

Universidade Federal de Alagoas  
Instituto de Computação  
Laboratório de Computação Científica e Análise Numérica

## **Relatório de acompanhamento de pesquisa**

Aluno: Danilo Fernandes Costa  
Professor orientador: Alejandro Frery

Dezembro  
2018

# 1 Introdução

Uma forma interessante de representar-se os dados PolSAR é através da matriz de Kennaugh, visto que é composta apenas por valores reais e preserva a informação de retroespalhamento (RATHA; BHATTACHARYA; FRERY, 2018). Dada uma matriz de coerência  $T$  associada a um pixel da imagem, a sua correspondente matriz de Kennaugh é da forma:

$$K = \begin{bmatrix} \frac{T_{11}+T_{22}+T_{33}}{2} & \Re(T_{12}) & \Re(T_{13}) & \Im(T_{23}) \\ \Re(T_{12}) & \frac{T_{11}+T_{22}-T_{33}}{2} & \Re(T_{23}) & \Im(T_{13}) \\ \Re(T_{13}) & \Re(T_{23}) & \frac{T_{11}-T_{22}+T_{33}}{2} & -\Im(T_{12}) \\ \Im(T_{23}) & \Im(T_{13}) & -\Im(T_{12}) & \frac{-T_{11}+T_{22}+T_{33}}{2} \end{bmatrix}.$$

Dadas as matrizes de Kennaugh  $K_1$  e  $K_2$ , é possível medir a distância entre as mesmas, por meio da distância geodésica, da seguinte forma:

$$GD(K_1, K_2) = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{\text{Tr}(K_1^T K_2)}{\sqrt{\text{Tr}(K_1^T K_1)} \sqrt{\text{Tr}(K_2^T K_2)}} \right).$$

Em posse disto, é possível medir a semelhança, a qual é dada por  $f(K_1, K_2) = 1 - GD(K_1, K_2)$ , entre os dados PolSAR e retroespalhadores prototípicos conhecidos. Dentro destes, temos o *triangular*, *dihedral*, *random volume*, *narrow dihedral*, *cylinder*, *dipole*, *left helix*, *right helix*, *+1/4-wave* e *-1/4-wave*, cujas matrizes de Kennaugh são, respectivamente:

$$K_a = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, K_b = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, K_{rv} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

$$K_{nd} = \begin{pmatrix} 5/8 & 3/8 & 0 & 0 \\ 3/8 & 5/8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{pmatrix}, K_c = \begin{pmatrix} 5/8 & 3/8 & 0 & 0 \\ 3/8 & 5/8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/2 \end{pmatrix},$$

$$K_d = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, K_{lh} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, K_{rh} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$K_{+1/4} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, K_{-1/4} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

No presente relatório são apresentados histogramas das similaridades dos dados de regiões de vegetação e solo exposto em relação aos retroespalhadores prototípicos supracitados. Os dados utilizados foram obtidos em UAVSAR e referem-se às regiões de Sierra del Lacandon National Park, Guatemala; Ponderosa Forest, Califórnia, EUA e Slumgullion, Colorado, EUA.

## 2 Histogramas das similaridades

Para o cálculo das similaridades é necessário que os dados referentes às bandas HHHH, HVHV, VVVV, HHHV, HHVV e HVVV estejam carregados no formato de matrizes na memória. Feito isto, é calculado a intensidade dos dados complexos referentes a esses três últimos obtendo-se seu módulo por meio da função nativa Mod e elevando o resultado ao quadrado.

Para calcular as similaridades, executou-se o seguinte script:

```
mod_kennaugh <- sqrt( hhhh^2 + hvhv^2 + vvvv^2 +
                        2*int_hhhv + 2*int_hhvv + 2*int_hvvv )

similarity_trihedral <- 1 - (2/pi)*acos( hhhh / mod_kennaugh )
similarity_dihedral <- 1 - (2/pi)*acos( hvhv / mod_kennaugh )
similarity_rand_vol <- 1 - (2/pi)*acos( ( 2*hhhh + hvhv + vvvv ) /
                                         ( sqrt(6)*mod_kennaugh ) )

similarity_narrow_dihedral <- 1 - (2/pi)*acos((hhhh + 9*hvhv + 6*Re(hhhv))/
                                                 (10*sqrt_trace_kennaugh) )

similarity_cylinder <- 1 - (2/pi)*acos( ( 9*hhhh + hvhv + 6*Re(hhhv) ) /
                                         (10*sqrt_trace_kennaugh) )

similarity_dipole <- 1 - (2/pi)*acos( ( hhhh + hvhv - 2*Re(hhhv) ) /
                                         (2*sqrt_trace_kennaugh) )

similarity_left_helix <- 1 - (2/pi)*acos( ( hvhv + vvvv - 2*Im(hvvv) ) /
                                              (2*sqrt_trace_kennaugh) )
similarity_right_helix <- 1 - (2/pi)*acos( ( hvhv + vvvv + 2*Im(hvvv) ) /
                                              (2*sqrt_trace_kennaugh) )
```

```

similarity_pos_wave <- 1 - (2/pi)*acos( ( hhhh + hvhv - 2*Im(hhhv) ) /
                                         (2*sqrt_trace_kennaugh) )
similarity_neg_wave <- 1 - (2/pi)*acos( ( hhhh + hvhv + 2*Im(hhhv) ) /
                                         (2*sqrt_trace_kennaugh) )

```

Nas figuras 1, 2 e 3 estão indicadas as regiões cujos dados foram utilizados no cálculo das similaridades em relação aos retroespalhadores citados.



Figura 1: Regiões 1, 2, 3, 4 e 5 selecionadas da Sierra del Lacandon National Park, Guatemala

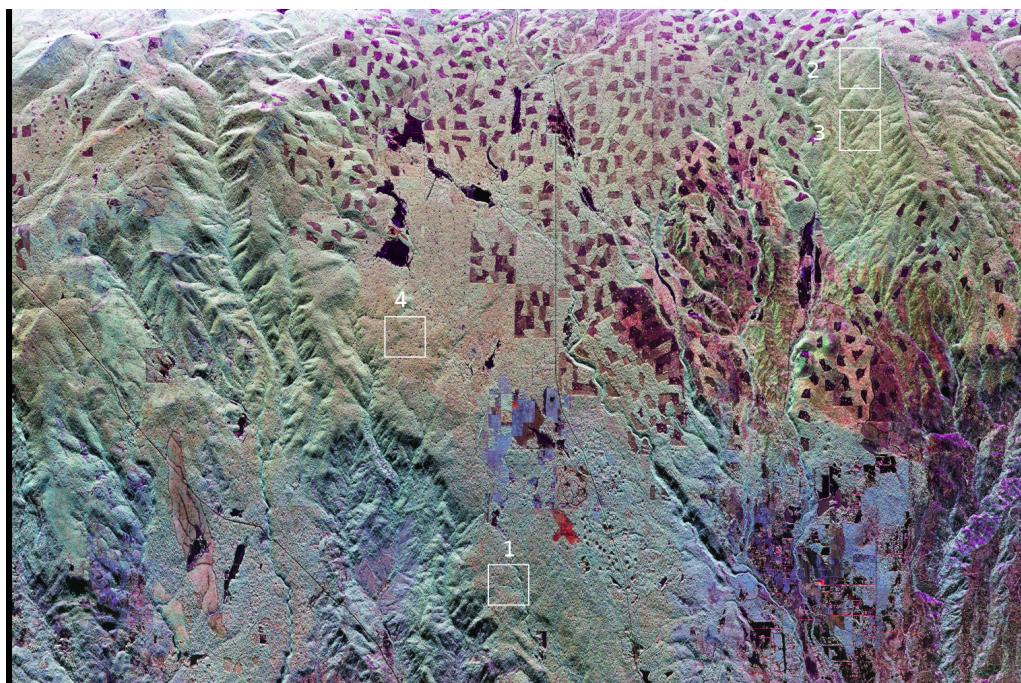


Figura 2: Regiões 1, 2, 3 e 4 selecionadas de Ponderosa Forest, California, USA

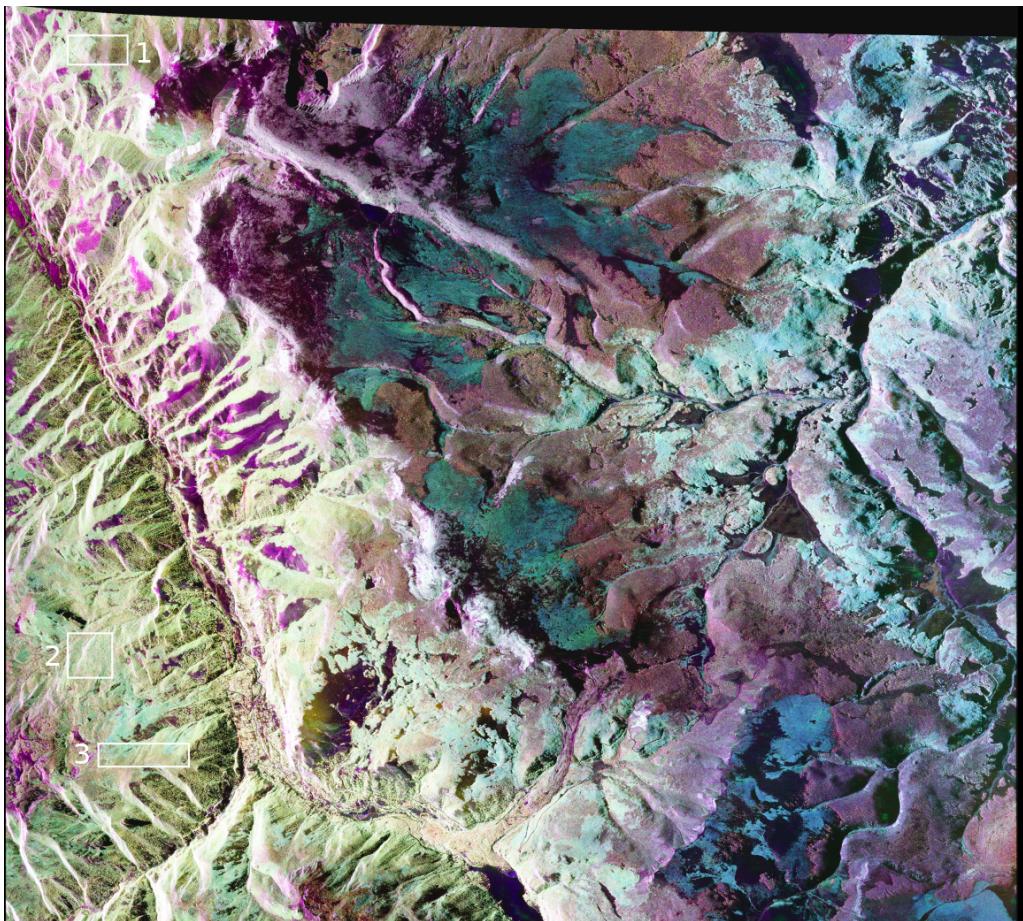


Figura 3: Regiões 1, 2 e 3 selecionadas de Slumgullion, Colorado, USA

As figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 apresentam os histogramas das similaridades em relação ao retroespalhador prototípico *triangular* dos dados de regiões de vegetação com diferentes níveis de cobertura vegetal. Em cada imagem, as regiões selecionadas apresentam nível similar de cobertura vegetal; com exceção da figura 1, visto que a região 5 é uma plantação e as regiões 1 à 4 são trechos florestais. É observável o ajuste desses histogramas a distribuições Normais com parâmetros relativamente próximos em regiões de nível similar de vegetação. Além disso, os histogramas sugerem que a diminuição do nível de vegetação implica em um aumento na média e que para valores de média acima de 0.517 começa a apresentar um considerável comportamento assimétrico. Possivelmente, isto se dá devido a detecção de outros retroespalhadores, como solo.

**Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

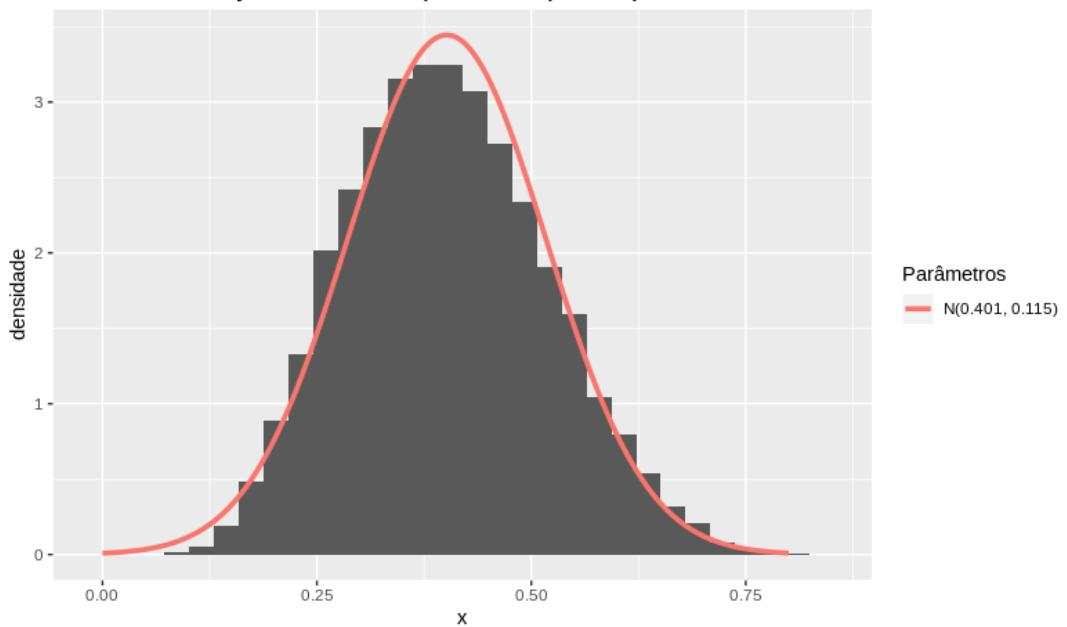


Figura 4: Região 1, Guatemala

**Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

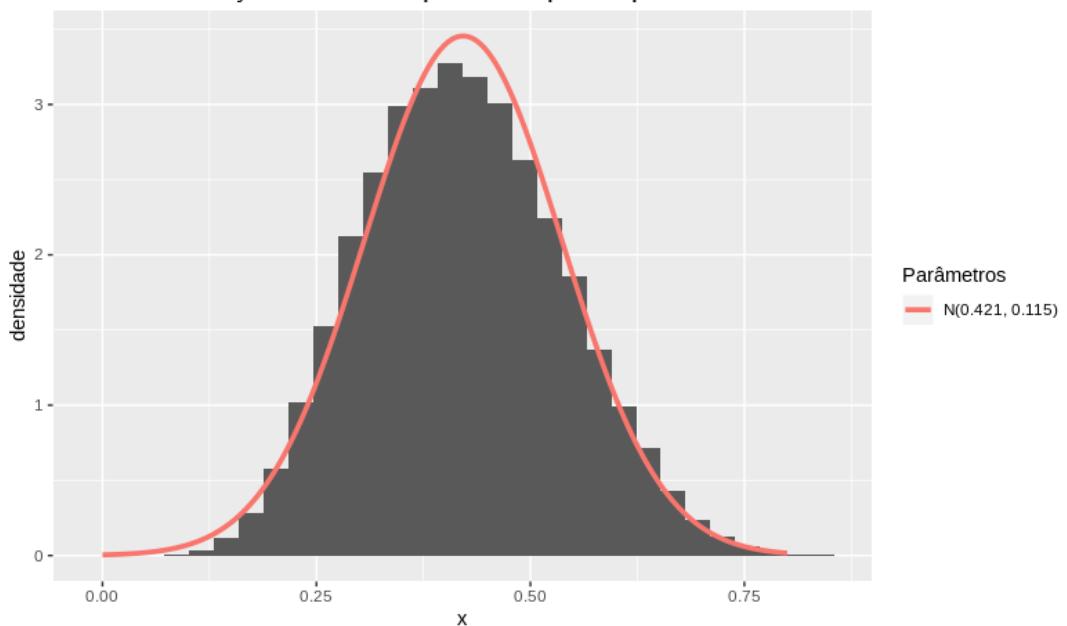


Figura 5: Região 2, Guatemala

Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico

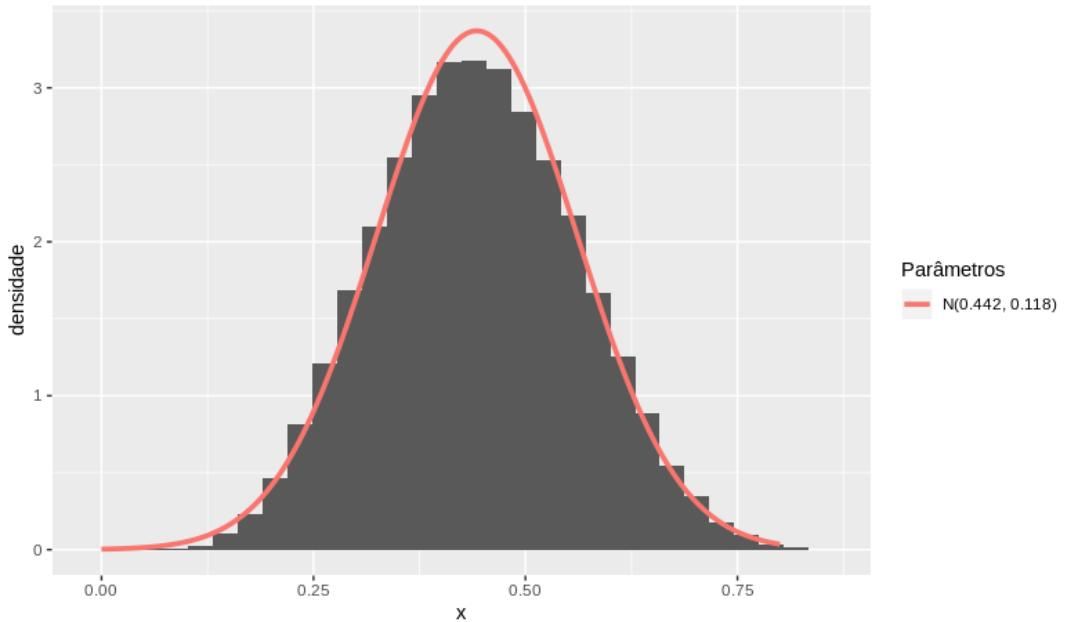


Figura 6: Região 3, Guatemala

Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico

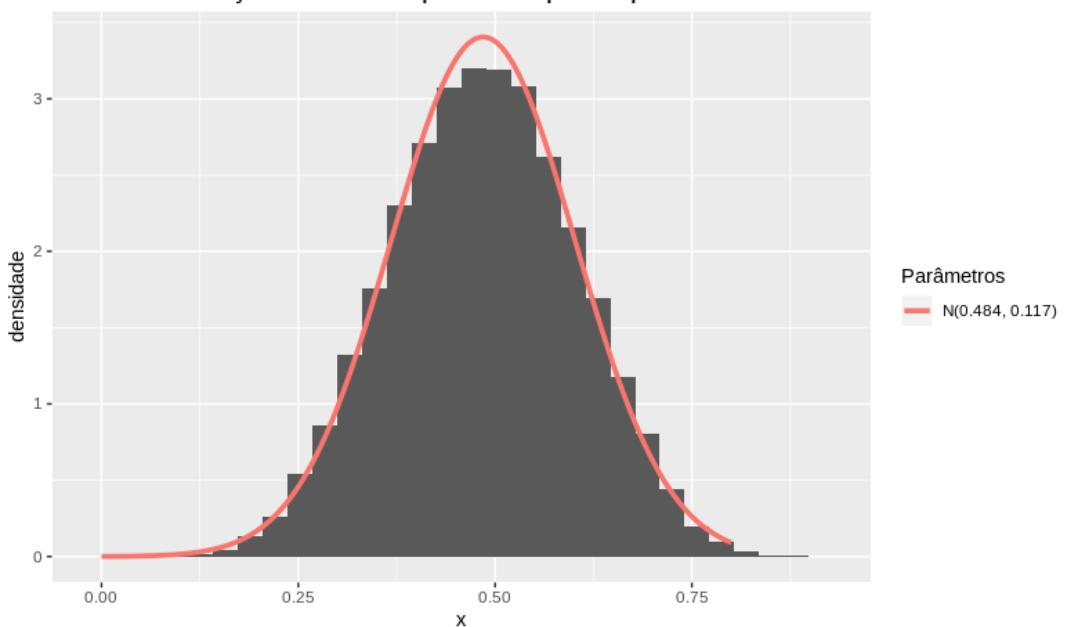


Figura 7: Região 4, Guatemala

Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico

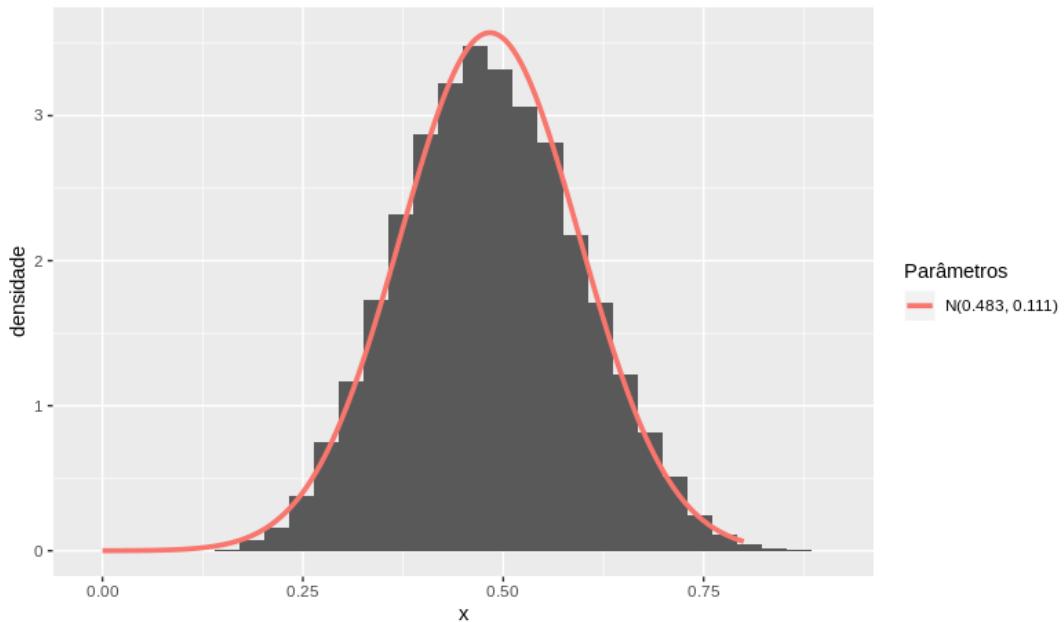


Figura 8: Região 5, Guatemala

Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico

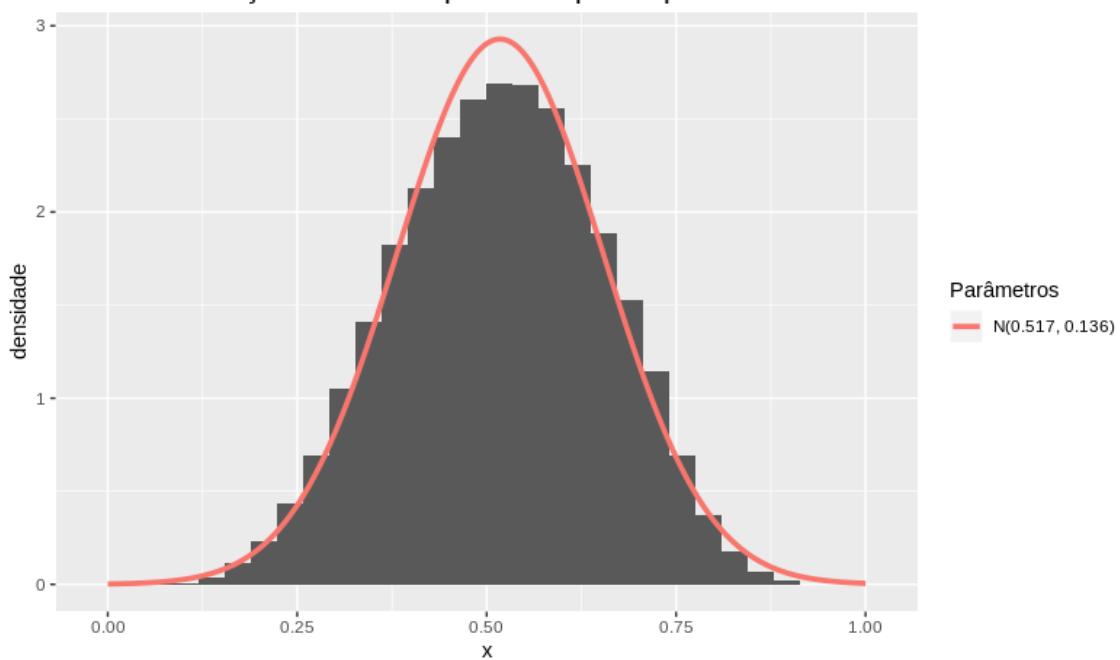


Figura 9: Região 1, Ponderosa Forest

**Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

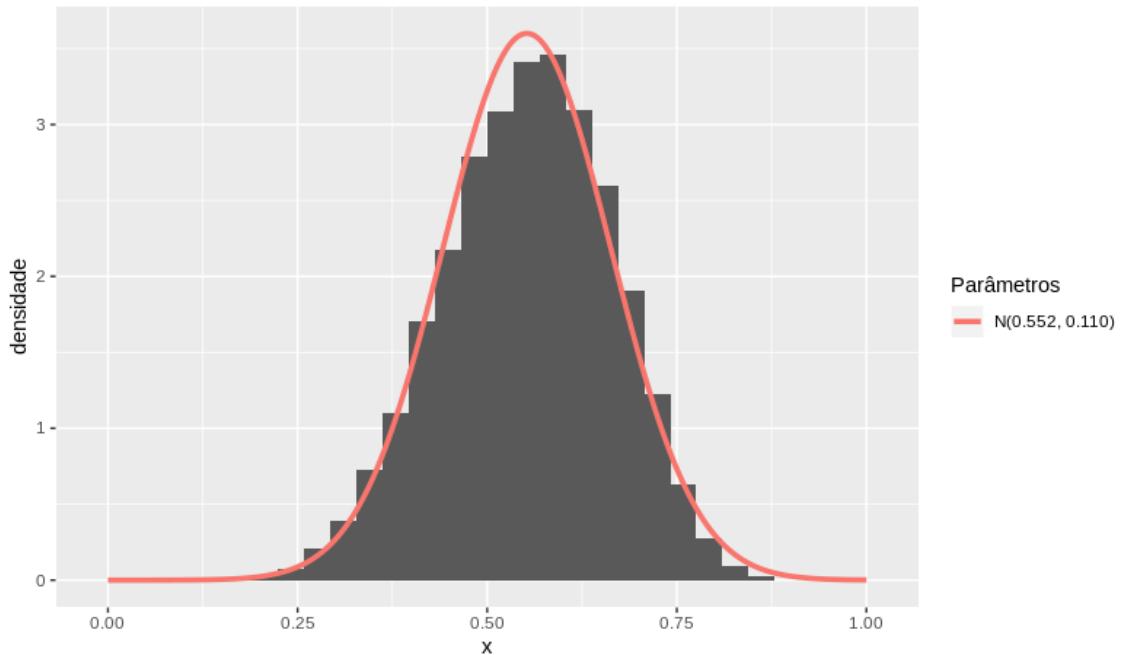


Figura 10: Região 2, Ponderosa Forest

**Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

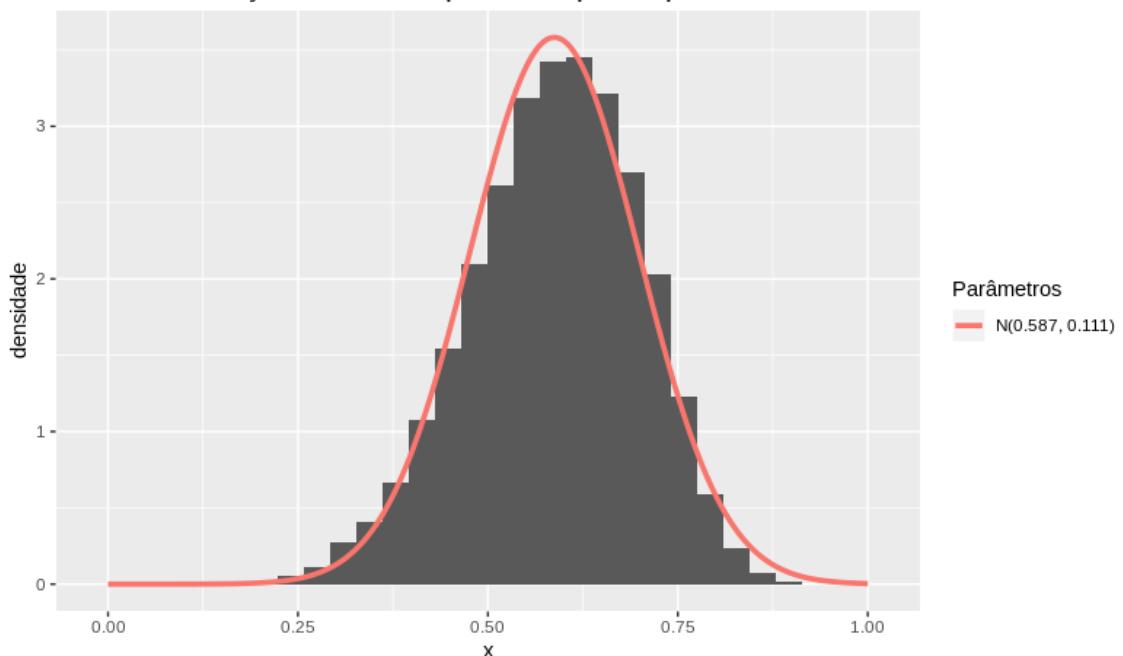


Figura 11: Região 3, Ponderosa Forest

**Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

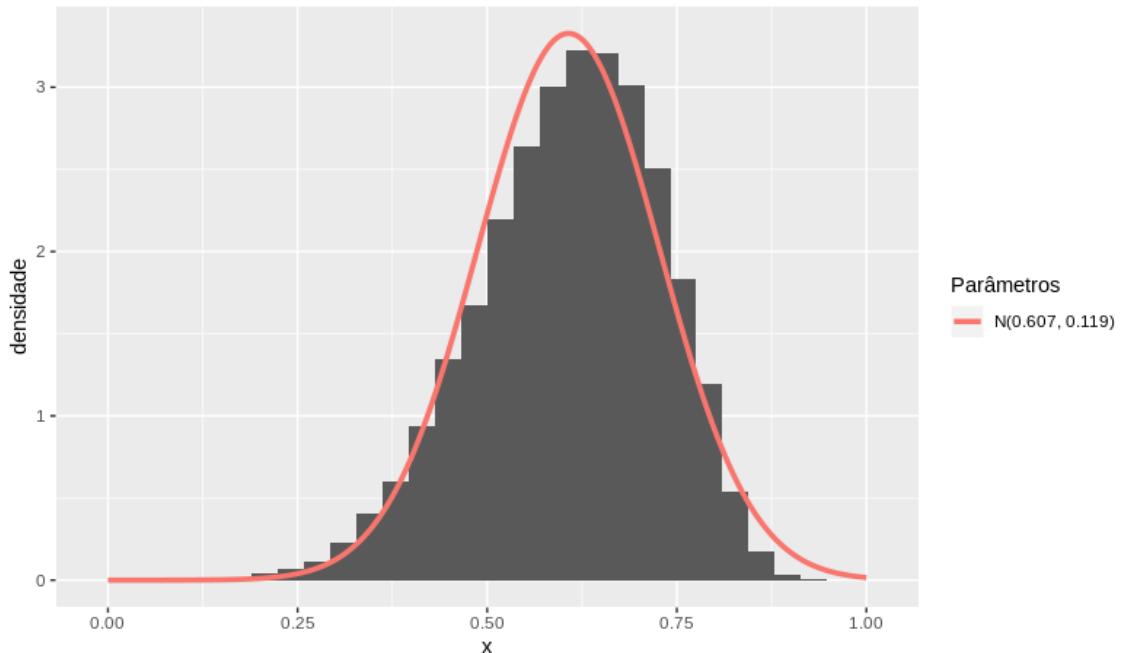


Figura 12: Região 4, Ponderosa Forest

**Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

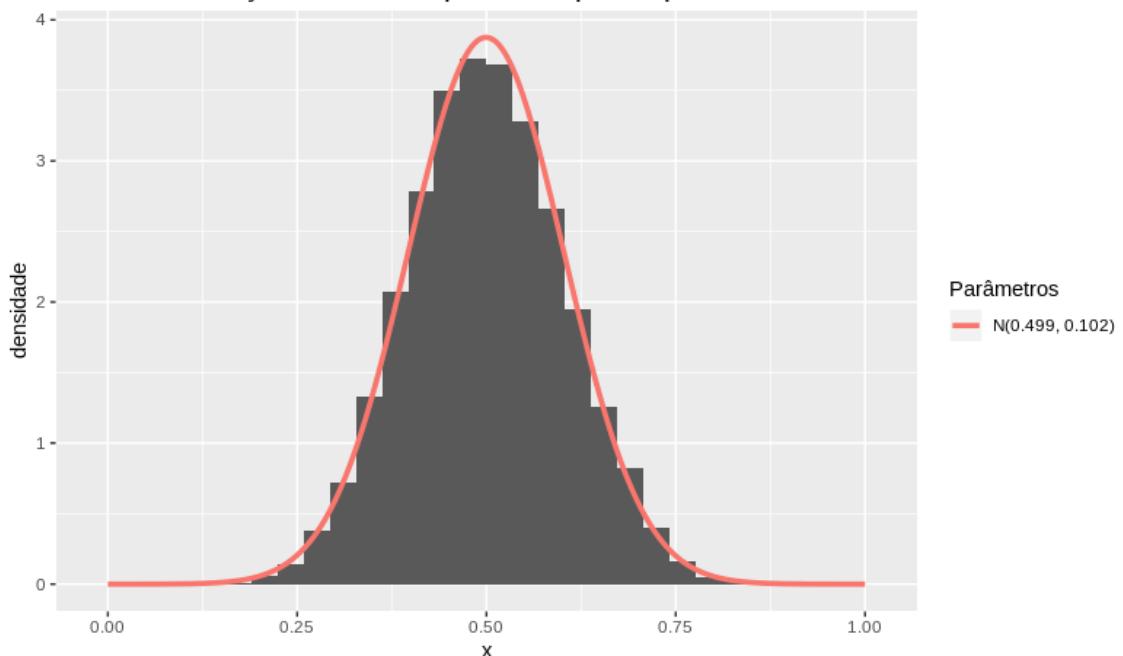


Figura 13: Região 1, Slumgullion

**Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

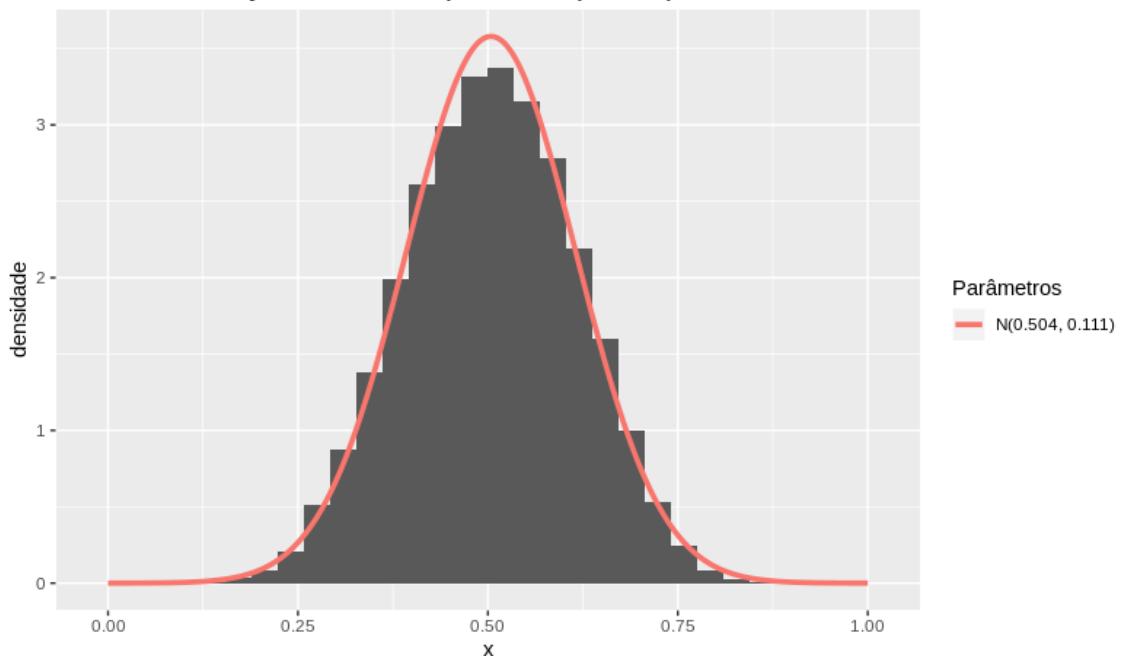


Figura 14: Região 2, Slumgullion

**Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

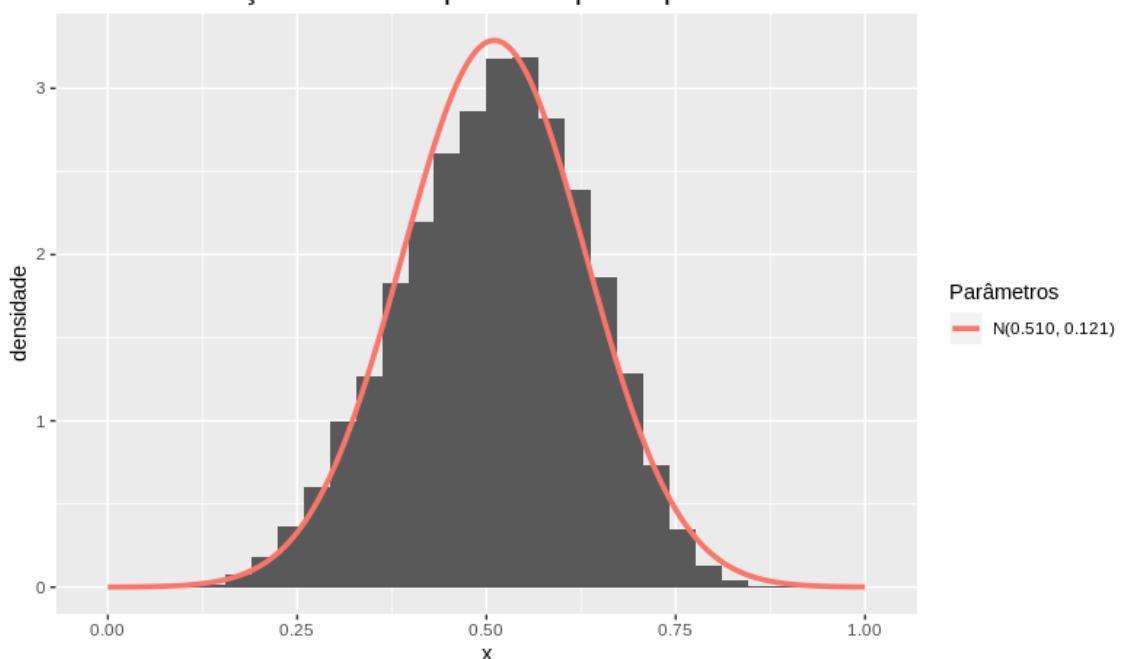


Figura 15: Região 3, Slumgullion

As figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 e 27 apresentam os histogramas das similaridades em relação ao retroespalhador prototípico *dihedral* dos dados de regiões de vegetação das três imagens. É notório o ajuste dos histogramas a distribuições Gama com parâmetros relativamente próximos, com exceção da figura 20. Deve ser observado que esses parâmetros foram estimados utilizando a função `mle` da biblioteca `stats4`.

