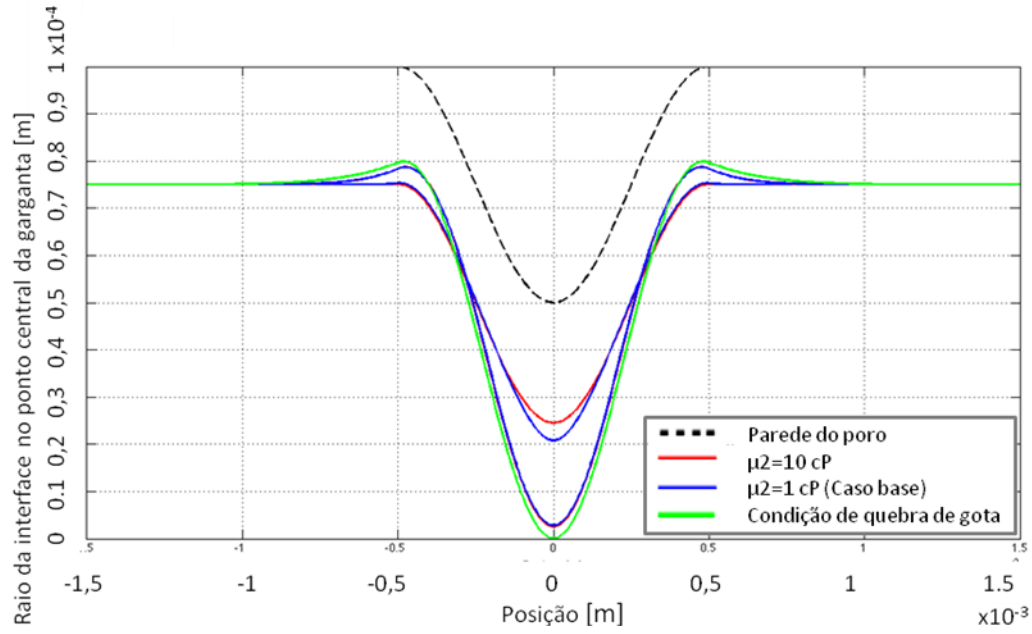


Figura 5.6: Posição da interface dos fluidos ao longo da extensão do poro. Variação da viscosidade da fase contínua.

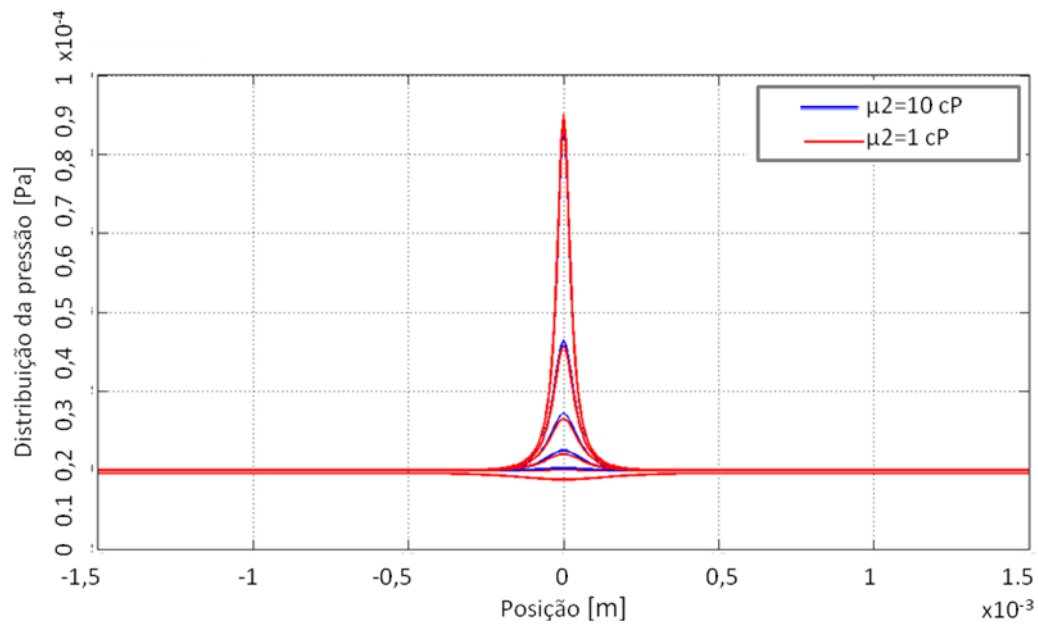


Figura 5.7: Distribuição de pressão adimensional ao longo da extensão do poro. Variação da viscosidade da fase contínua.

5.3. Efeito da Variação do Raio da Garganta

Nas simulações apresentadas nesta seção, as propriedades dos fluidos da fase dispersa e da fase contínua do caso base serão mantidas. Apenas o raio da garganta do capilar será alterado para análise de sua influência na quebra de gota. As simulações com raio de garganta de 20 μm , 50 μm e 60 μm foram estudados.

Pela Figura 5.8, analisa-se que quanto menor o raio da garganta, mais rápido ocorre a quebra de gota. Esse efeito pode ser explicado, pois o gradiente da pressão capilar é incrementado à medida que se diminuiu o raio da garganta. A pressão capilar é maior no caso com o raio da garganta de 20 μm , quando comparado com os casos de 50 μm e 60 μm , resultando em um fluxo de fluido de fase contínua mais elevado.

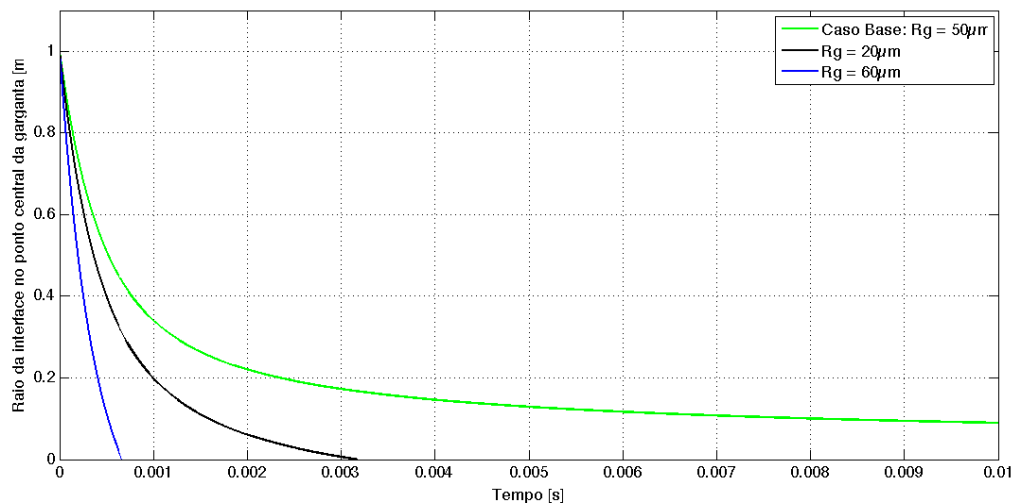


Figura 5.8: Deslocamento da interface no ponto central da garganta ao longo do tempo. Variação do raio da garganta.

De maneira oposta, como ilustrada na Figura 5.9, se o raio da garganta for maior a pressão capilar será menor, resultando em um fluxo menor dos fluidos. Para um caso extremo, se o raio da garganta for igual ao raio do capilar, ou seja, um capilar sem garganta, então não haverá deslocamento das interfaces se não houver escoamento forçado. Por consequência não haverá formação de gota, pois os fluidos se manterão estáticos.