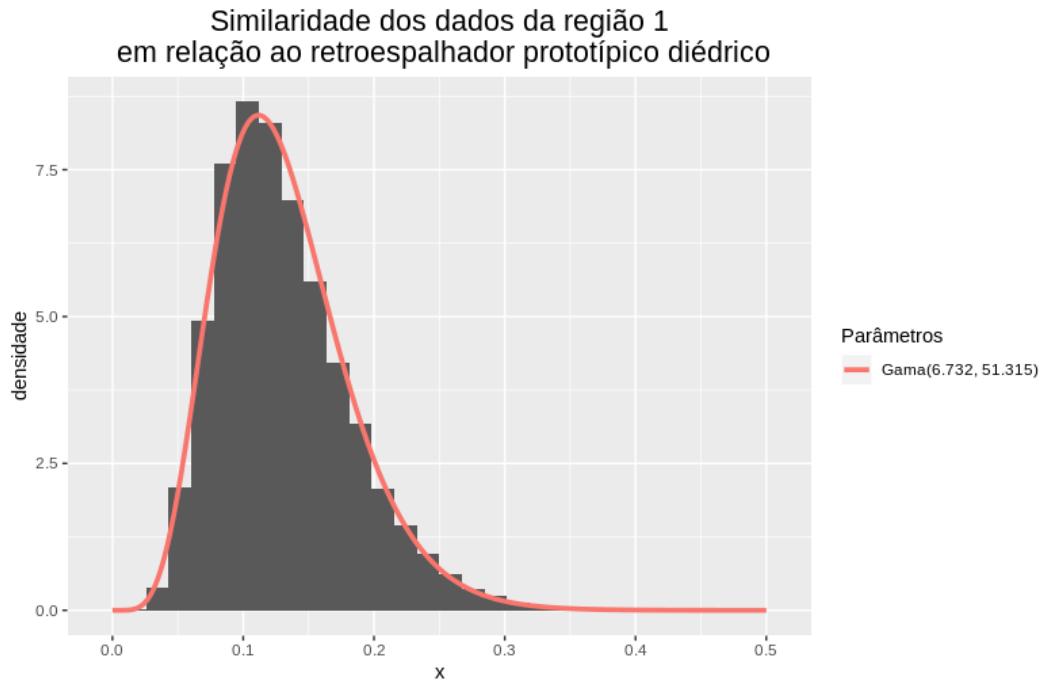


Figura 16: Região 1, Guatemala

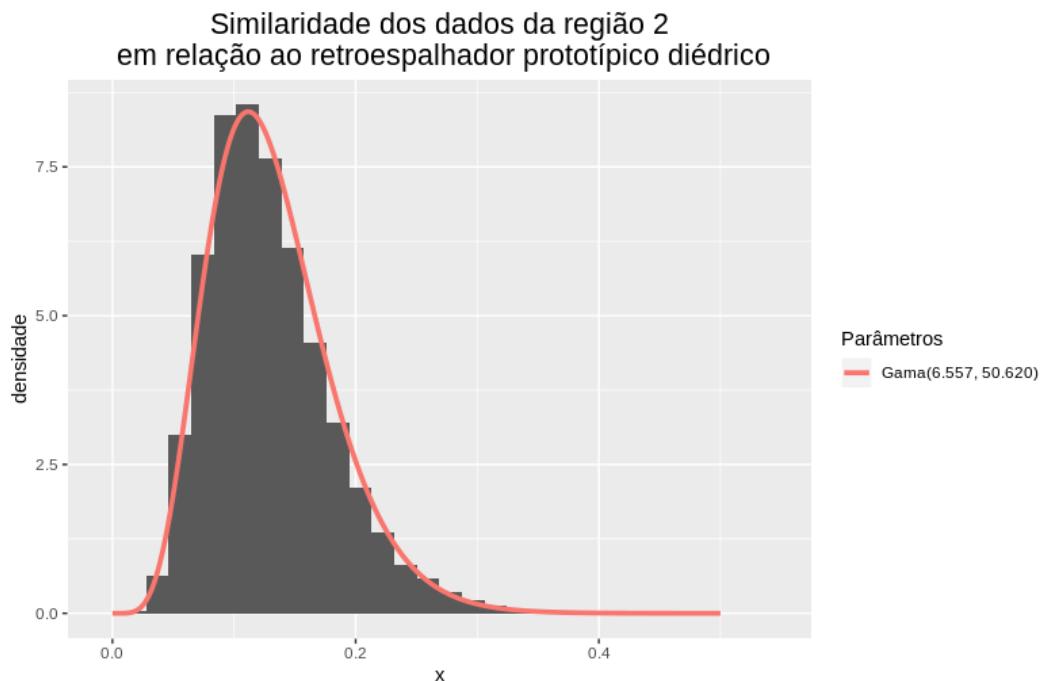


Figura 17: Região 2, Guatemala

**Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico diédrico**

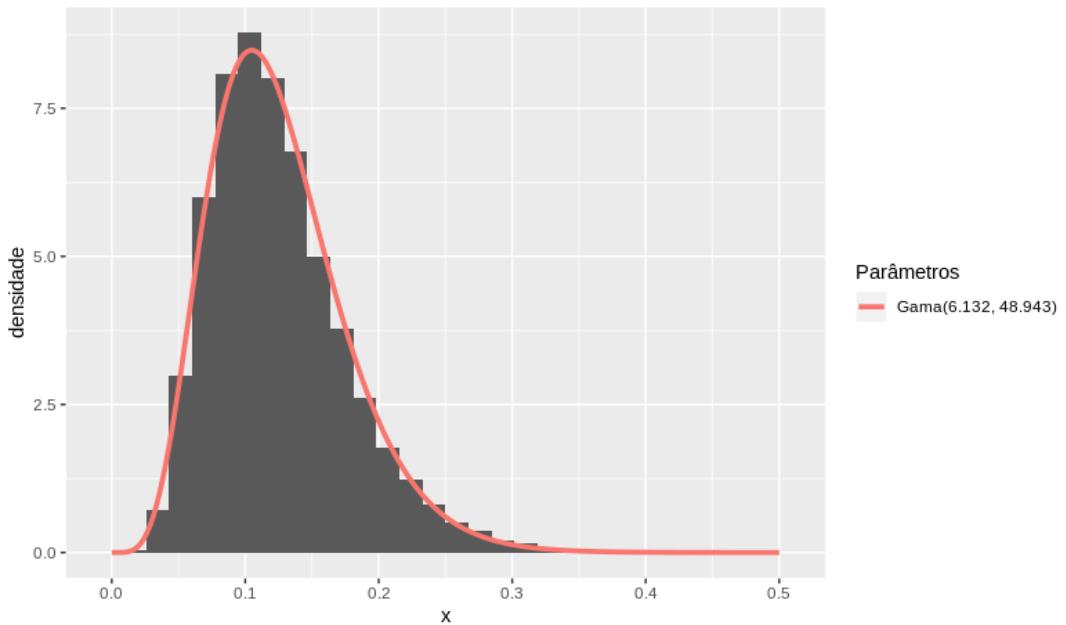


Figura 18: Região 3, Guatemala

**Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico diédrico**

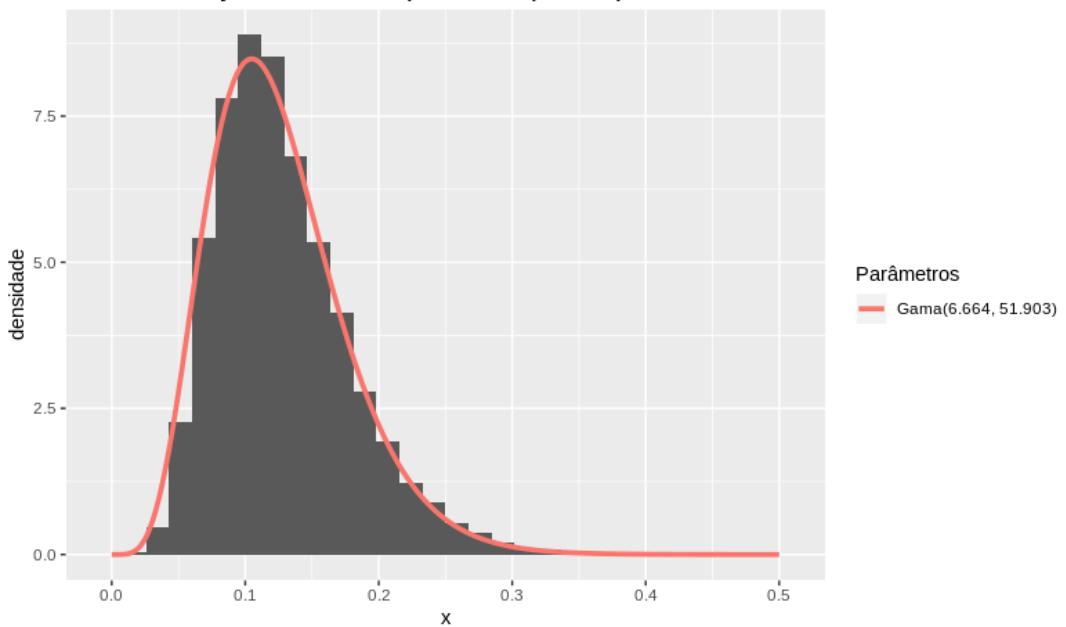


Figura 19: Região 4, Guatemala

Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico diédrico

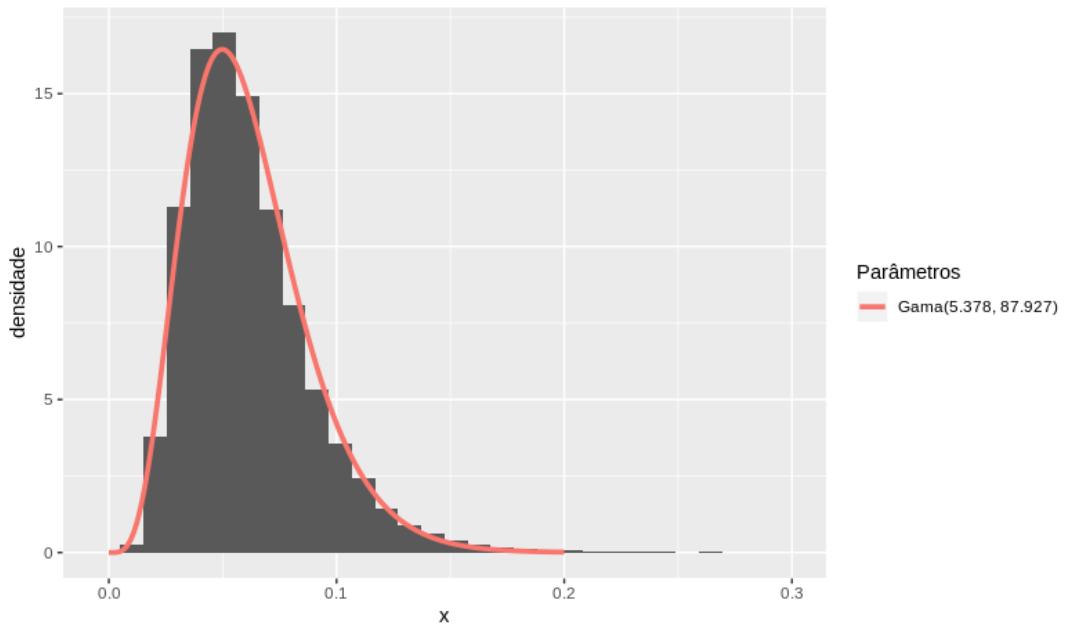


Figura 20: Região 5, Guatemala

Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico diédro

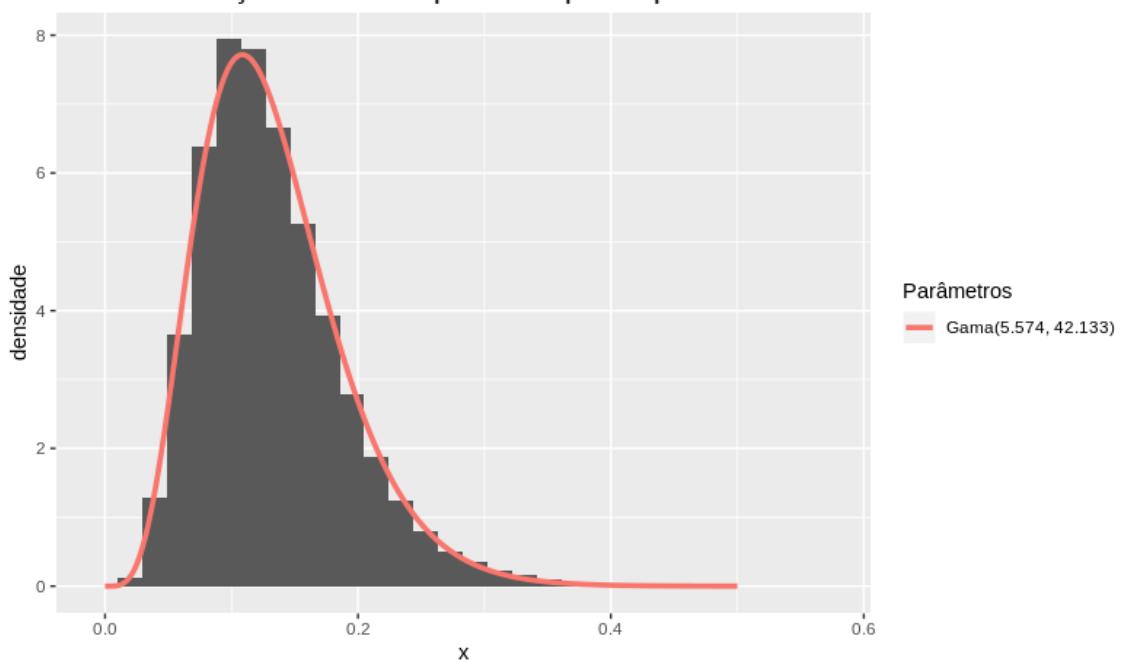


Figura 21: Região 1, Ponderosa Forest

Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador prototípico diédro

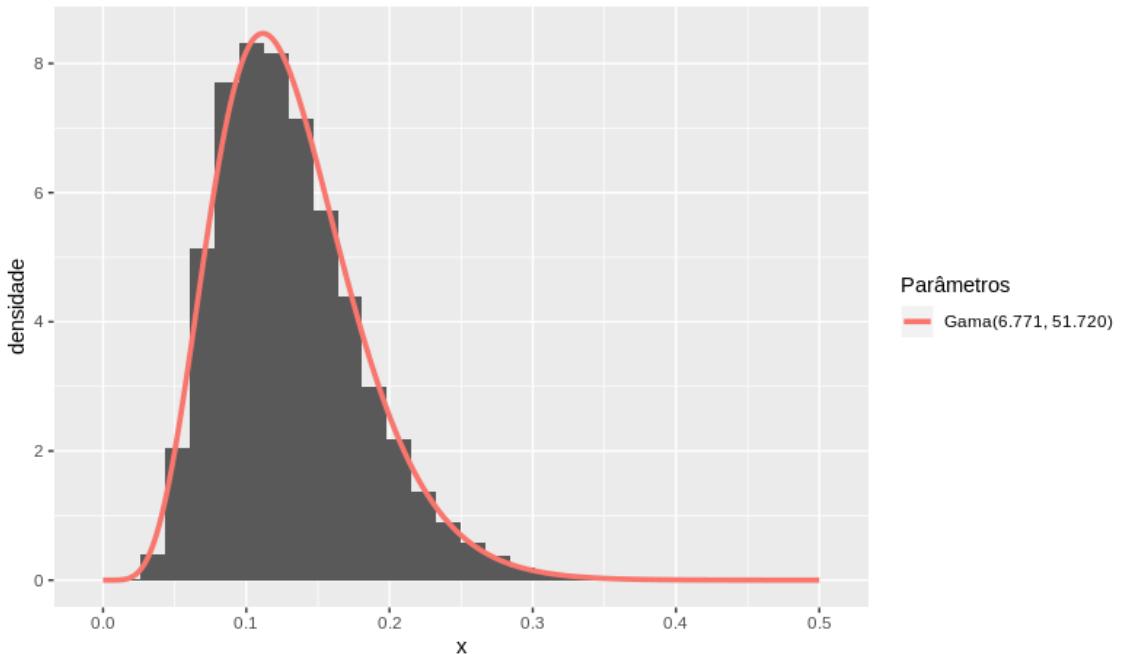


Figura 22: Região 2, Ponderosa Forest

Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico diédro

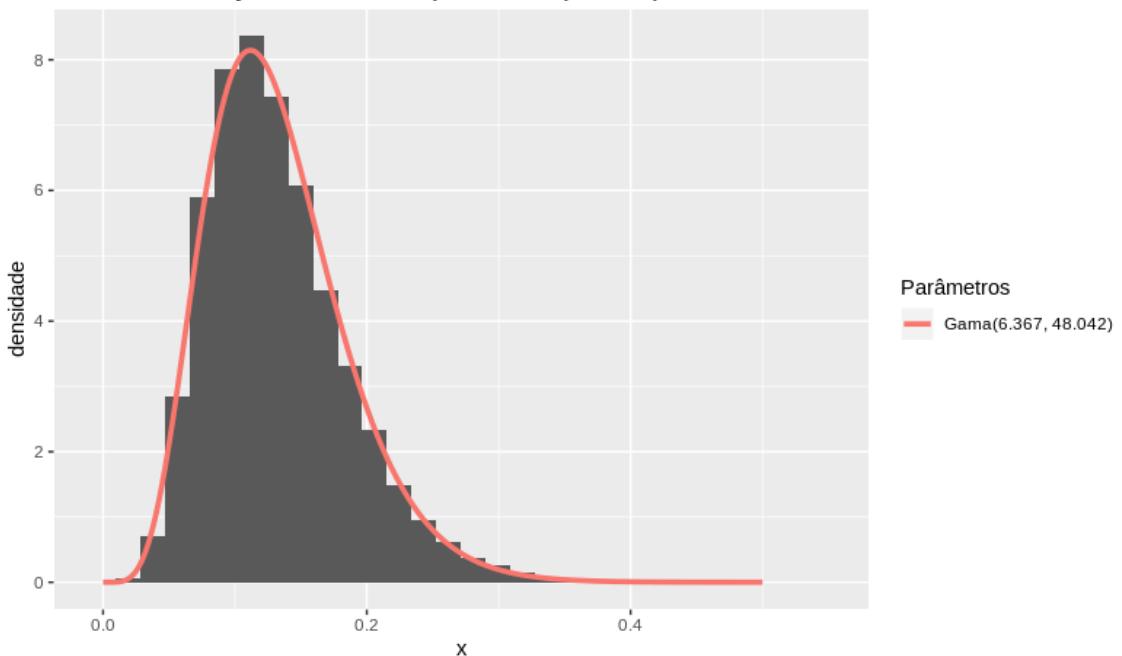


Figura 23: Região 3, Ponderosa Forest

**Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico diédro**

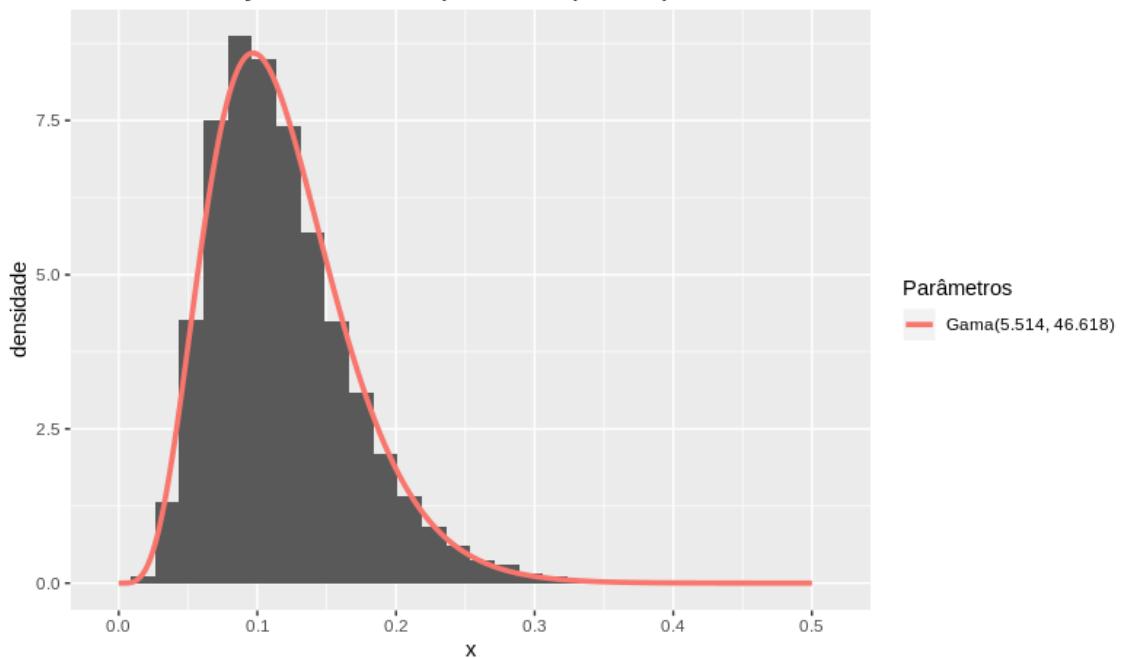


Figura 24: Região 4, Ponderosa Forest

**Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico diédrico**

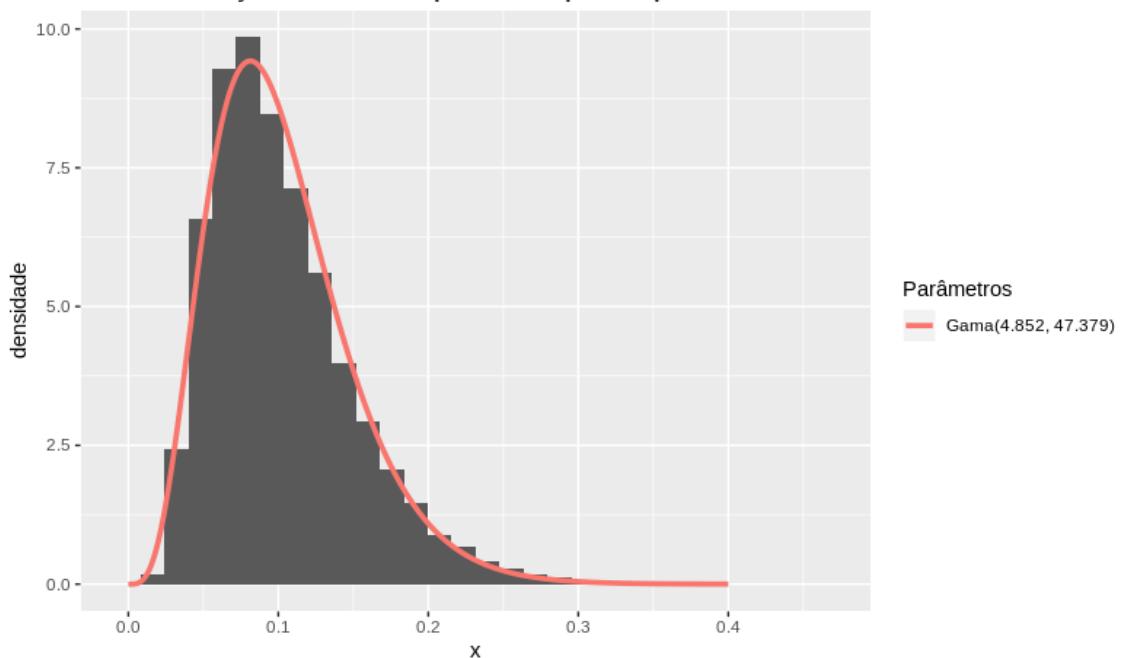


Figura 25: Região 1, Slumgullion

**Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador prototípico diédrico**

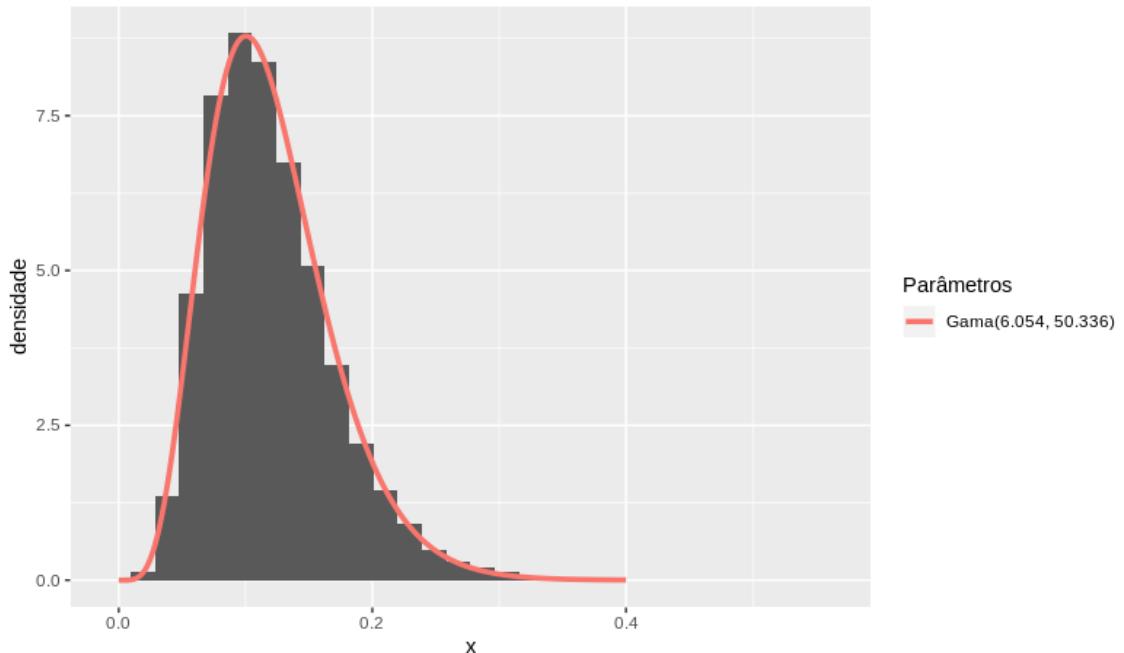


Figura 26: Região 2, Slumgullion

**Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico diédrico**

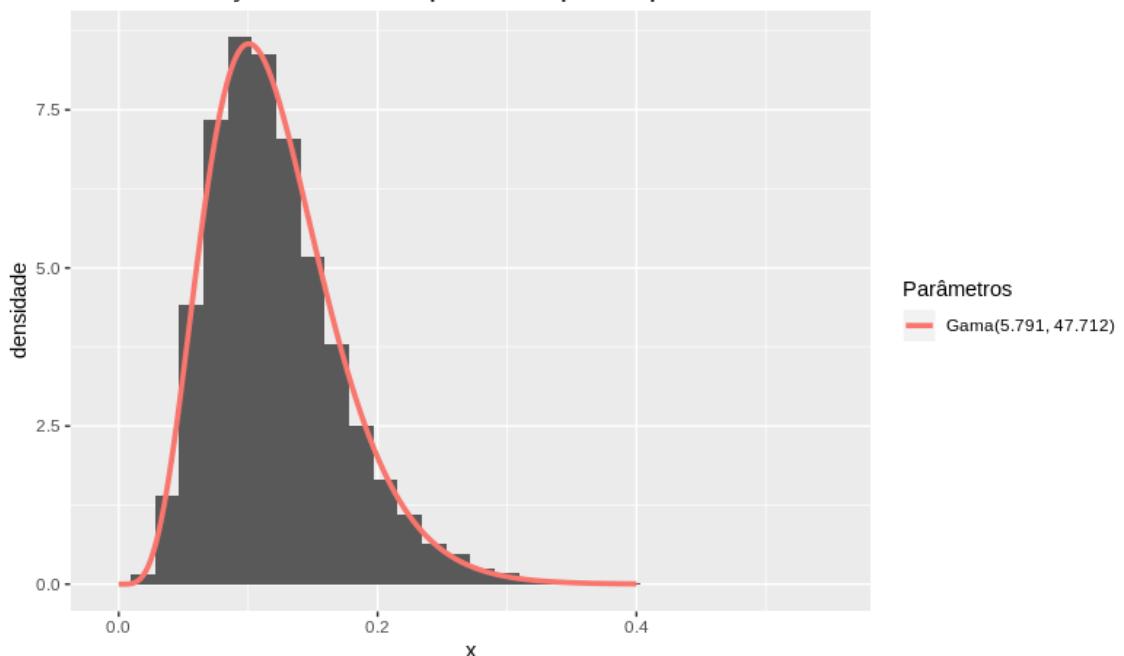


Figura 27: Região 3, Slumgullion

As figuras 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 e 39 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões de vegetação em relação ao retroespalhador prototípico *random volume*. Novamente, é possível observar o ajuste dos histogramas a distribuições Normais com parâmetros próximos. Além disso, pode ser notado que ocorreu o fenômeno análogo ao que aconteceu nos histogramas que envolviam o retroespalhador *trihedral*



Figura 28: Região 1, Guatemala



Figura 29: Região 2, Guatemala

Similaridade dos dados da região 3 em relação ao retroespalhador prototípico de volume aleatório

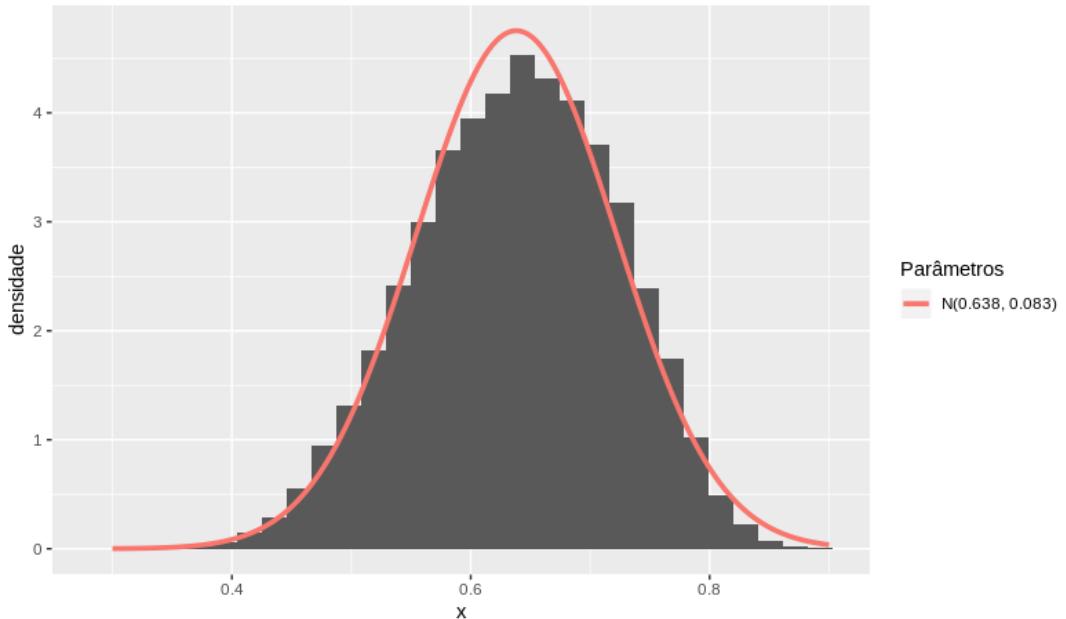


Figura 30: Região 3, Guatemala

Similaridade dos dados da região 4 em relação ao retroespalhador prototípico de volume aleatório

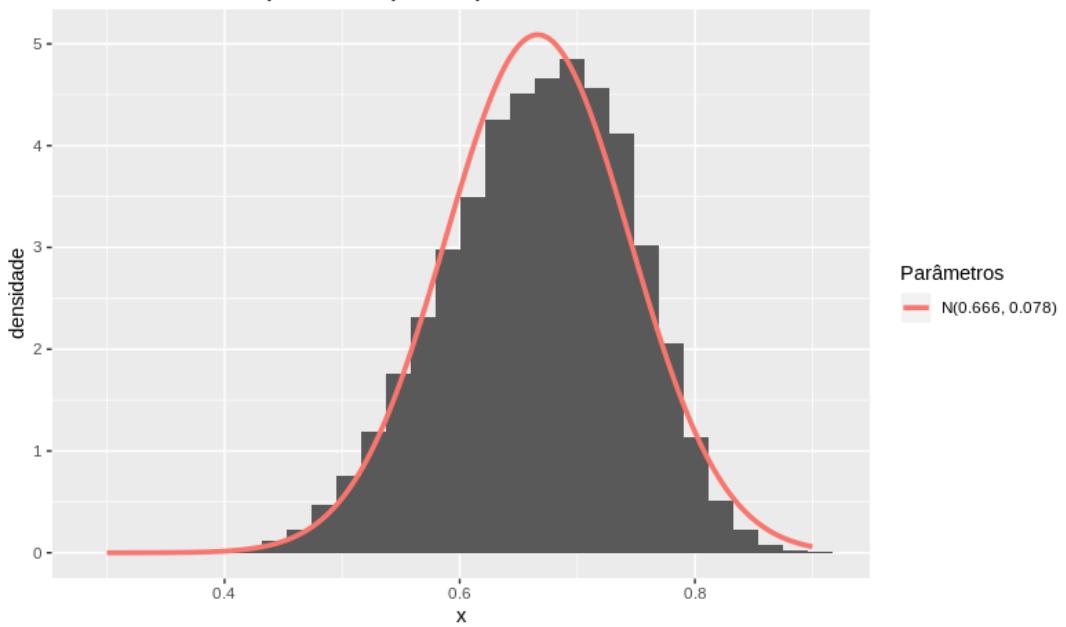


Figura 31: Região 4, Guatemala

Similaridade dos dados da região 5 em relação ao retroespalhador prototípico de volume aleatório

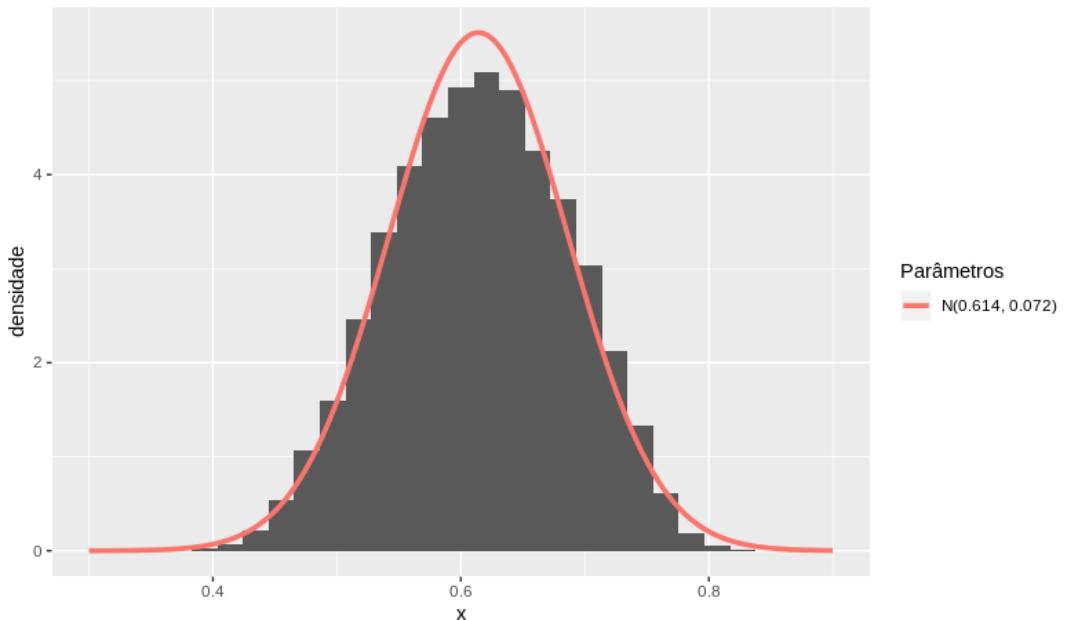


Figura 32: Região 5, Guatemala

Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico de volume aleatório

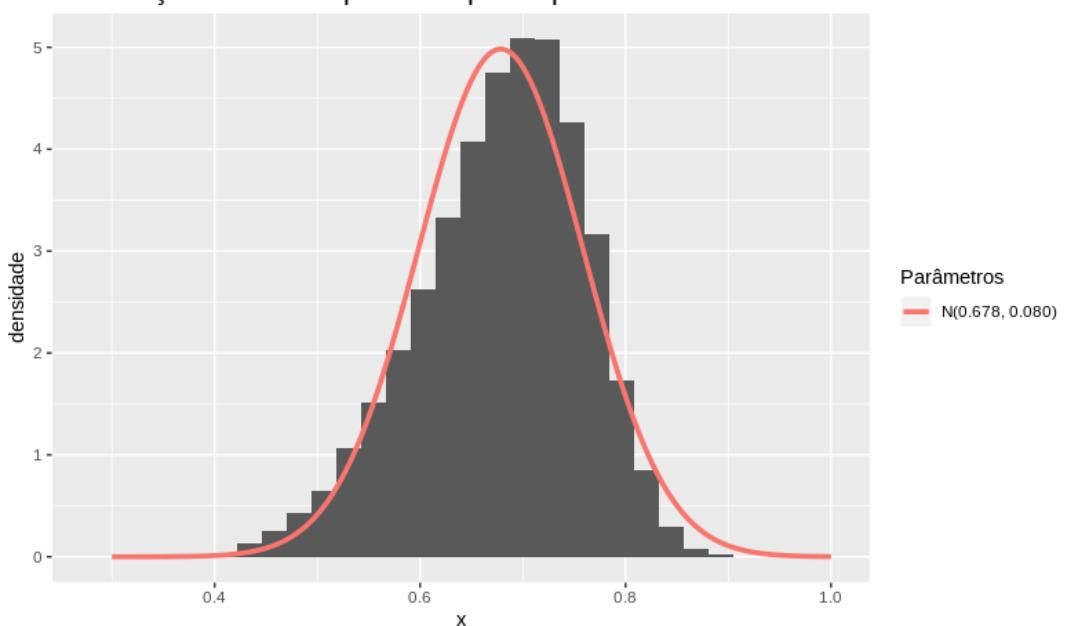


Figura 33: Região 1, Ponderosa Forest

Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador protótipo de volume aleatório

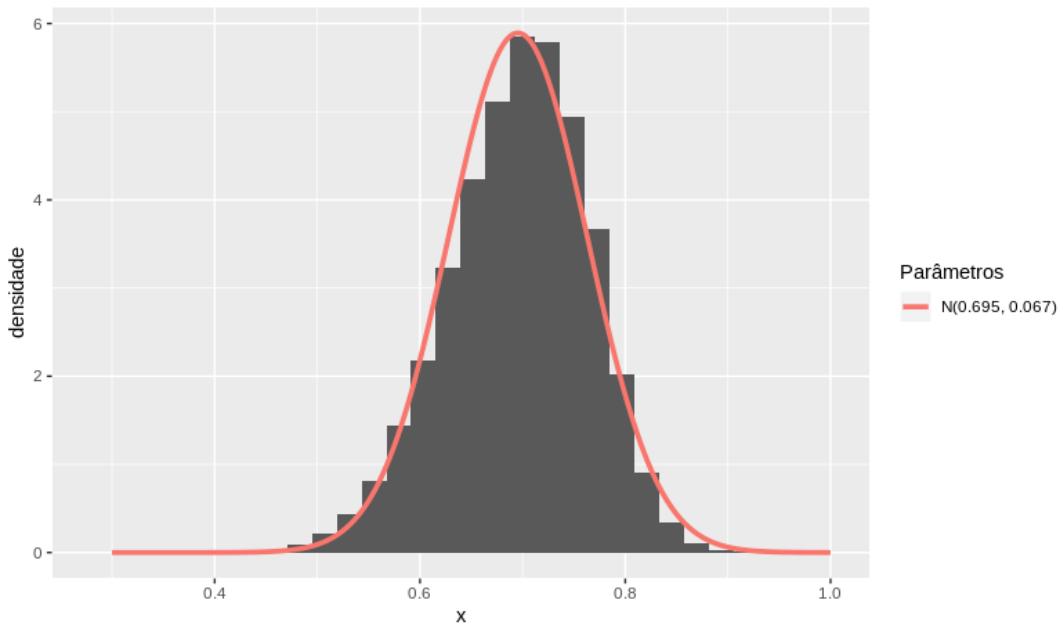


Figura 34: Região 2, Ponderosa Forest

Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador protótipo de volume aleatório

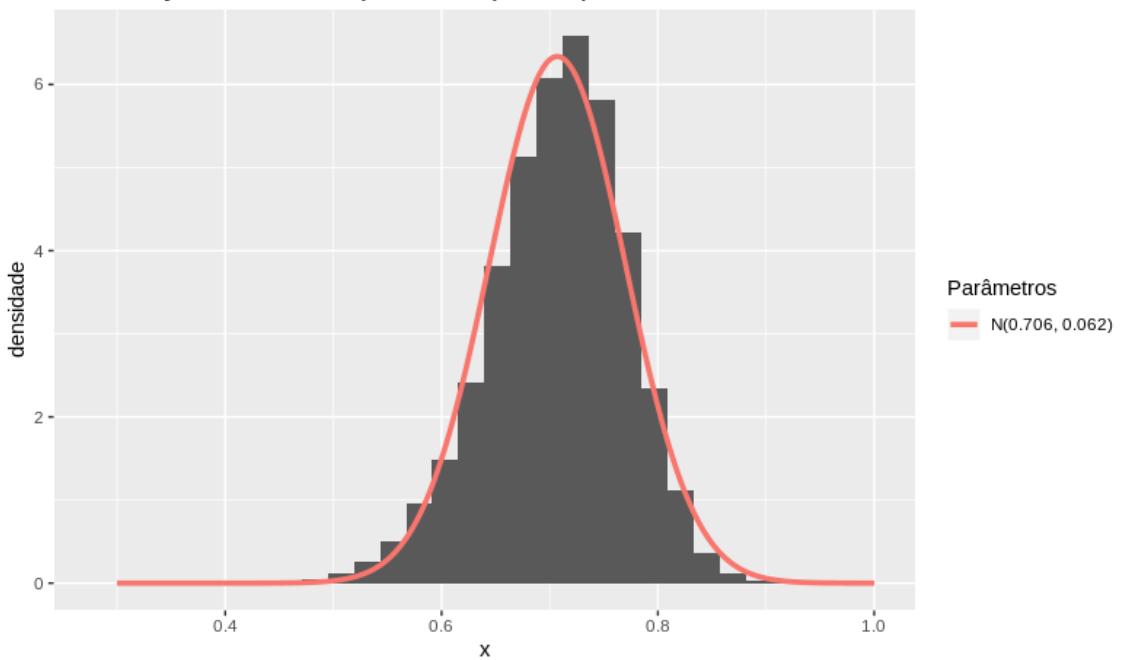


Figura 35: Região 3, Ponderosa Forest

Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador protótipo de volume aleatório

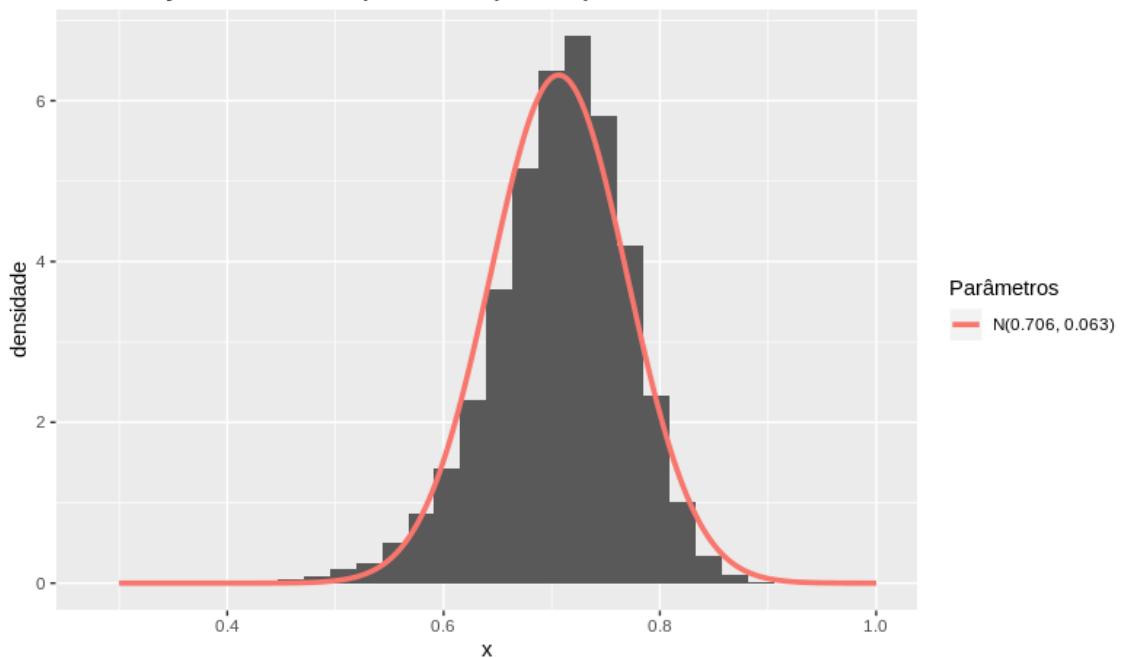


Figura 36: Região 4, Ponderosa Forest

Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador protótipo de volume aleatório

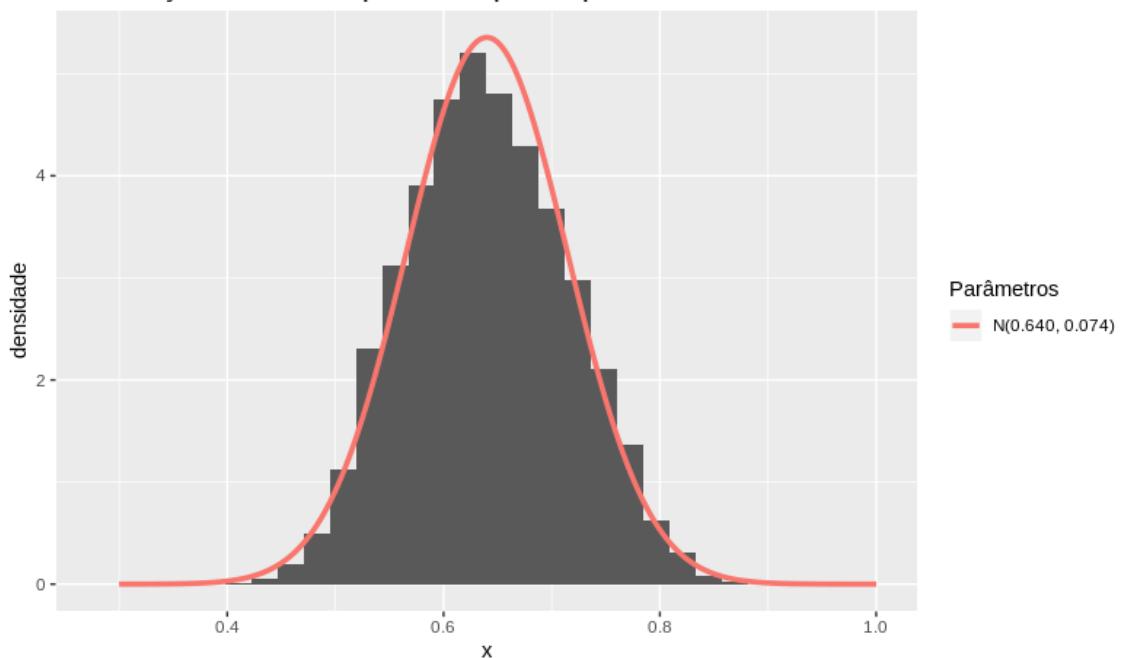


Figura 37: Região 1, Slumgullion

**Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador protótipo de volume aleatório**

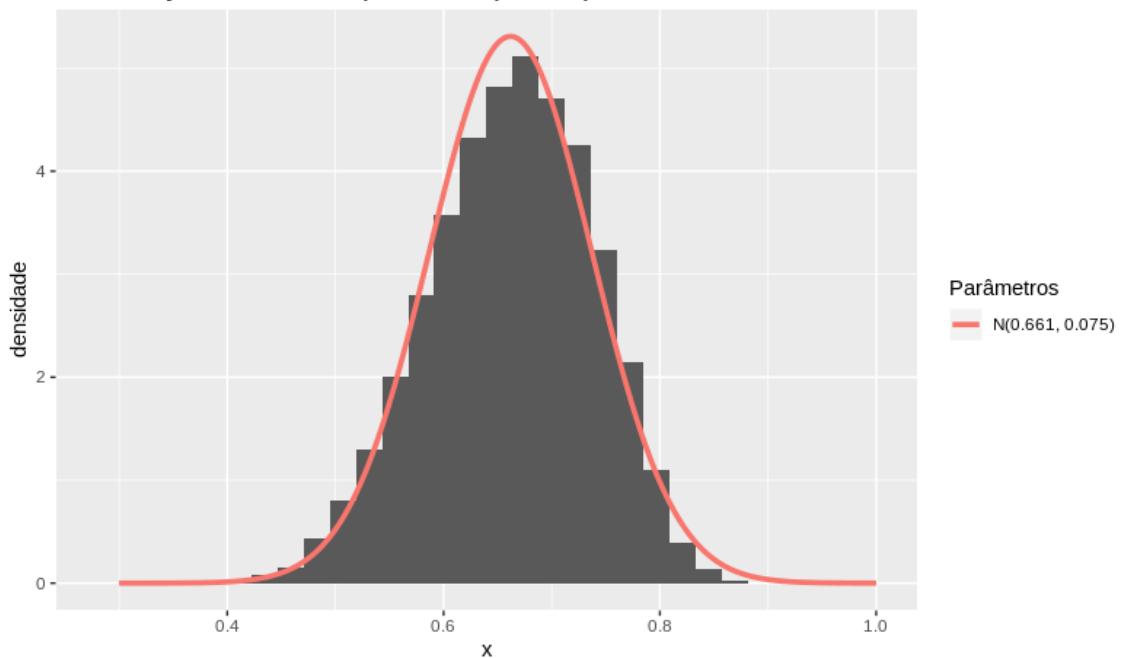


Figura 38: Região 2, Slumgullion

**Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador protótipo de volume aleatório**

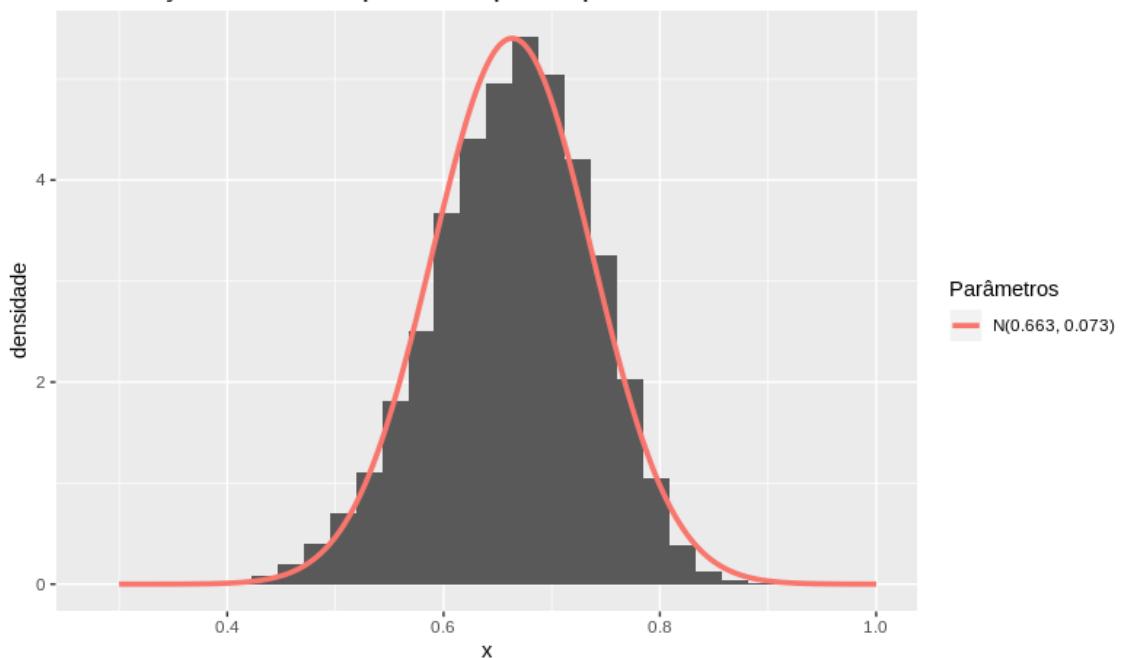


Figura 39: Região 3, Slumgullion

As figuras 40, 41, 42, 43 e 44 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões de vegetação da figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico *narrow dihedral*. É observável o ajuste à distribuição Gama e a relativa proximidade entre os parâmetros estimados, com exceção da região 5.

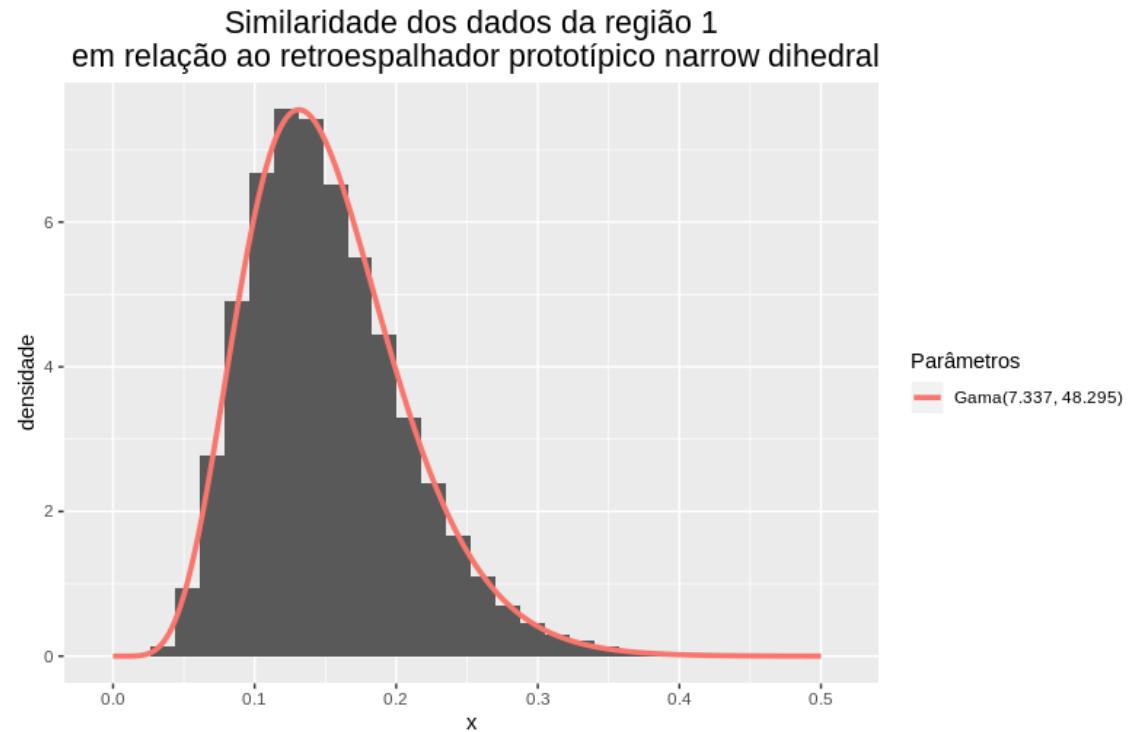


Figura 40: Região 1

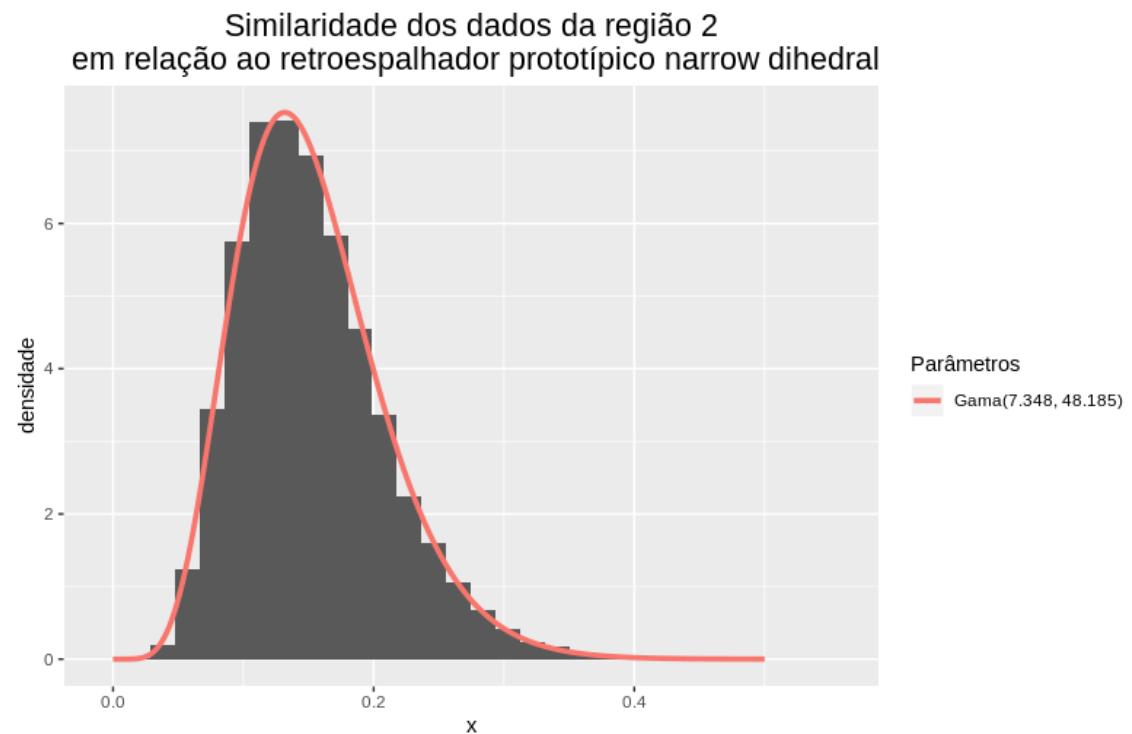


Figura 41: Região 2

Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico narrow dihedral

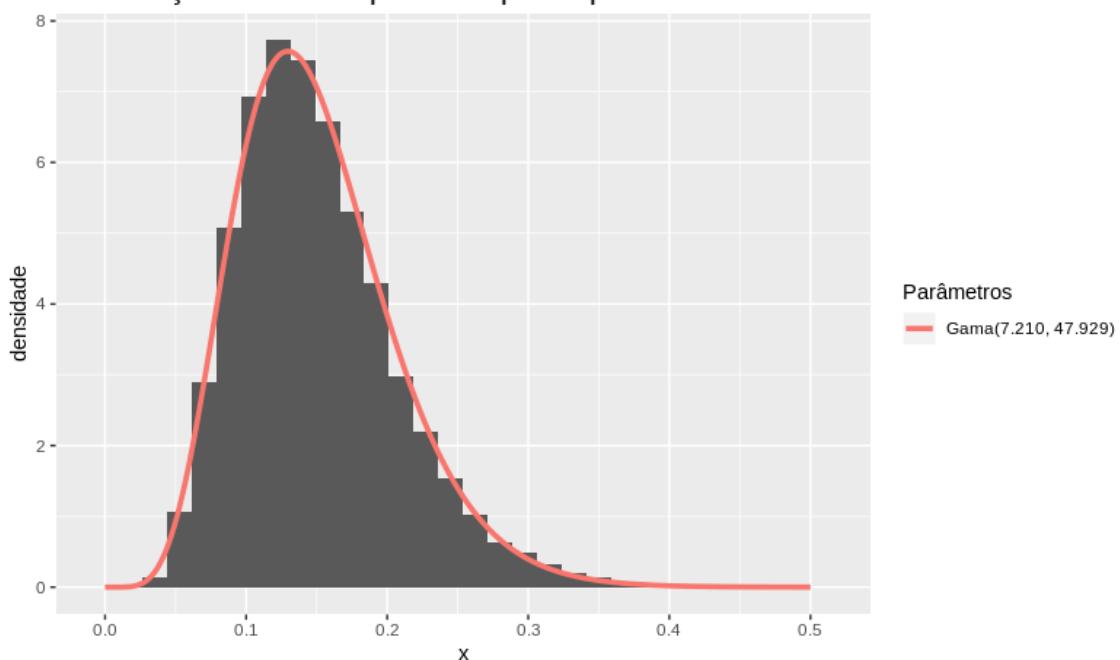


Figura 42: Região 3

Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico narrow dihedral

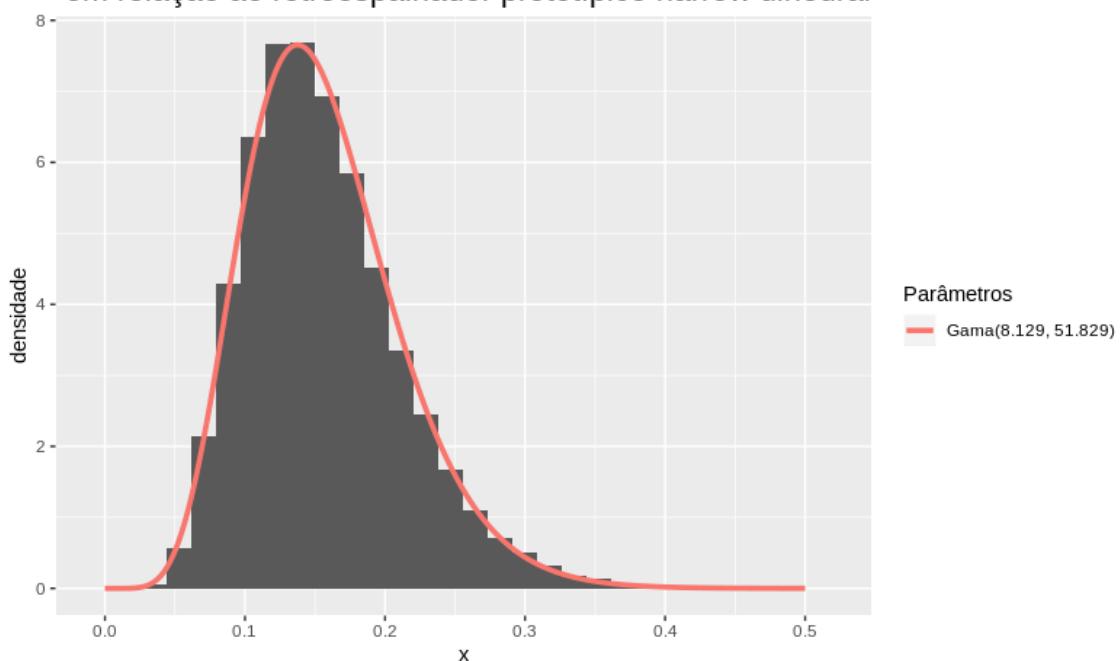


Figura 43: Região 4

**Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico narrow dihedral**

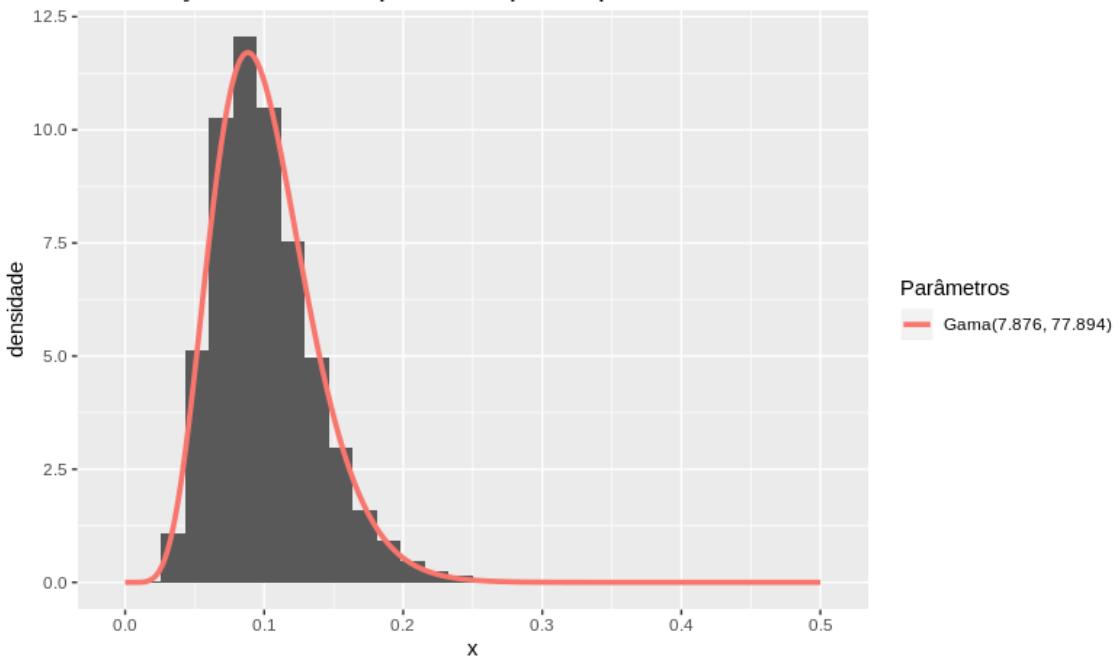


Figura 44: Região 5

As figuras 45, 46, 47, 48 e 49 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões de vegetação da figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico *cylinder*. É observável o ajuste à distribuição Normal e a relativa proximidade entre os parâmetros estimados.

**Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico cylinder**

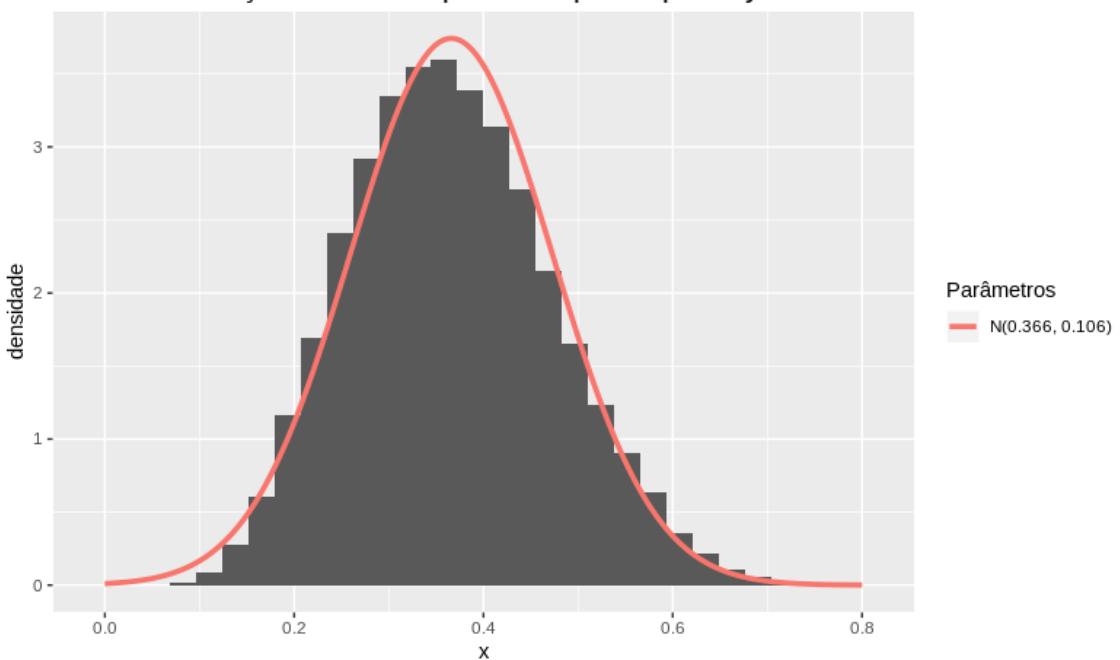


Figura 45: Região 1

Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador prototípico cylinder

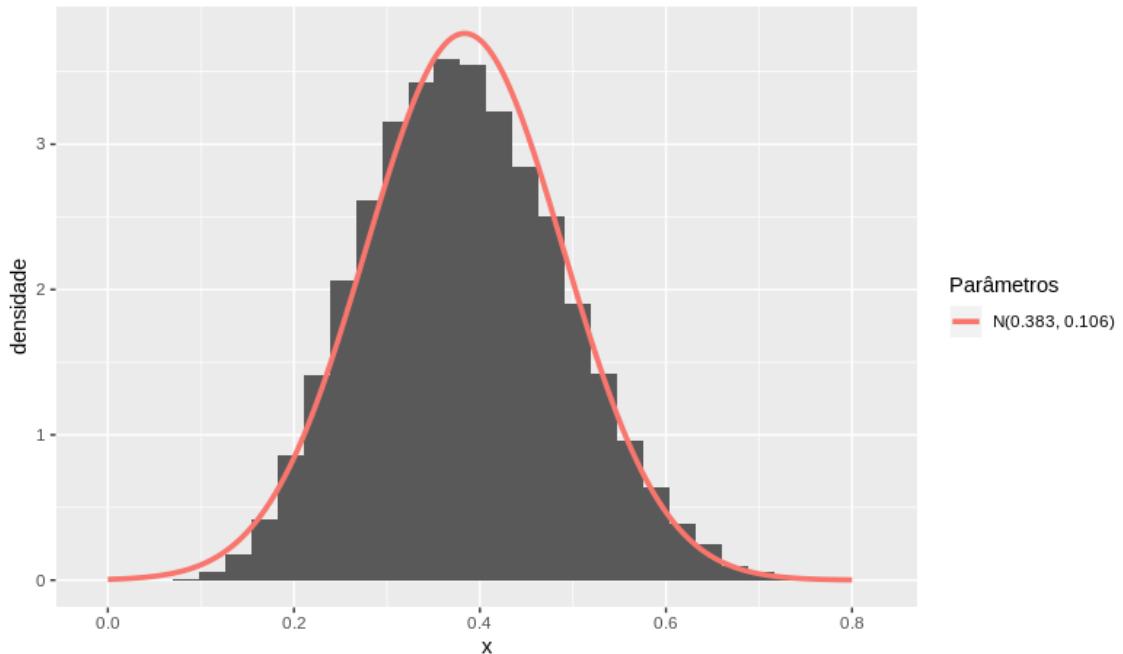


Figura 46: Região 2

Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico cylinder

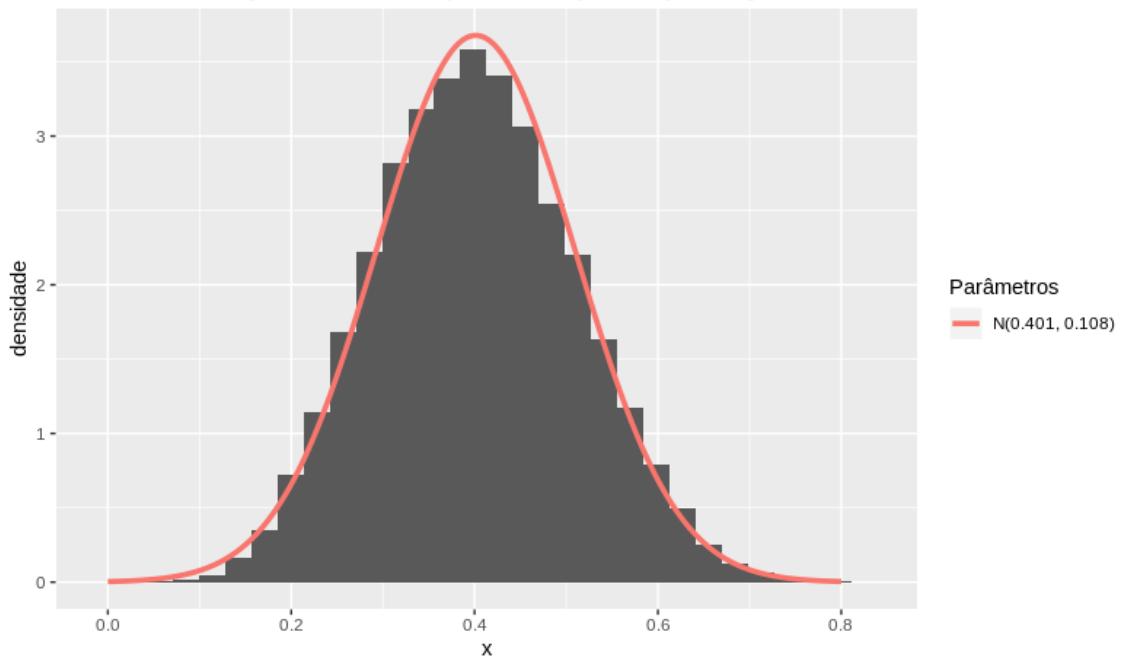


Figura 47: Região 3

Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico cylinder

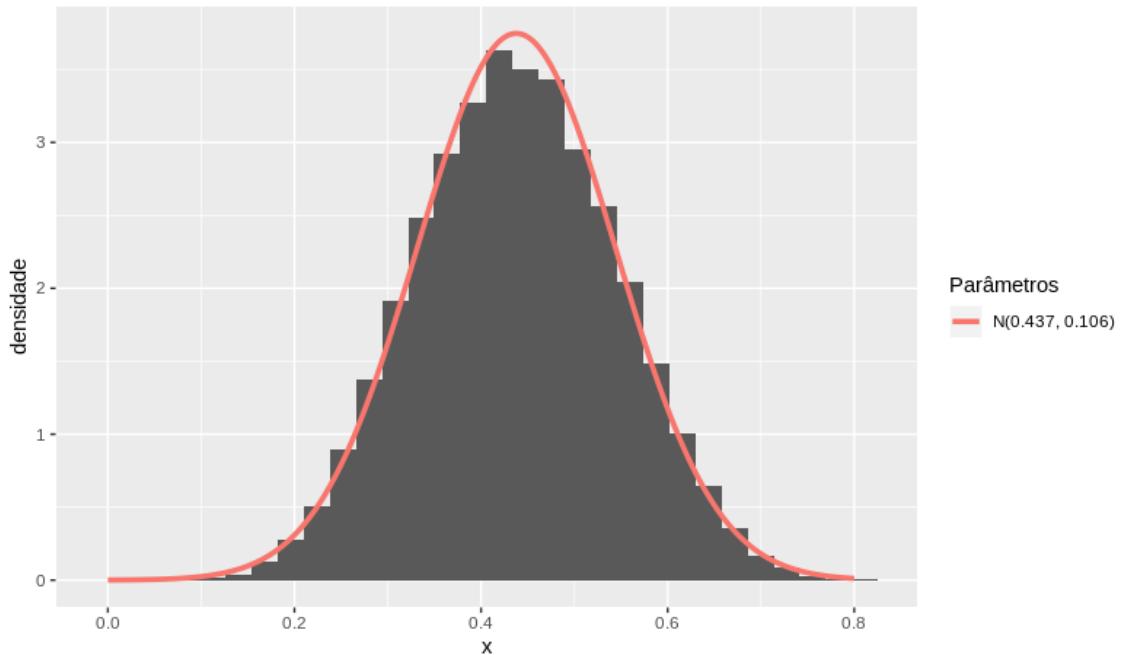


Figura 48: Região 4

Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico cylinder

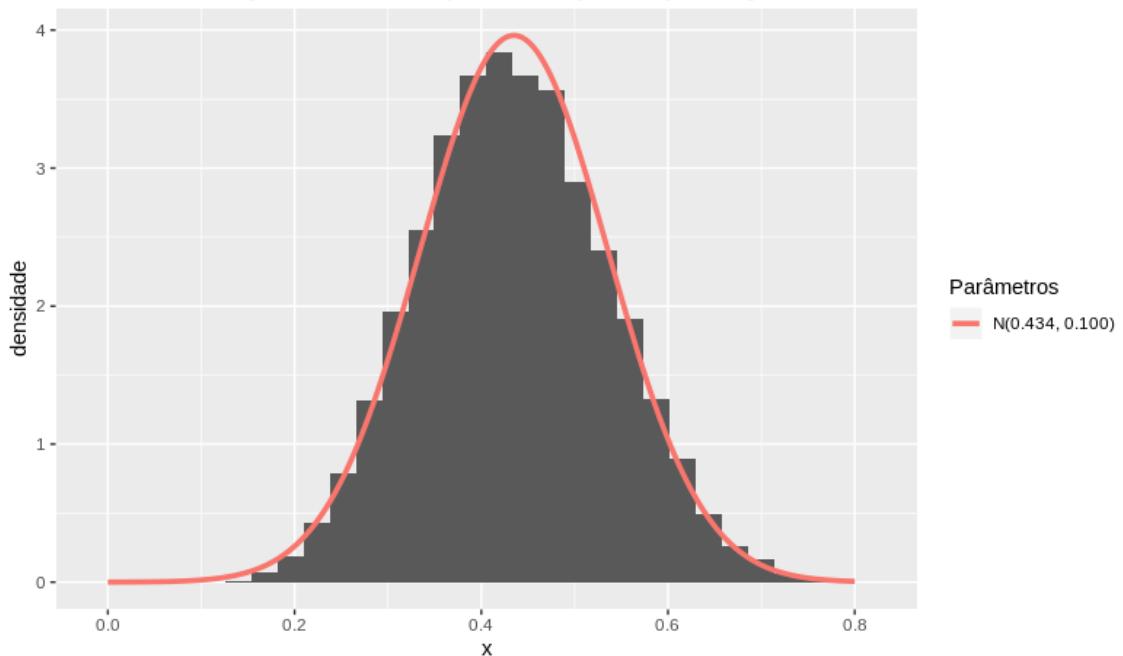


Figura 49: Região 5

As figuras 50, 51, 52, 53 e 54 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões de vegetação da figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico *dipole*. É observável o ajuste à distribuição Gama e a relativa proximidade entre os parâmetros estimados, com exceção do histograma da figura 54.

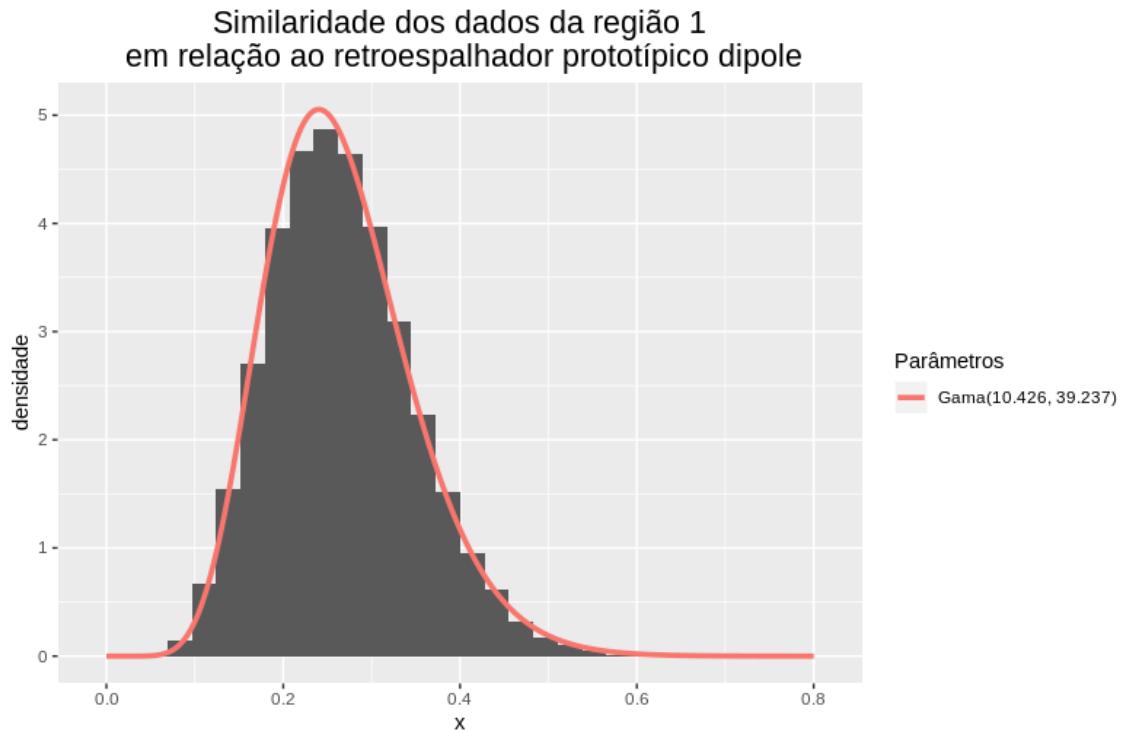


Figura 50: Região 1

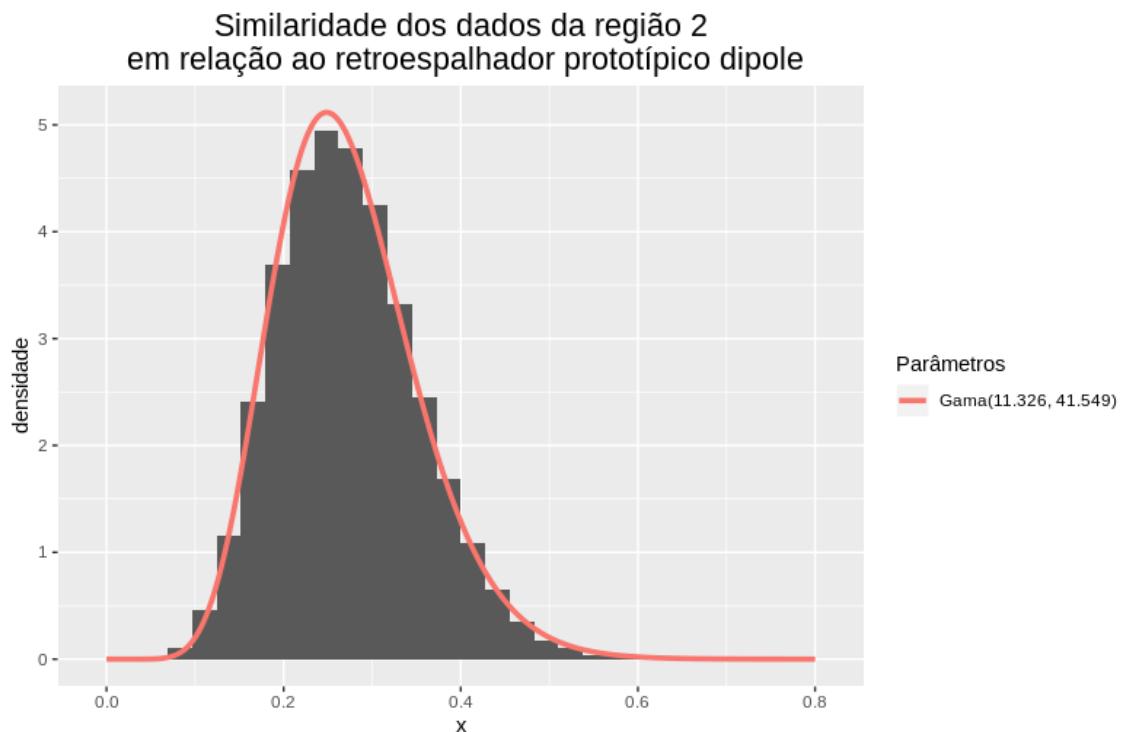


Figura 51: Região 2

Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico dipole

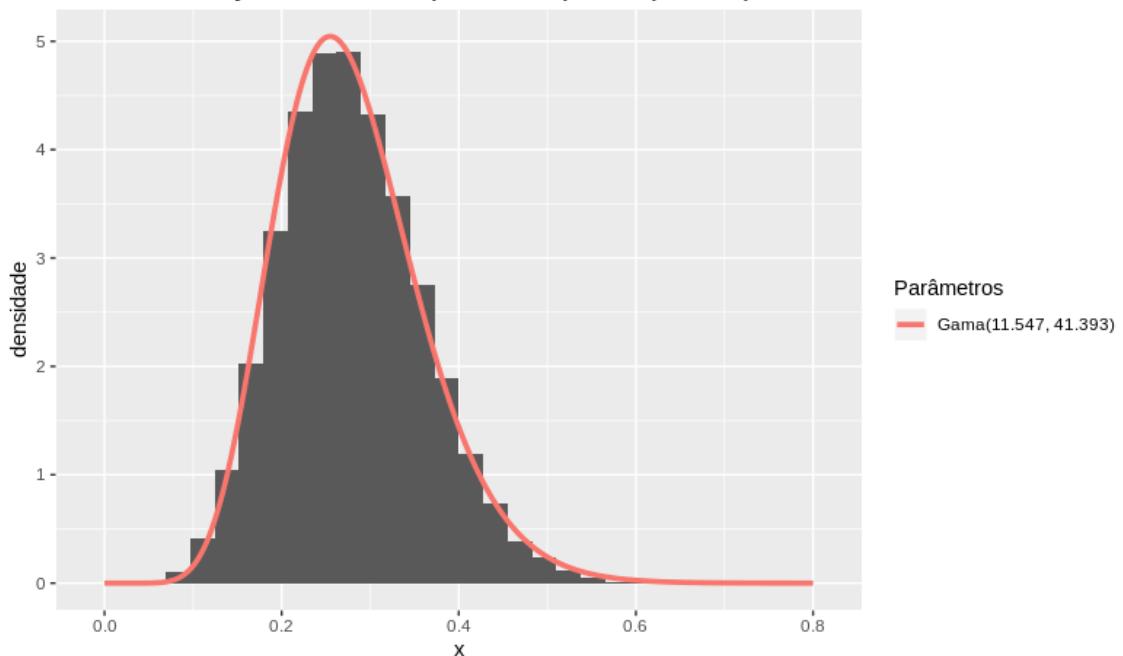


Figura 52: Região 3

Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico dipole

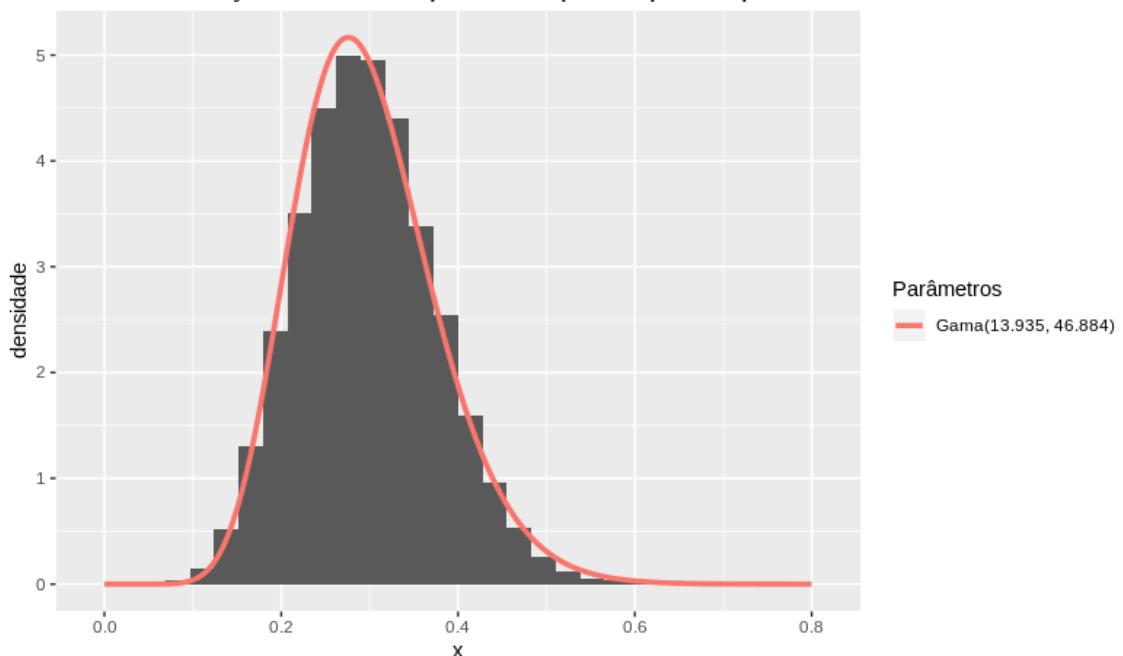


Figura 53: Região 4

**Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico dipole**

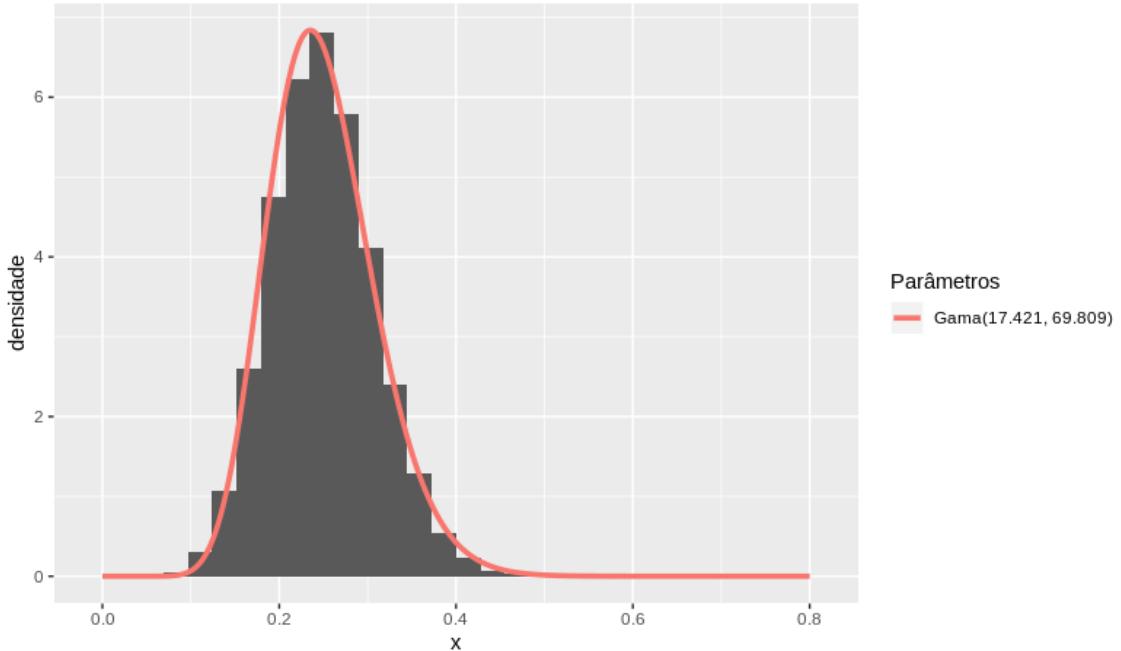


Figura 54: Região 5

As figuras 55, 56, 57, 58 e 59 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões de vegetação da figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico *left helix*. É observável o ajuste a distribuição Gama e a relativa proximidade entre os parâmetros estimados, com exceção do histograma da figura 59.

**Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico *left helix***

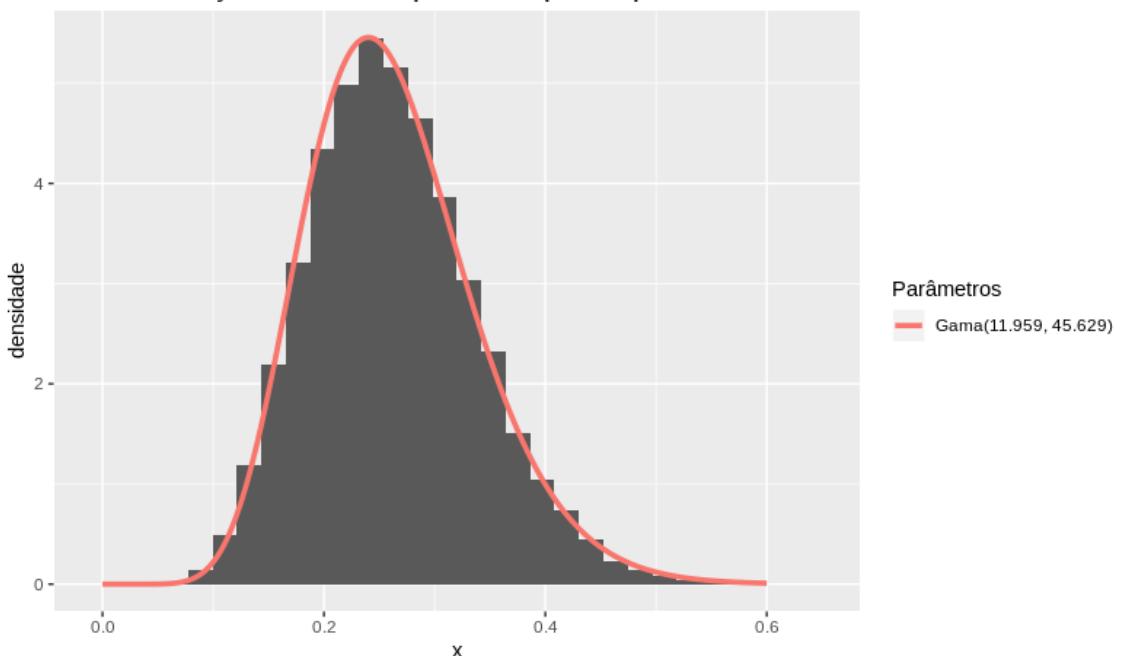


Figura 55: Região 1

Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador prototípico left helix

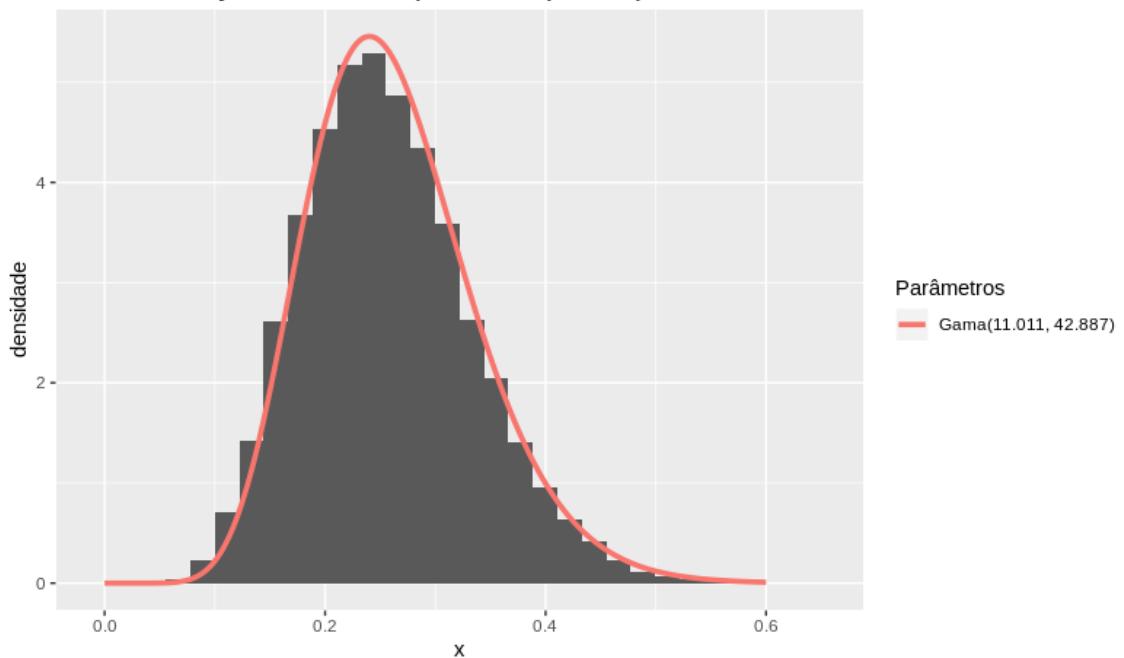


Figura 56: Região 2

Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico left helix

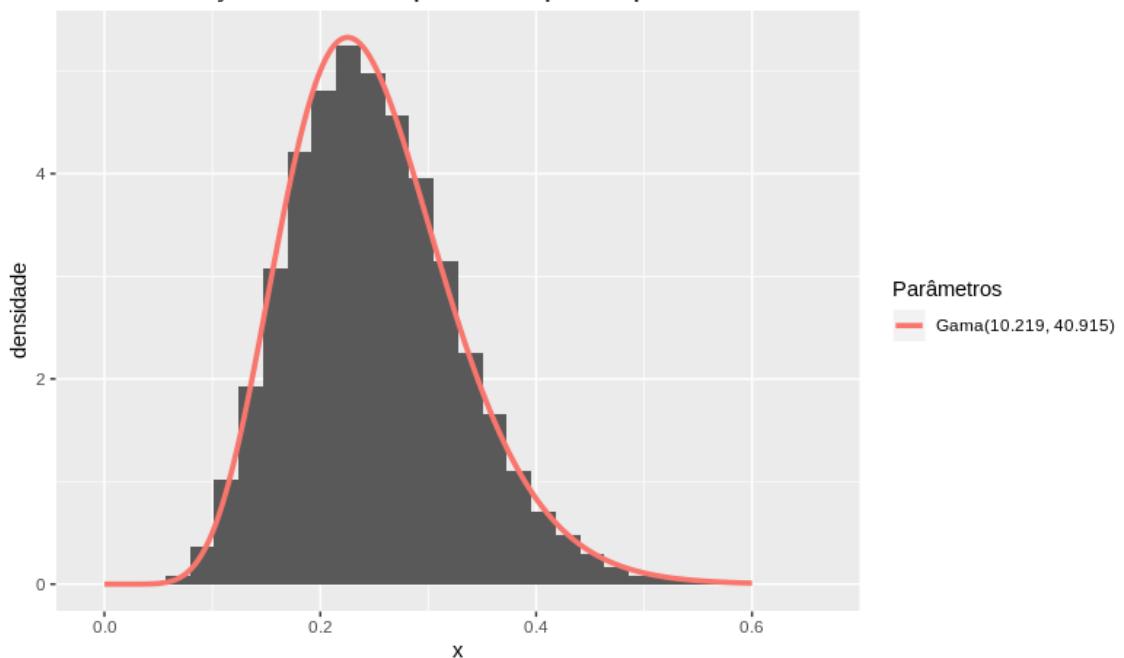


Figura 57: Região 3

Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico left helix

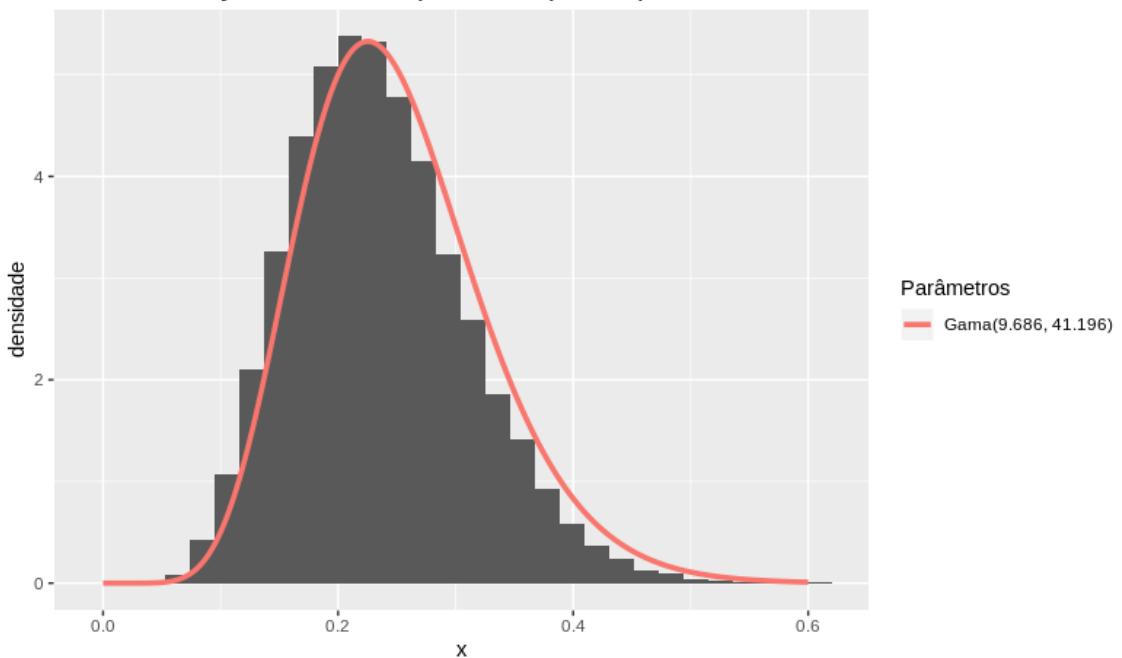


Figura 58: Região 4

Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico left helix

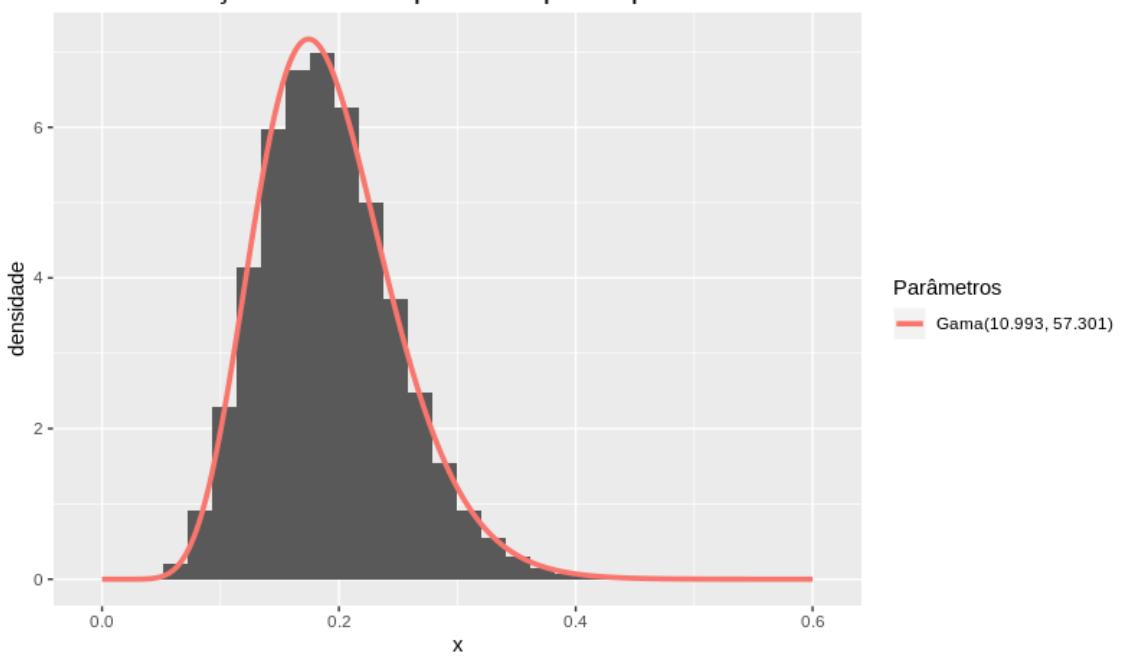


Figura 59: Região 5

As figuras 60, 61, 62, 63 e 64 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões de vegetação da figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico *right helix*. É observável o ajuste a distribuição Gama e a relativa proximidade entre os parâmetros estimados, com exceção do histograma da figura 64.

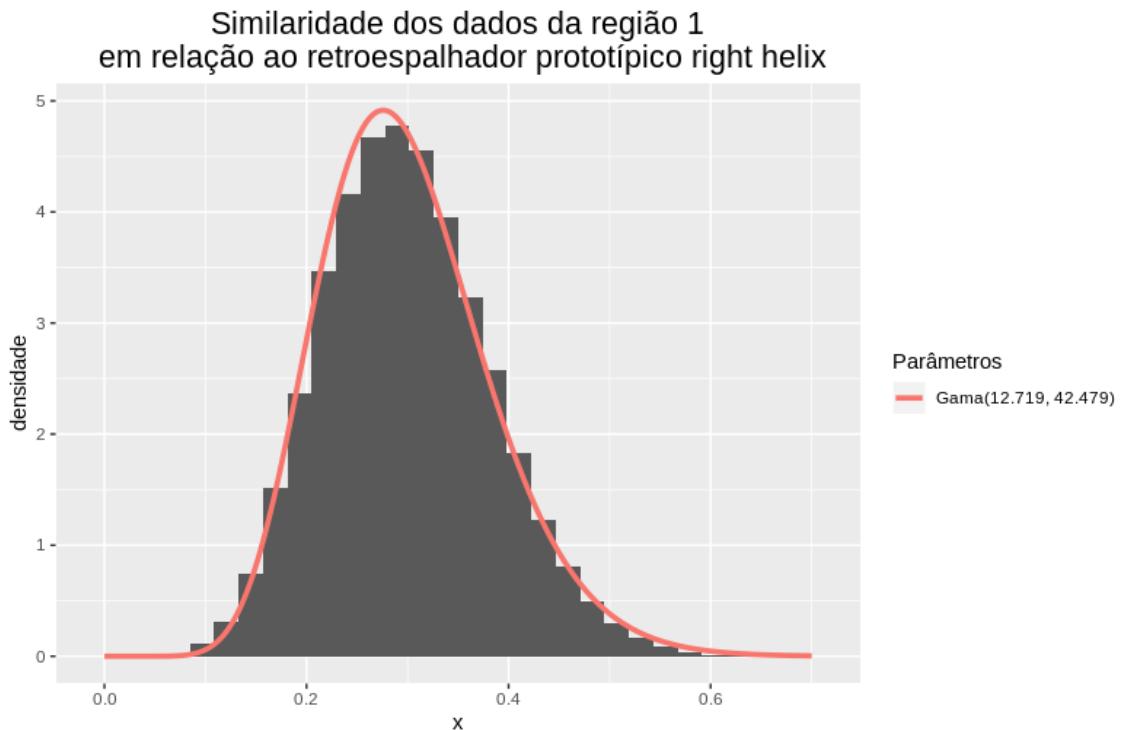


Figura 60: Região 1

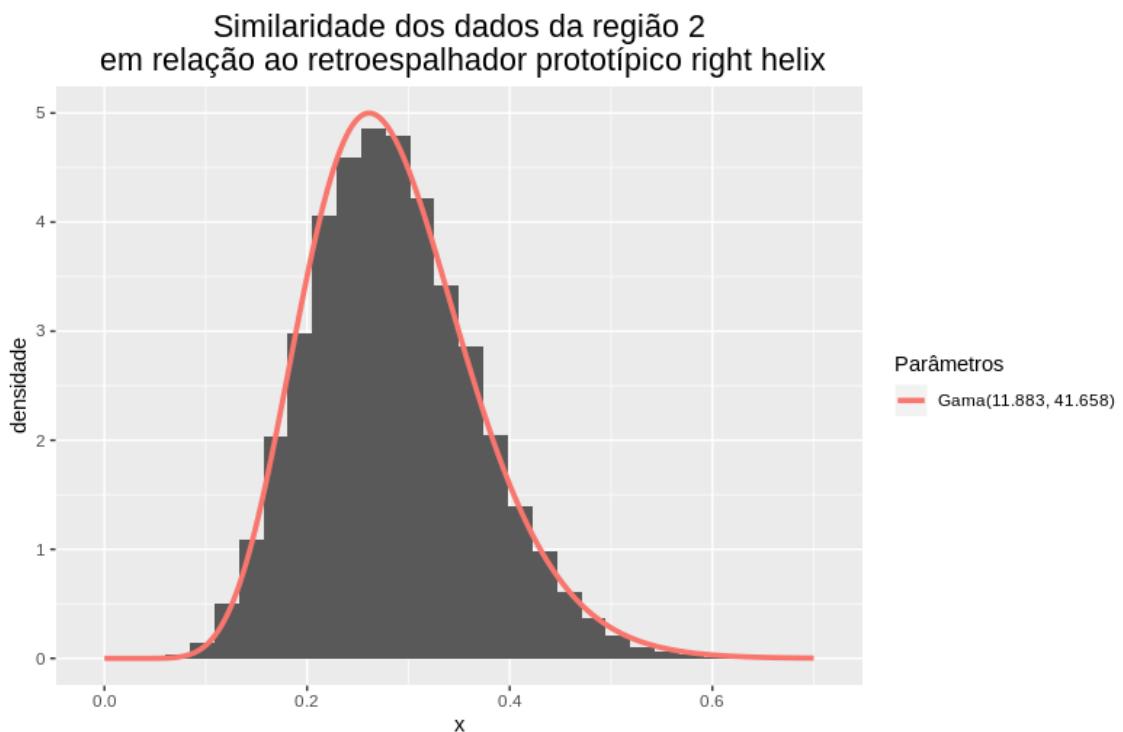


Figura 61: Região 2

**Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico right helix**

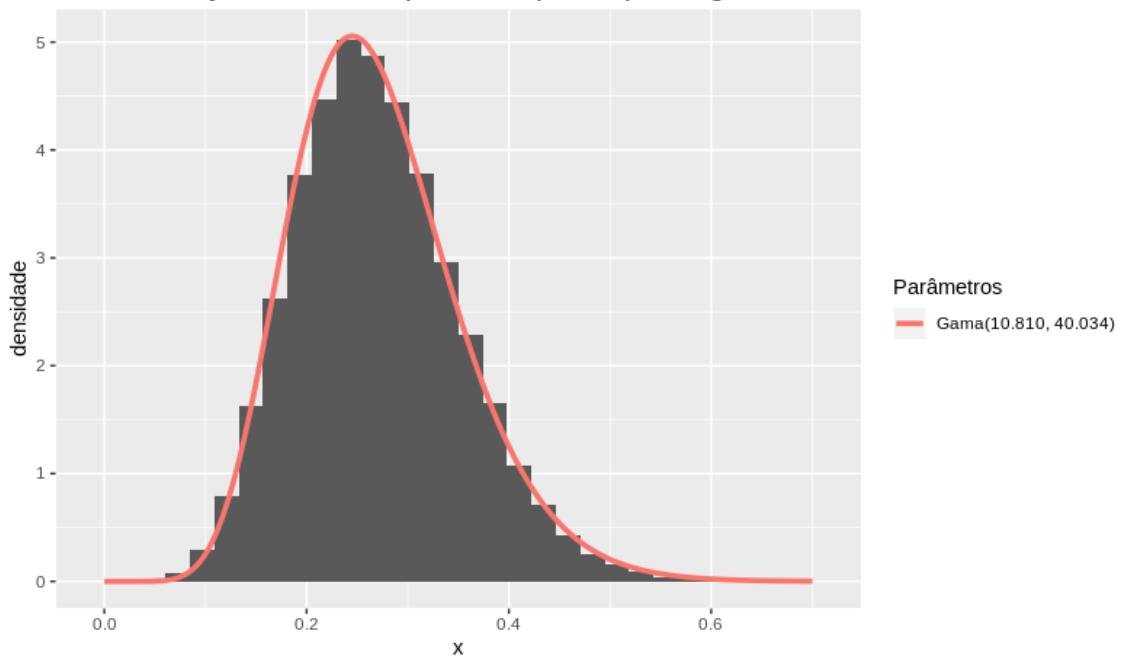


Figura 62: Região 3

**Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico right helix**

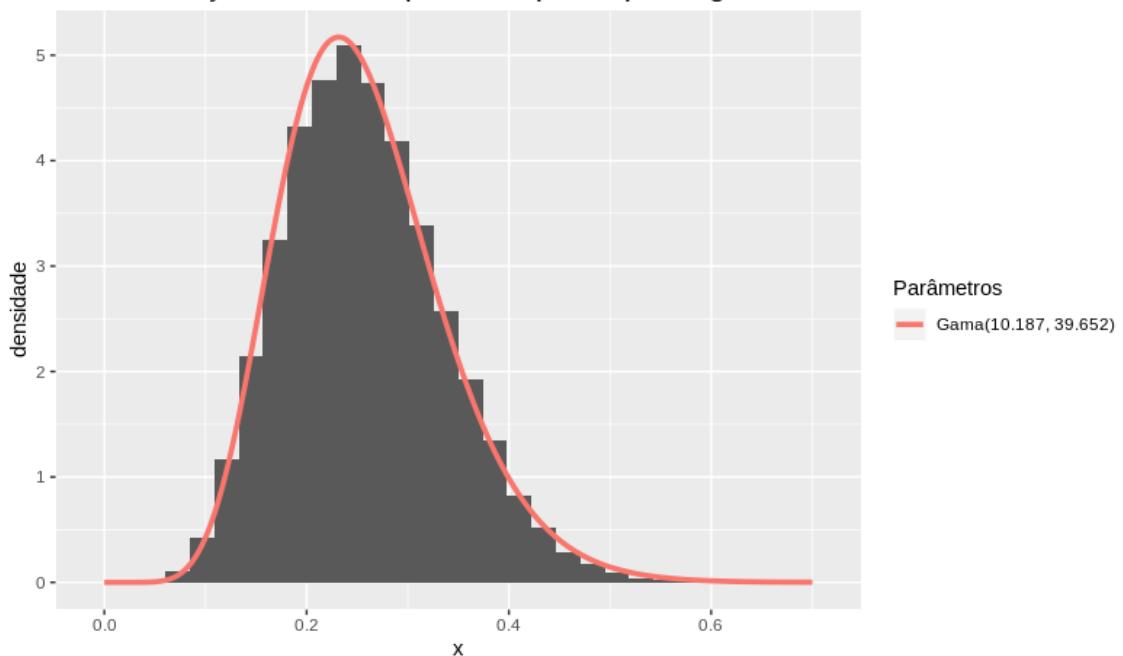


Figura 63: Região 4

**Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico right helix**

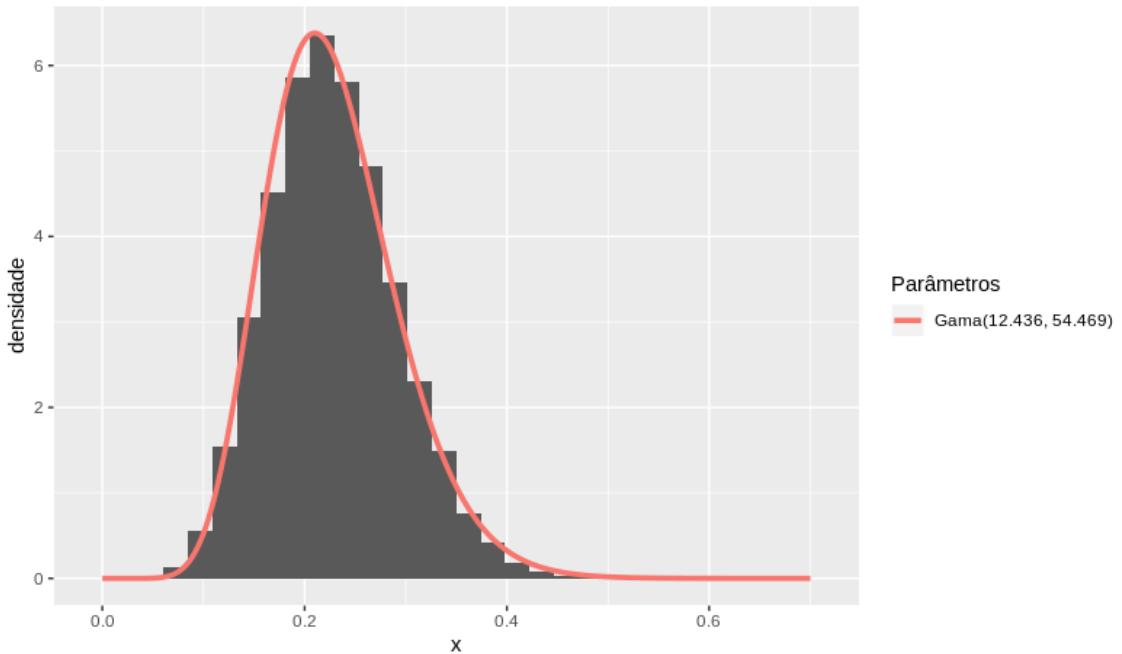


Figura 64: Região 5

As figuras 65, 66, 67, 68 e 69 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões de vegetação da figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico  $+1/4\text{-wave}$ . É observável o ajuste a distribuição Gama e a relativa proximidade entre os parâmetros estimados, com exceção do histograma da figura 69.

**Similaridade dos dados da região 1  
em relação ao retroespalhador prototípico  $+1/4\text{-wave}$**

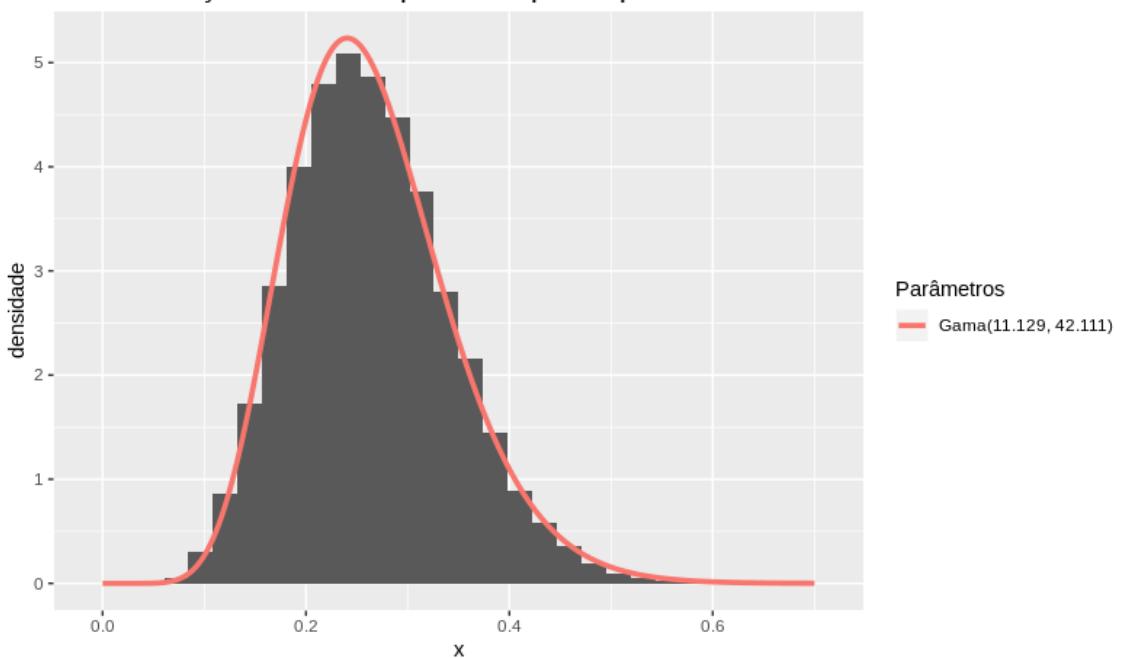


Figura 65: Região 1

Similaridade dos dados da região 2  
em relação ao retroespalhador prototípico +1/4-wave