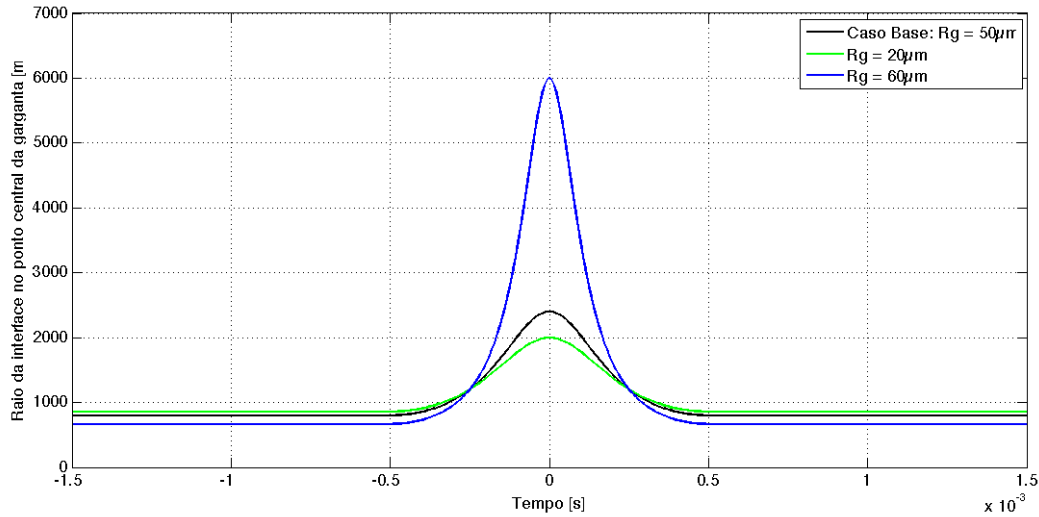


Figura 5.9: Pressão capilar inicial em função do raio da garganta.

Através da Figura 5.10 os resultados do tempo de quebra de gota são apresentados em função do raio da garganta do capilar. Nesta figura é possível verificar que o ajuste exponencial foi o que representou melhor os resultados destas simulações. Quando comparado com o ajuste da Figura 5.11 relacionada ao trabalho de Jost (2007), observa-se um comportamento da linha de tendência de potência, devido às simplificações intrínsecas ao seu modelo.

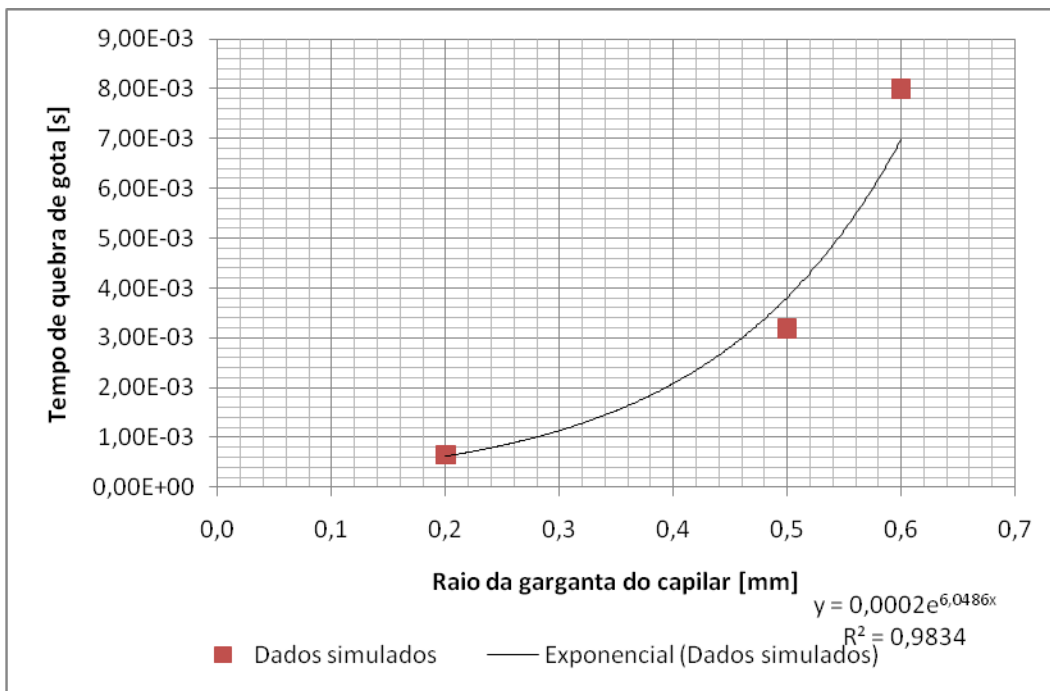


Figura 5.10: Tempo de quebra de gota em função do raio da garganta do capilar.