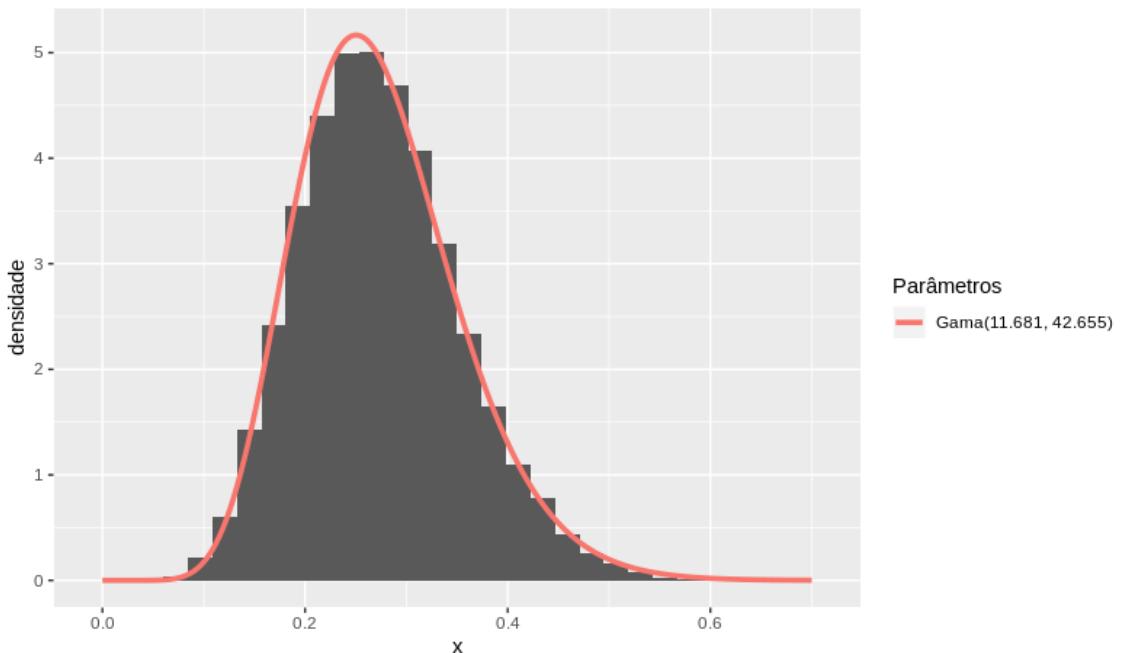


Figura 66: Região 2

Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico +1/4-wave

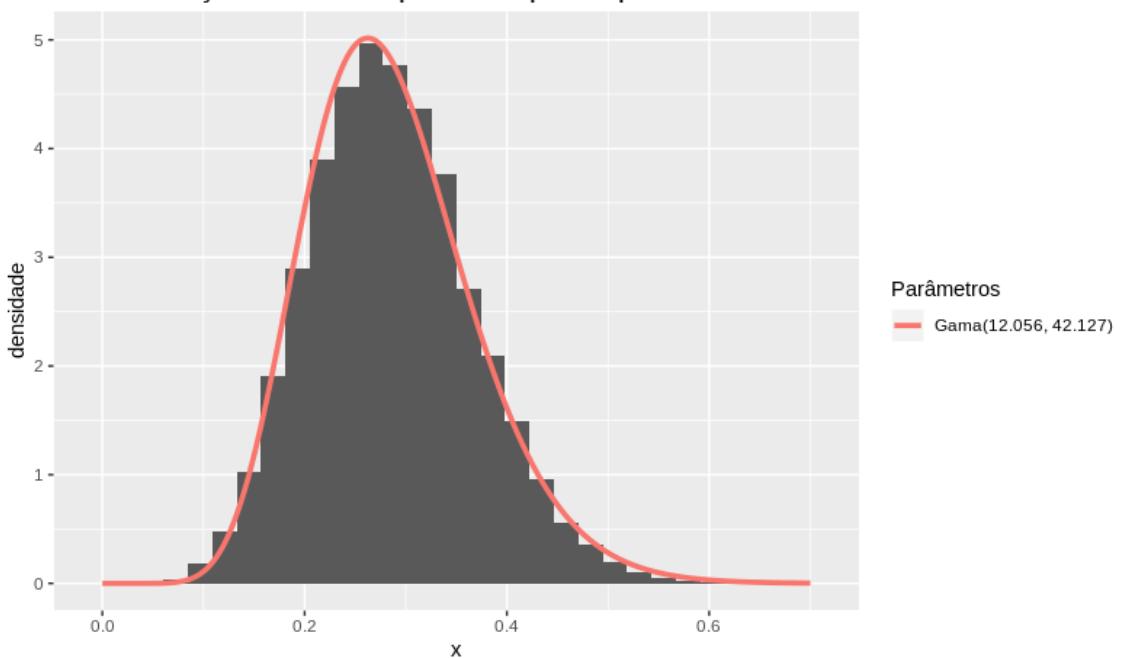


Figura 67: Região 3

**Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico +1/4-wave**

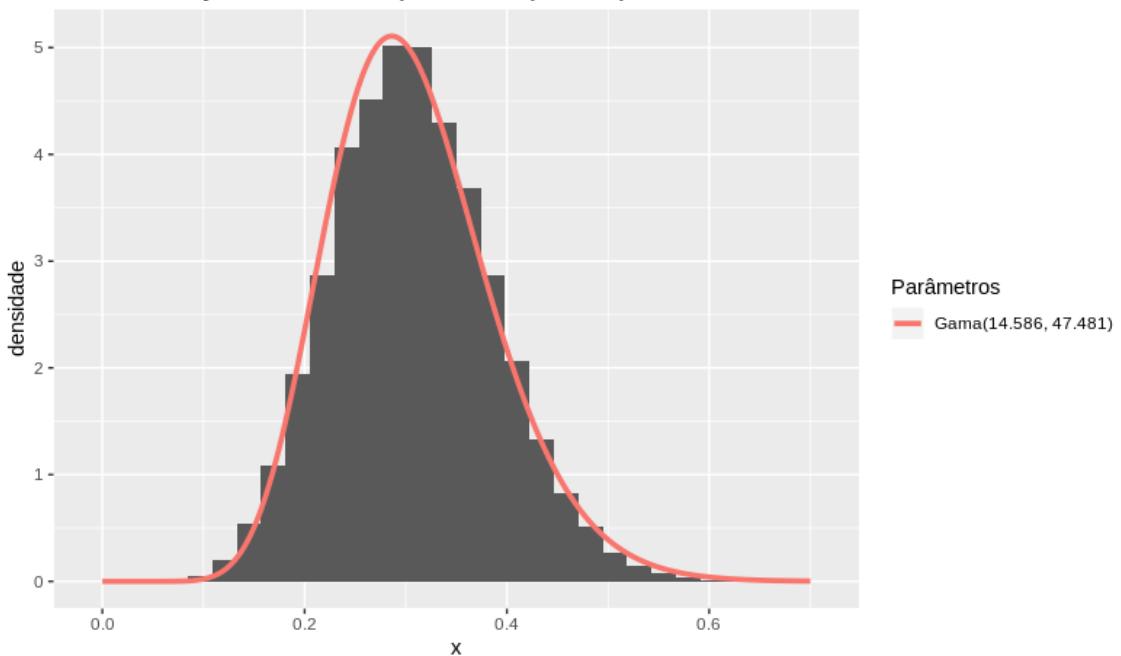


Figura 68: Região 4

**Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico +1/4-wave**

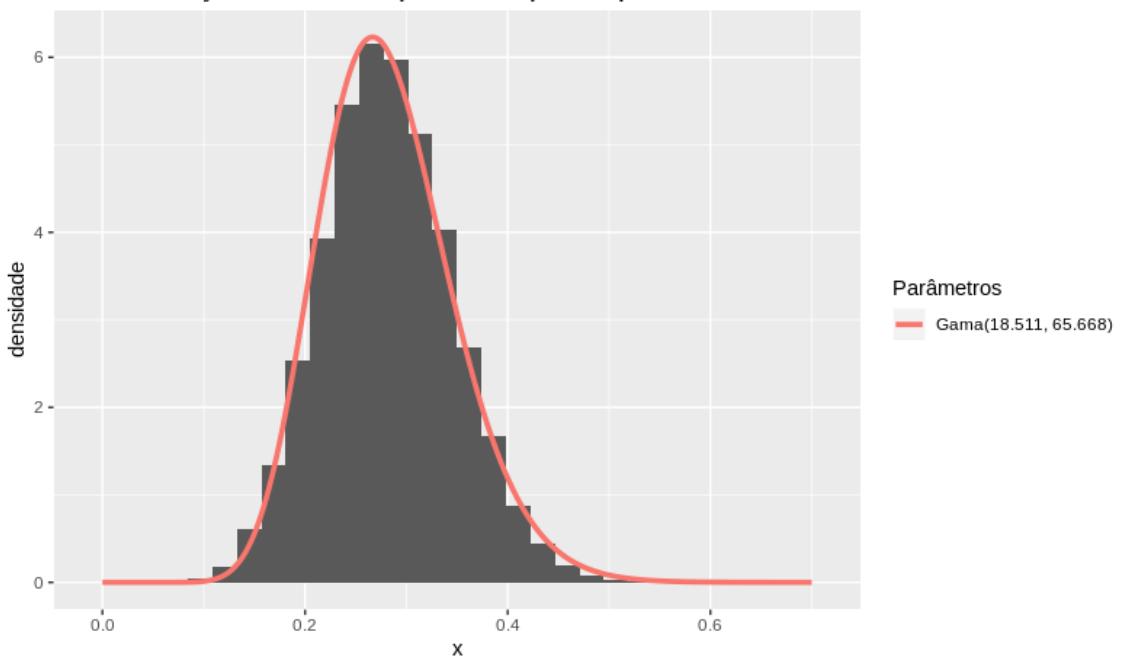


Figura 69: Região 5

As figuras 70, 71, 72, 73 e 74 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões de vegetação da figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico -1/4-wave. É observável o ajuste a distribuição Gama e a relativa proximidade entre os parâmetros estimados, com exceção do histograma da figura 74.

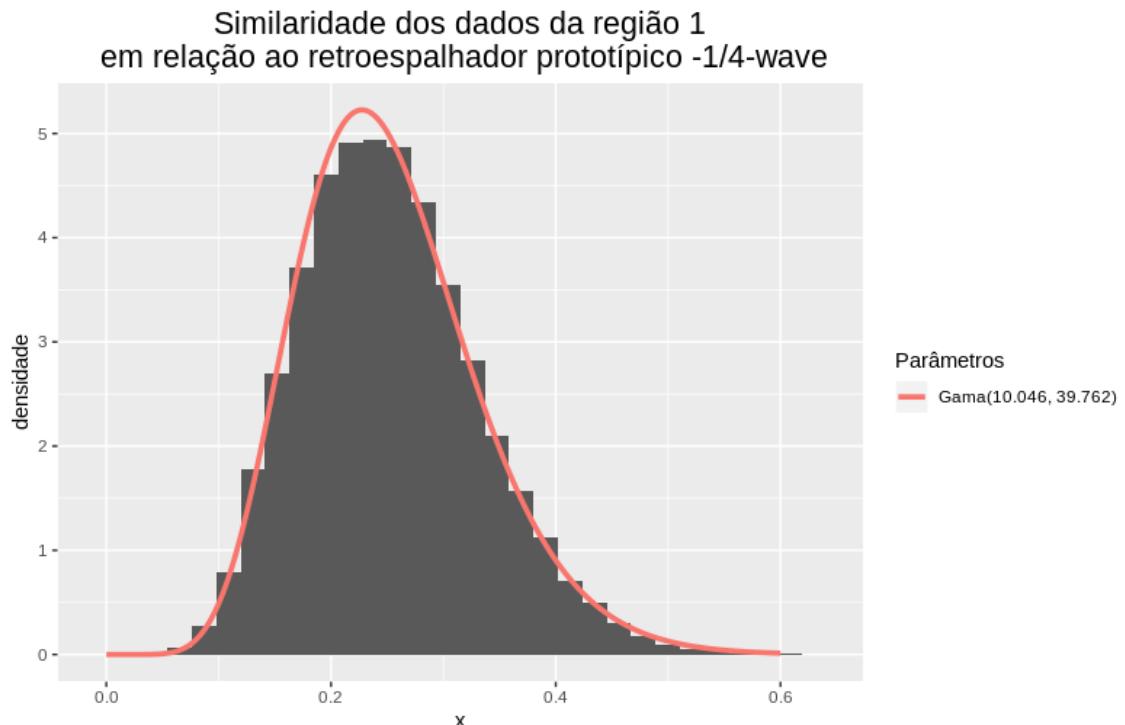


Figura 70: Região 1

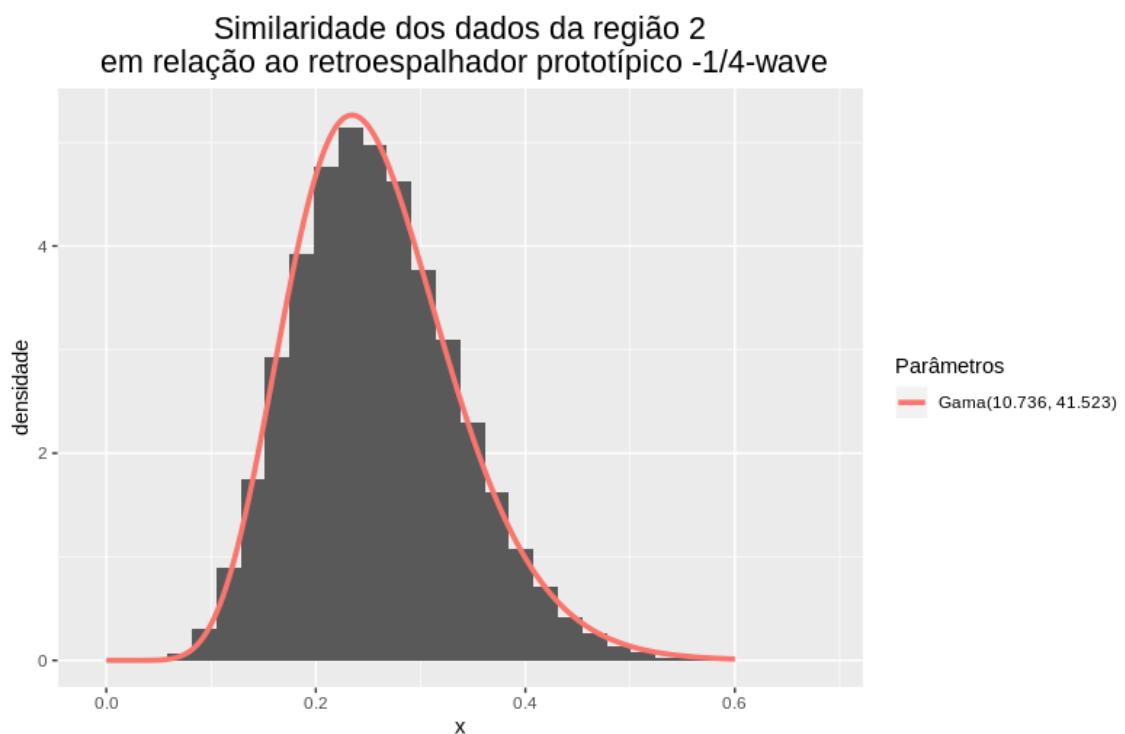


Figura 71: Região 2

**Similaridade dos dados da região 3  
em relação ao retroespalhador prototípico -1/4-wave**

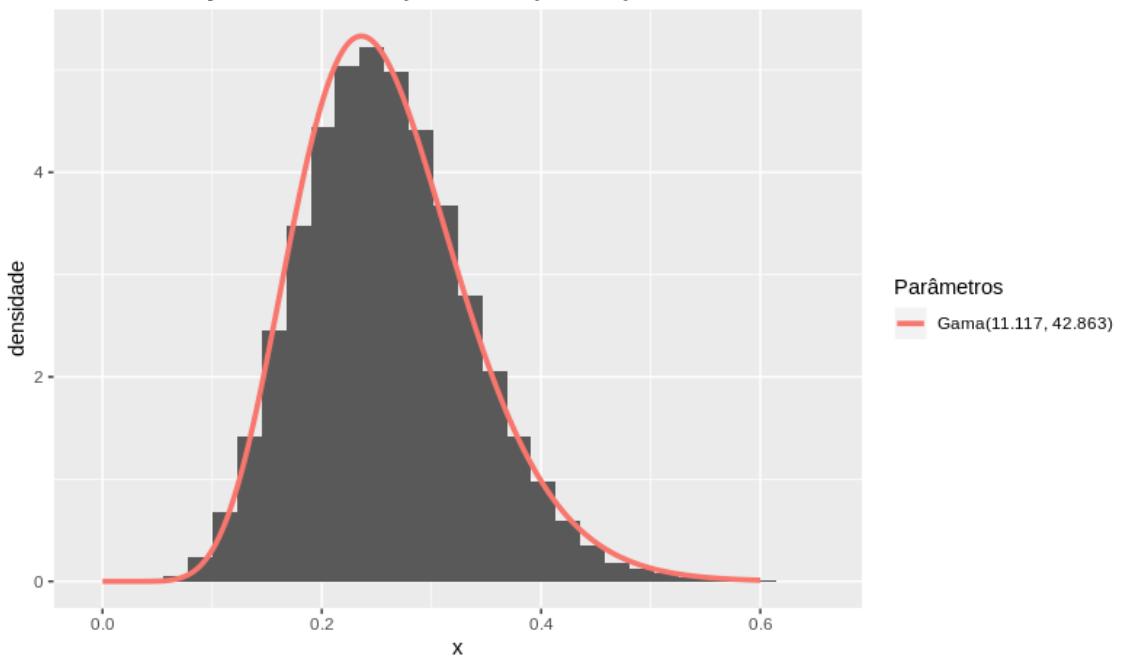


Figura 72: Região 3

**Similaridade dos dados da região 4  
em relação ao retroespalhador prototípico -1/4-wave**

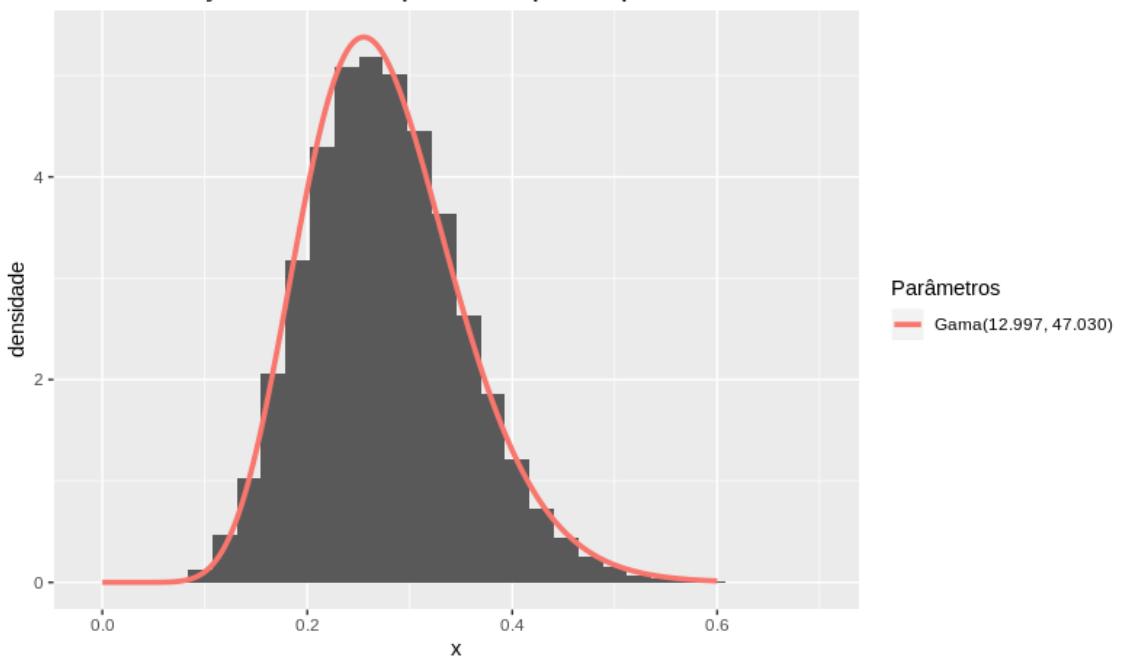


Figura 73: Região 4

**Similaridade dos dados da região 5  
em relação ao retroespalhador prototípico -1/4-wave**

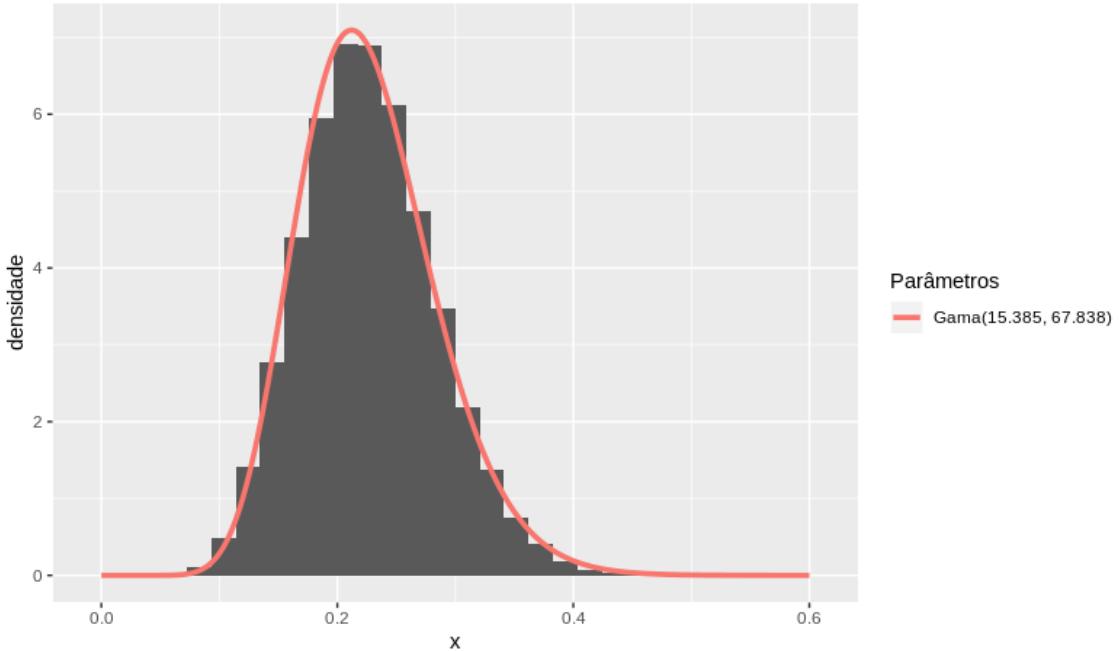


Figura 74: Região 5

As figuras 75, 76 e 77 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões 6 à 8 da figura 1, as quais são regiões de solo exposto, em relação ao retroespalhador prototípico *triangular*. Observemos que há uma considerável variabilidade nos parâmetros e que não houve ajuste à distribuição Gama no histograma da figura 75.

**Similaridade dos dados da região 6  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico**

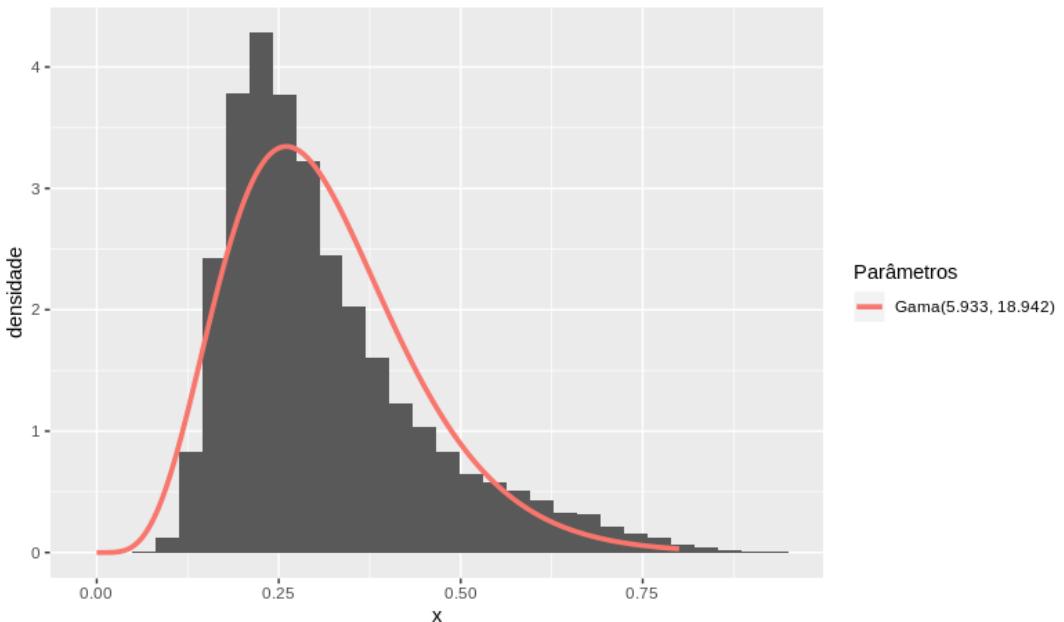


Figura 75: Região 6, Guatemala

Similaridade dos dados da região 7  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico

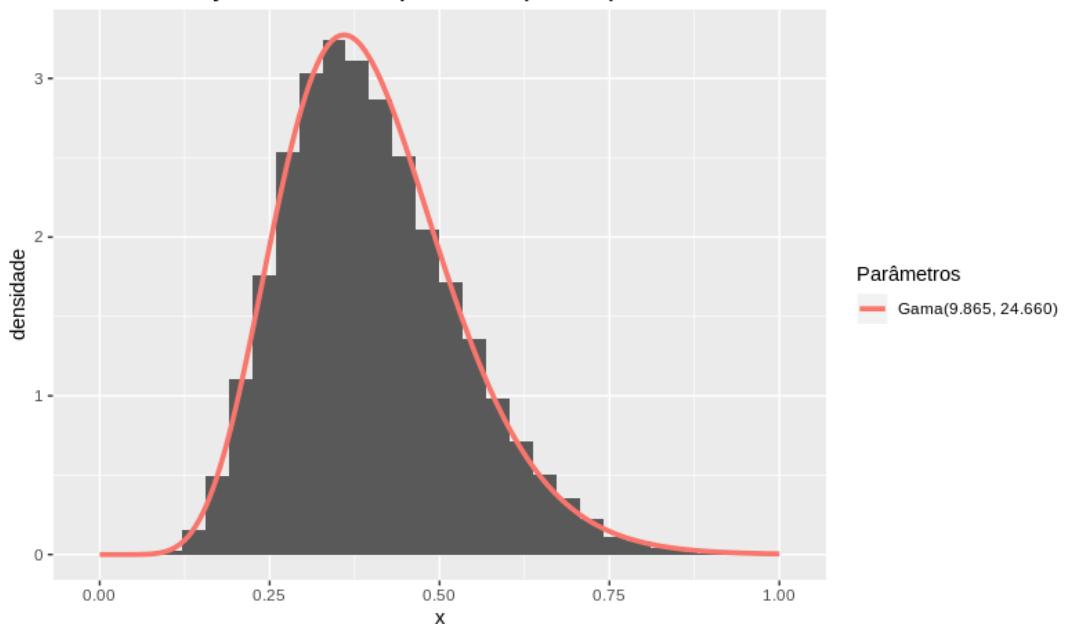


Figura 76: Região 7, Guatemala

Similaridade dos dados da região 8  
em relação ao retroespalhador prototípico triédrico

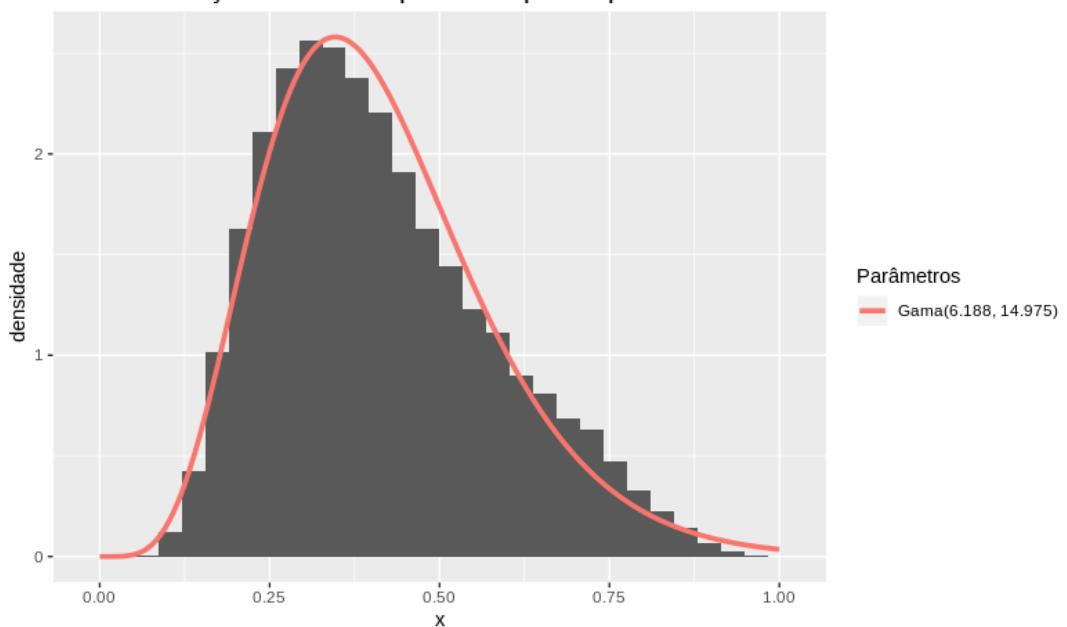


Figura 77: Região 8, Guatemala

As figuras 78, 79 e 80 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões 6 à 8 referentes à figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico *dihedral*. Embora haja o ajuste a distribuição Gama, também há considerável variabilidade nos parâmetros.