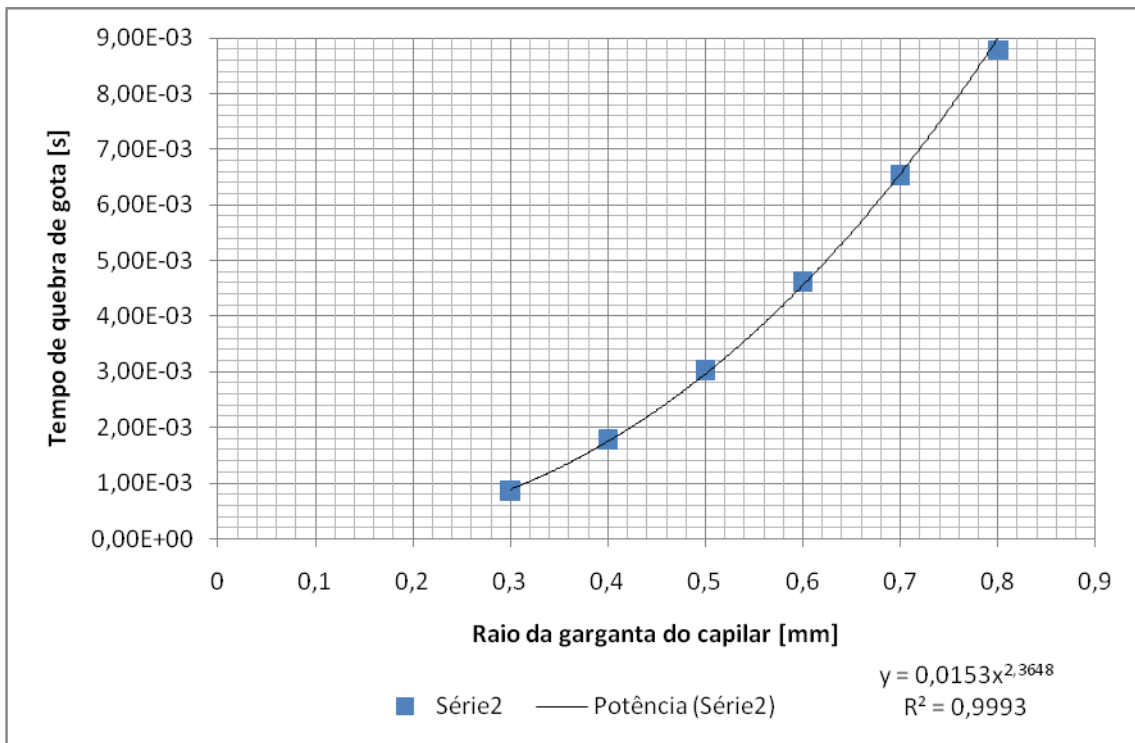


Figura 5.11: Dados de Jost (2007). Tempo de quebra de gota em função do raio da garganta do capilar.

5.4.

Efeito da Variação da Espessura de Filme da Fase Contínua

Nestas simulações serão mantidas as propriedades dos fluidos de fase dispersa, de fase contínua, bem como a geometria do capilar. Para análise da influência no tempo de quebra de gota, será alterada apenas a espessura de filme do fluido da fase contínua no instante inicial no capilar.

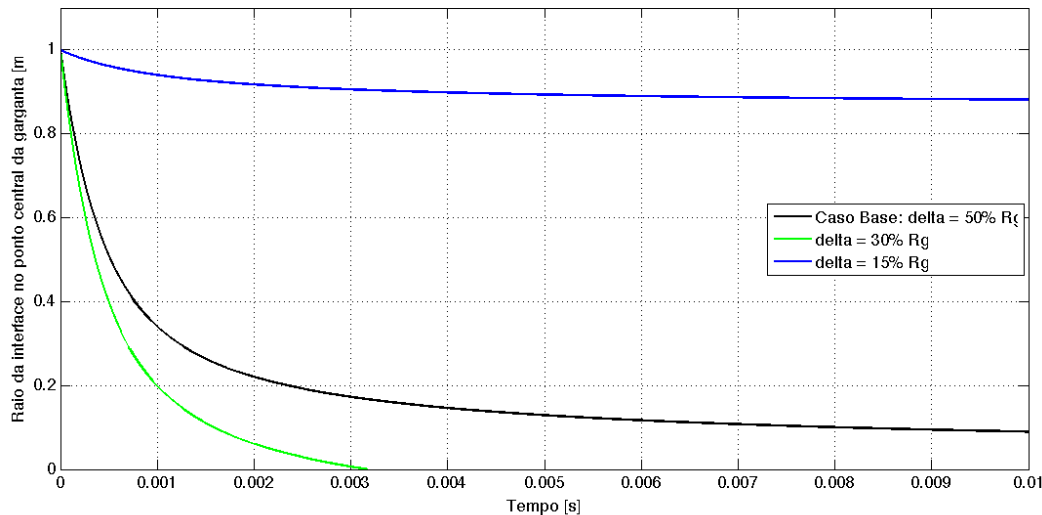


Figura 5.12: Deslocamento da interface no ponto central da garganta ao longo do tempo. Variação da espessura de filme.

Pela Figura 5.12 é de se esperar que para uma maior camada de fluido da fase contínua a quebra de gota ocorra mais rapidamente. Isso se dá pelo fato de que uma espessura maior do filme deste fluido reduz o raio equivalente do fluido da fase dispersa, incrementando a pressão capilar, além de diminuir a resistência viscosa ao escoamento da fase contínua na direção da garganta.

Conforme observado na Figura 5.13, em consequência do aumento da pressão capilar, e também do aumento do fluxo da fase contínua, há uma redução mais acelerada da vazão deste fluido na região da garganta, sendo responsável pela taxa decrescente da interface. É notório que para espessuras de filme de fluido de fase contínua menores, o tempo de quebra de gota será maior. Por sua vez, a resistência viscosa para fase contínua escoar em direção a garganta e formar o colar é maior para filmes finos, o fluxo desta fase torna-se pequeno. Como não há escoamento forçado, a quebra de gota ocorrerá mais

lentamente, quando comparado com o caso base, pois nestes casos a vazão será muito baixa.

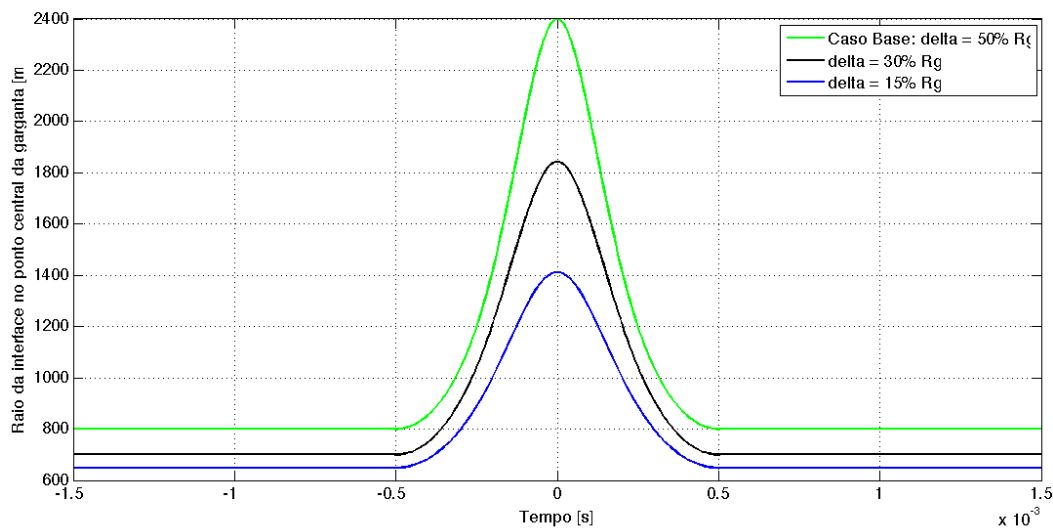


Figura 5.13: Pressão capilar inicial em função da espessura de filme do fluido da fase contínua.

Através da Figura 5.14 é possível verificar que o ajuste exponencial foi o que melhor representou os resultados desta simulação. Ou seja, o tempo de quebra de gota varia exponencialmente em função da espessura de filme da fase contínua.

Quando comparado o ajuste deste trabalho com o da Figura 5.15, relacionada ao trabalho de Jost (2007), observa-se um comportamento semelhante, porém Jost (2007) utiliza uma linha de tendência em potência. Essa diferença pode ser atribuída as simplificações intrínsecas ao seu modelo.

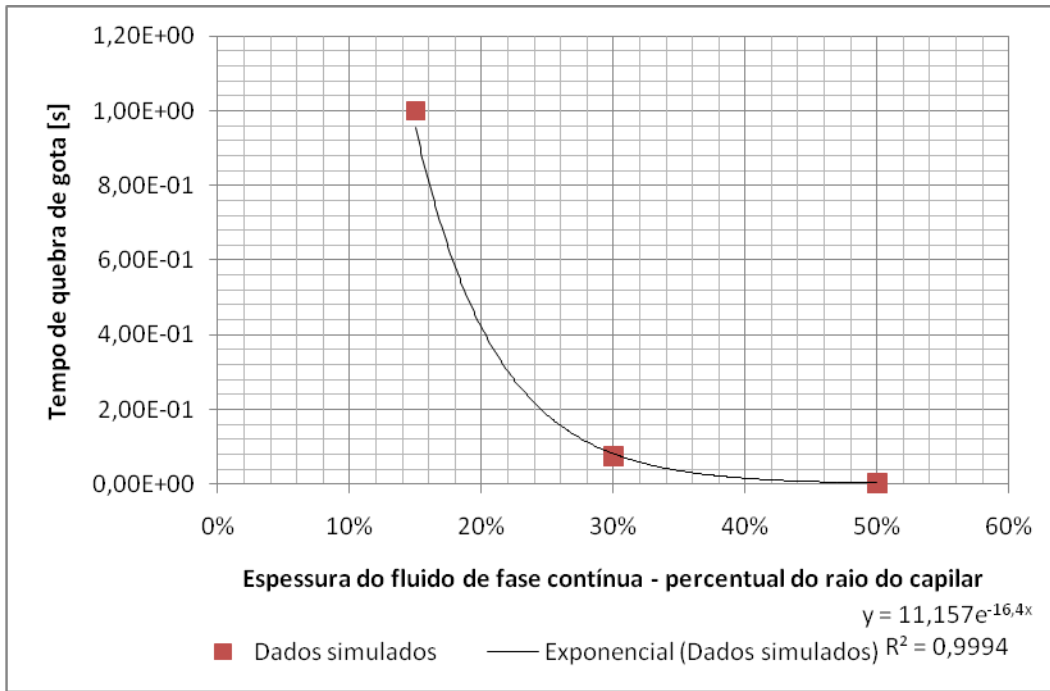


Figura 5.14: Tempo de quebra de gota em função da espessura do filme.

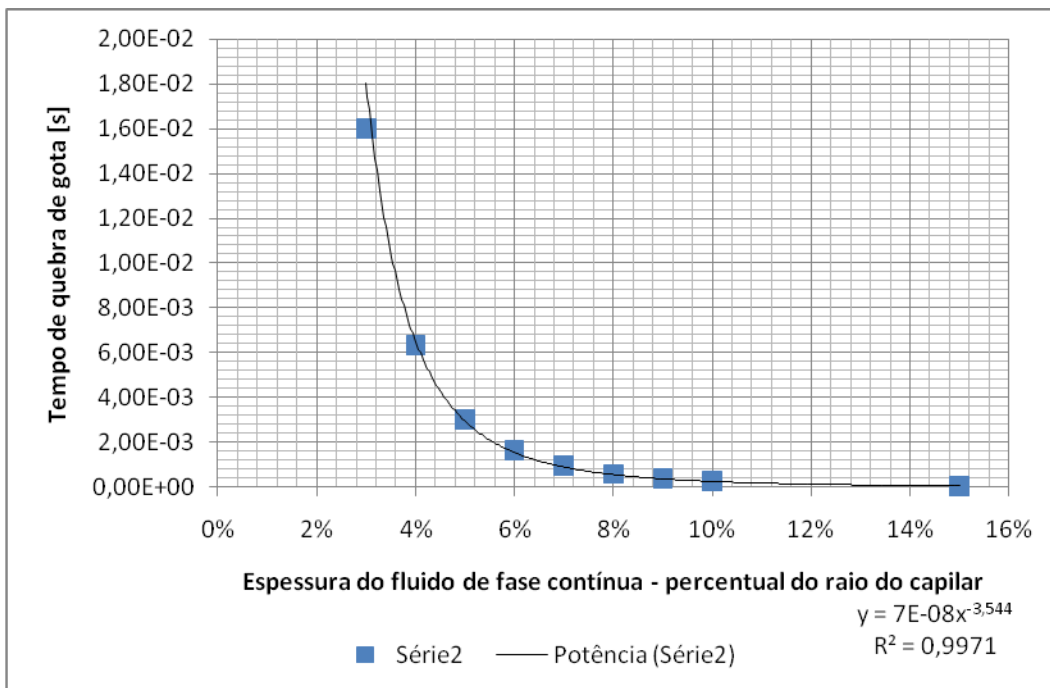


Figura 5.15: Resultados de Jost (2007). Tempo de quebra de gota em função da espessura do filme de fluido da fase contínua.