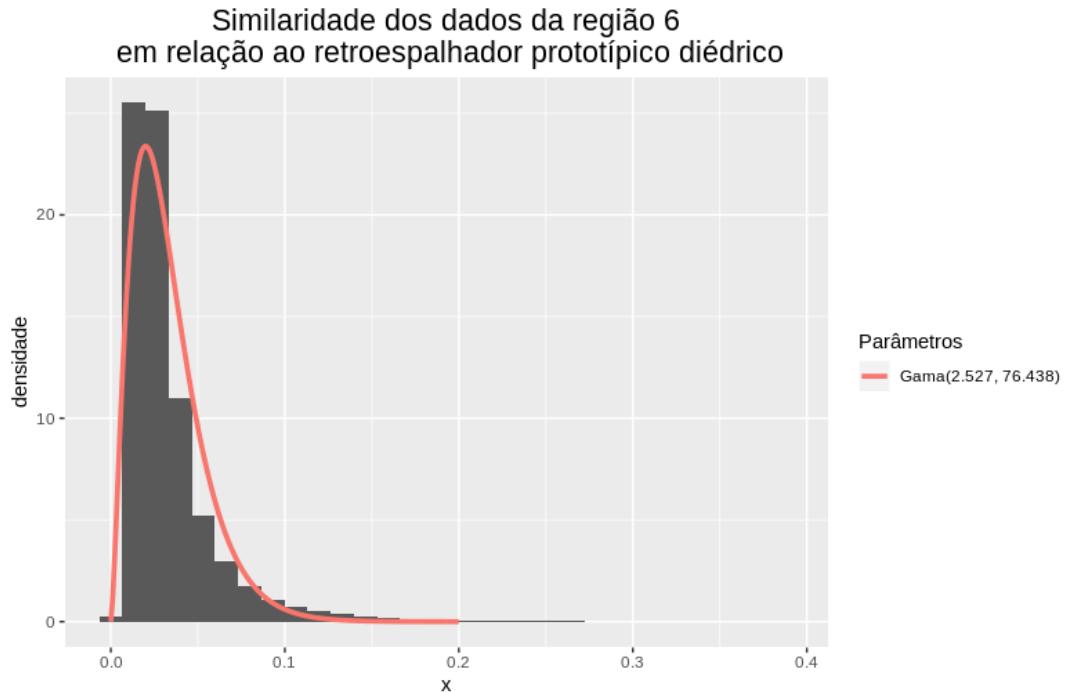


Figura 78: Região 6, Guatemala

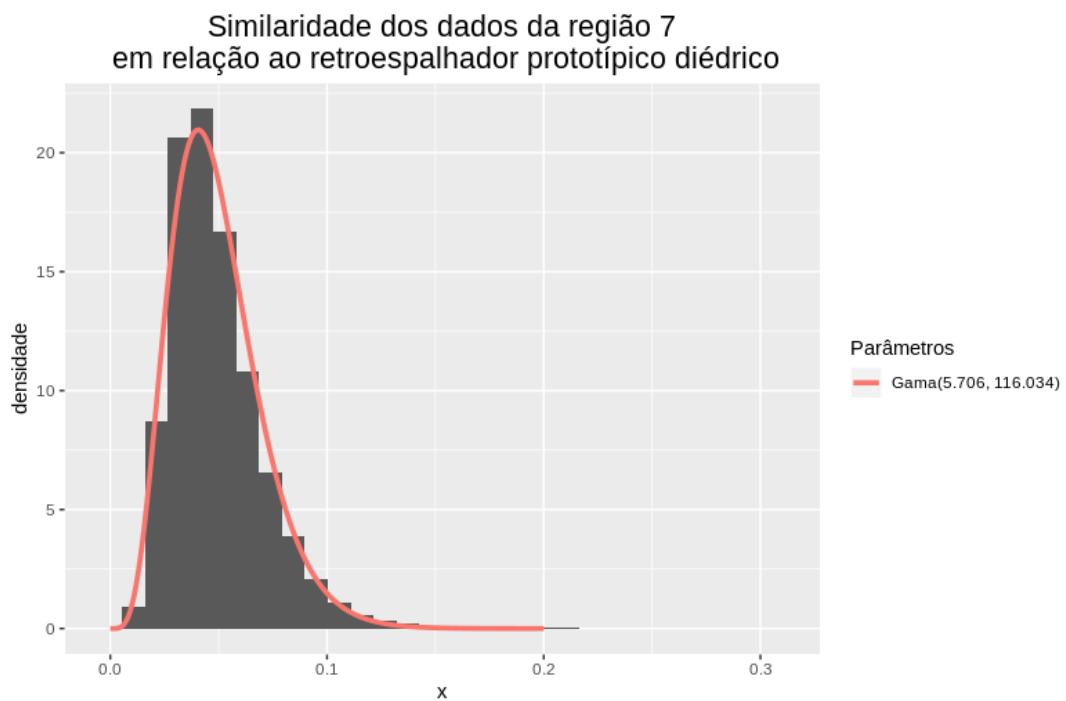


Figura 79: Região 7, Guatemala

**Similaridade dos dados da região 8  
em relação ao retroespalhador prototípico diédrico**

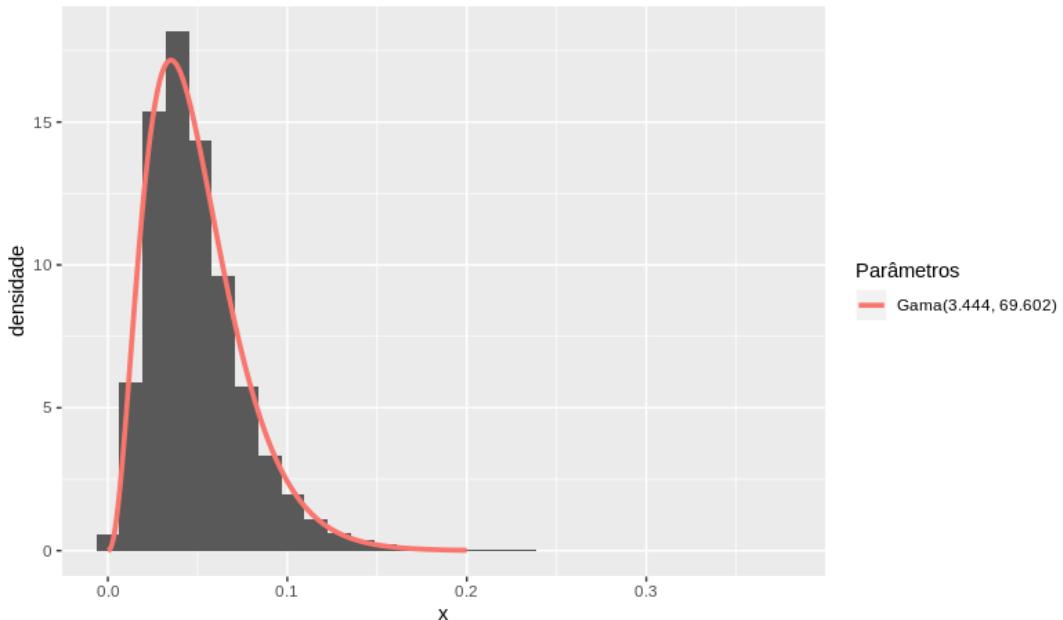


Figura 80: Região 8, Guatemala

As figuras 81, 82 e 83 apresentam os histogramas das similaridades dos dados das regiões 6 à 8 referentes à figura 1 em relação ao retroespalhador prototípico de *random volume*. Observemos que não houve ajuste dos histogramas à distribuição Gama.

**Similaridade dos dados da região 6  
em relação ao retroespalhador prototípico de volume aleatório**

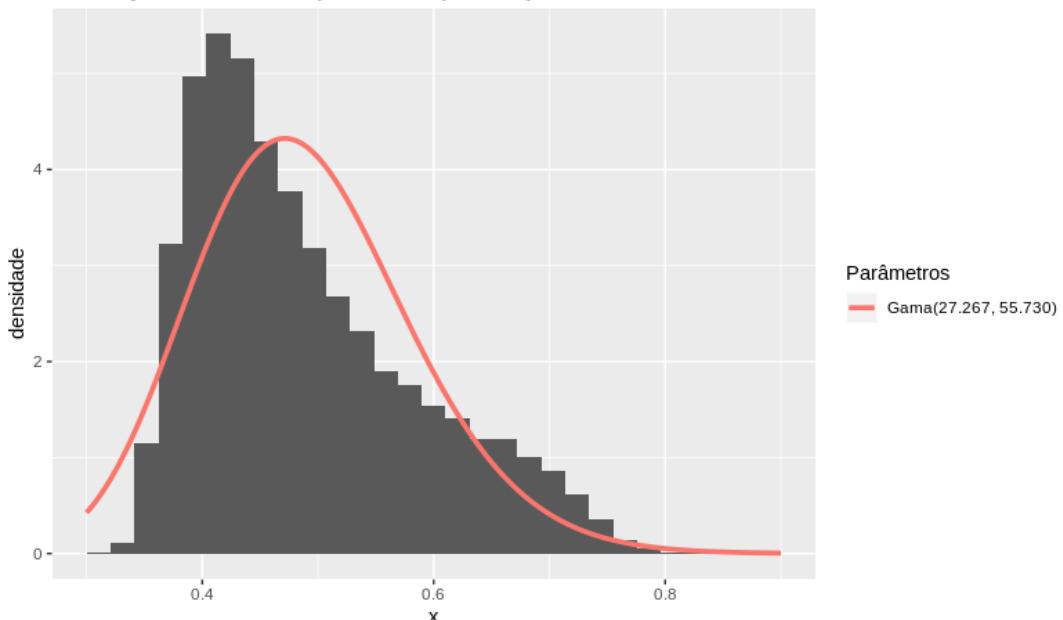


Figura 81: Região 6, Guatemala

Similaridade dos dados da região 7  
em relação ao retroespalhador protótipo de volume aleatório

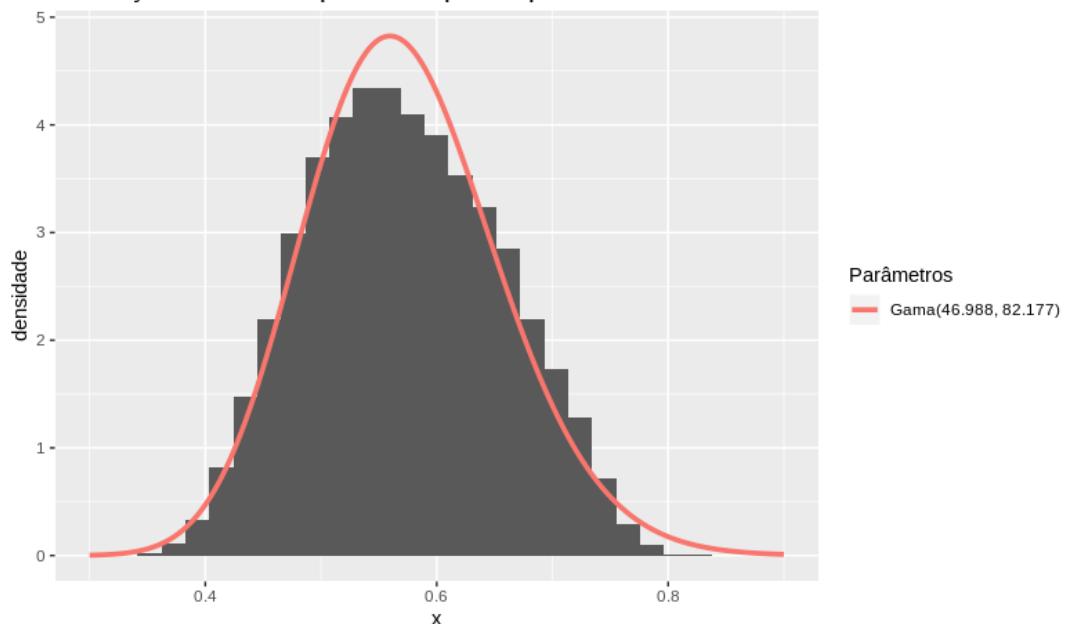


Figura 82: Região 7, Guatemala

Similaridade dos dados da região 8  
em relação ao retroespalhador protótipo de volume aleatório

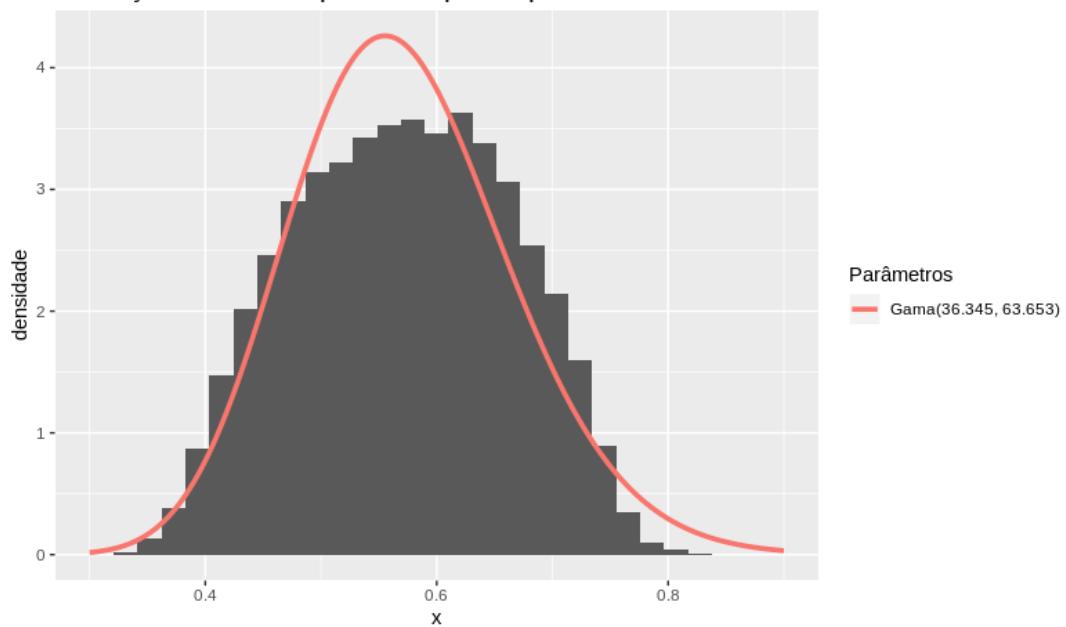


Figura 83: Região 8, Guatemala

### 3 Classificação por distância mínima

A classificação por distância mínima consiste em computar a distância de cada pixel da imagem a cada um dos retroespalhadores prototípicos e atribuí-lo àquele que está à menor distância – o que equivale à atribuição daquela com maior similaridade. Essa classificação foi utilizada nas regiões 1 à 5 da imagem referente à Guatemala e foram construídos histogramas das observações classificadas.

A figura 84 contém um mapa com a classificação dos pixels da região 1. É notório a predominância do retroespalhador *random volume*, o qual obteve 39669 observações (98% dos pixels). Outro retroespalhador destacável é o *right helix* que obteve 479 observações (1.1% dos pixels). Os demais obtiveram menos de 113 observações.

As figuras 85 e 86 contêm respectivamente os histogramas das similaridades dos pixels classificados como *random volume* e *right helix* em relação aos mesmos.

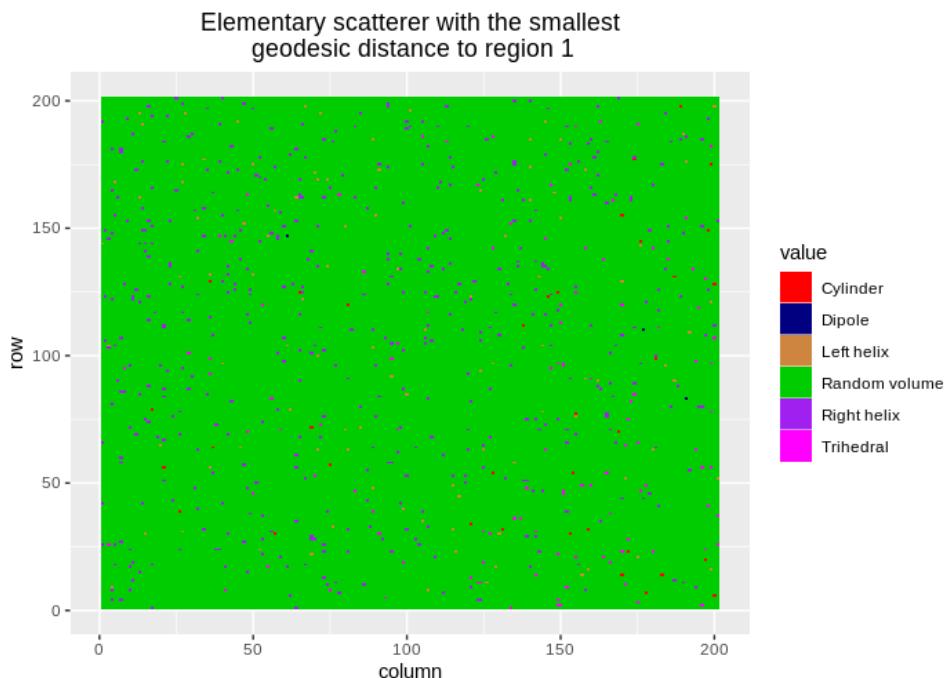


Figura 84: Região 1, Guatemala

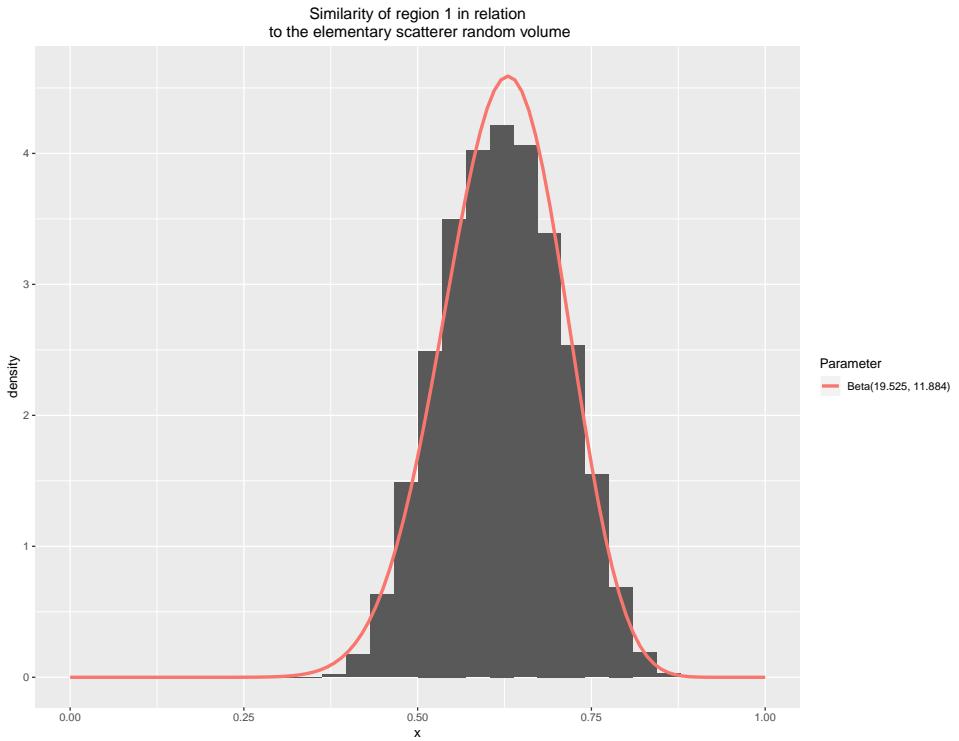


Figura 85: Histograma das similaridades em relação a *random volume* dos pixels classificados como *random volume* da Região 1, Guatemala

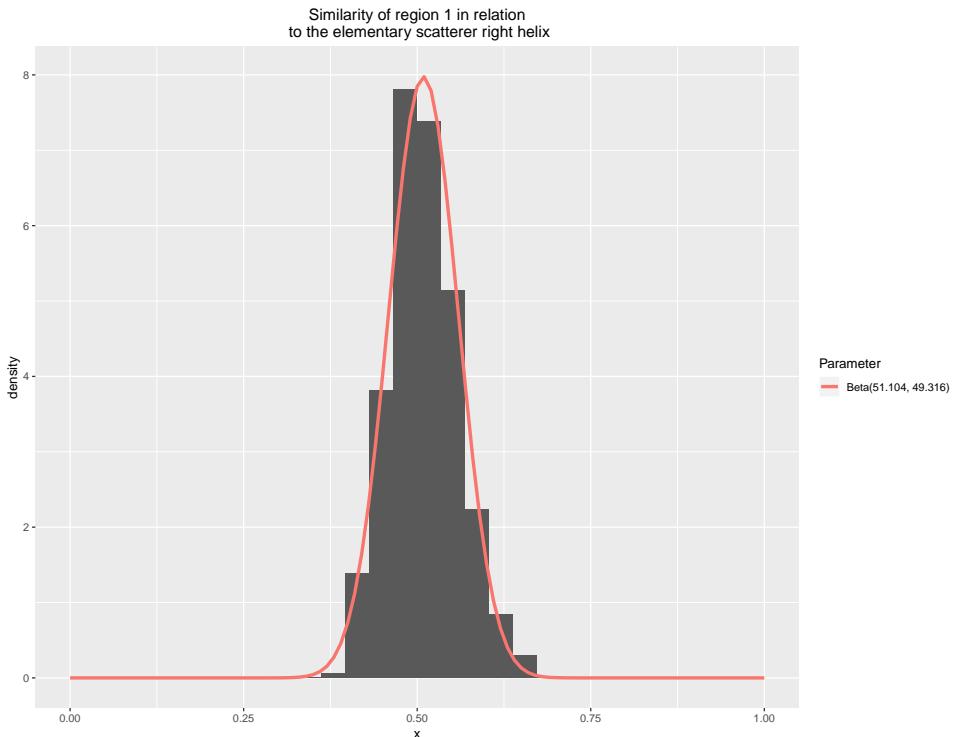


Figura 86: Histograma das similaridades em relação a *right helix* dos pixels classificados como *right helix* da Região 1, Guatemala

A figura 87 contém um mapa com a classificação dos pixels da região 2, na qual é notório a predominância do retroespalhador *random volume*, o qual obteve 39809 observações (98.5% dos pixels). Contudo os demais obtiveram menos de 293 ob-

servações. A figura 88 contém o histograma das similaridades dos pixels classificados como *random volume* em relação ao mesmo.

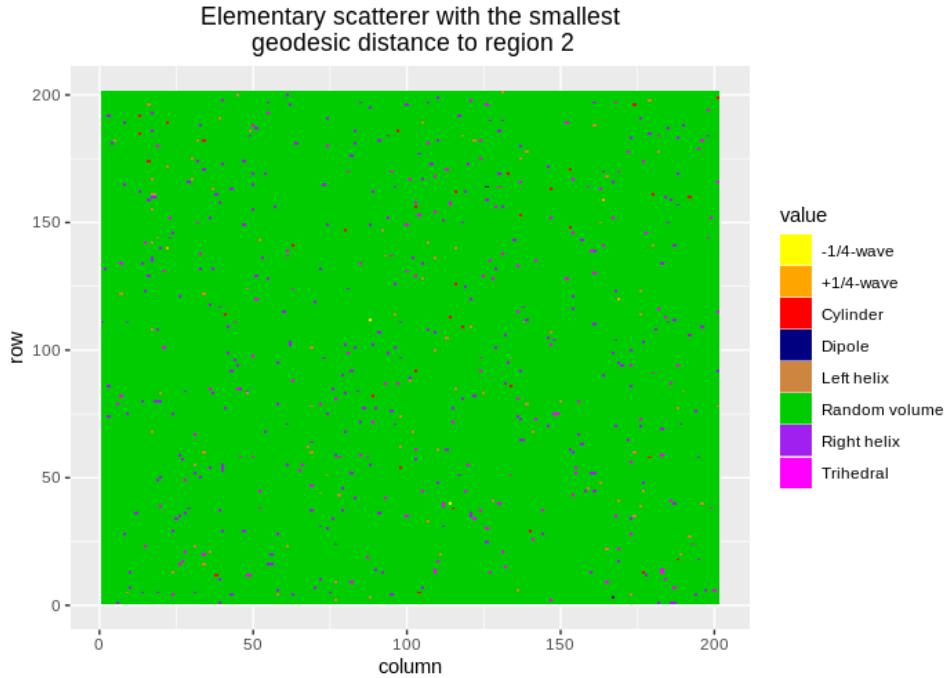


Figura 87: Região 2, Guatemala

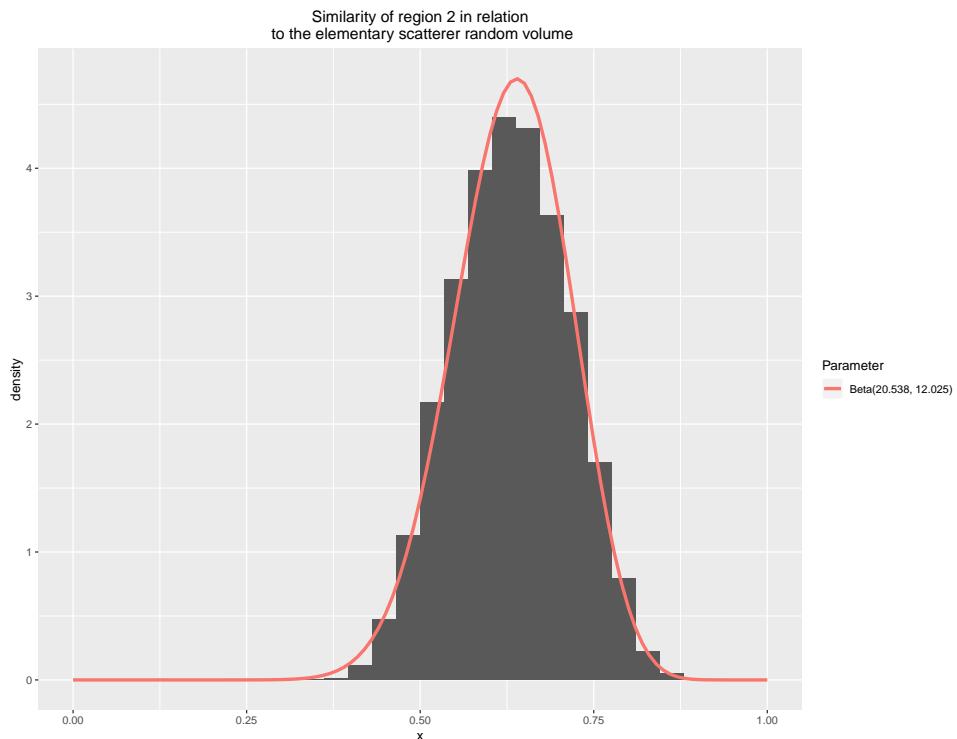


Figura 88: Histograma das similaridades em relação a *random volume* dos pixels classificados como *random volume* da Região 2, Guatemala

A figura 89 contém um mapa com a classificação dos pixel da região 3, na qual é notório a predominância do retroespalhador *random volume*, o qual obteve 39659

observações (98% dos pixels). Contudo os demais obtiveram menos de 363 observações. A figura 90 contém o histograma das similaridades dos pixels classificados como *random volume* em relação ao mesmo.

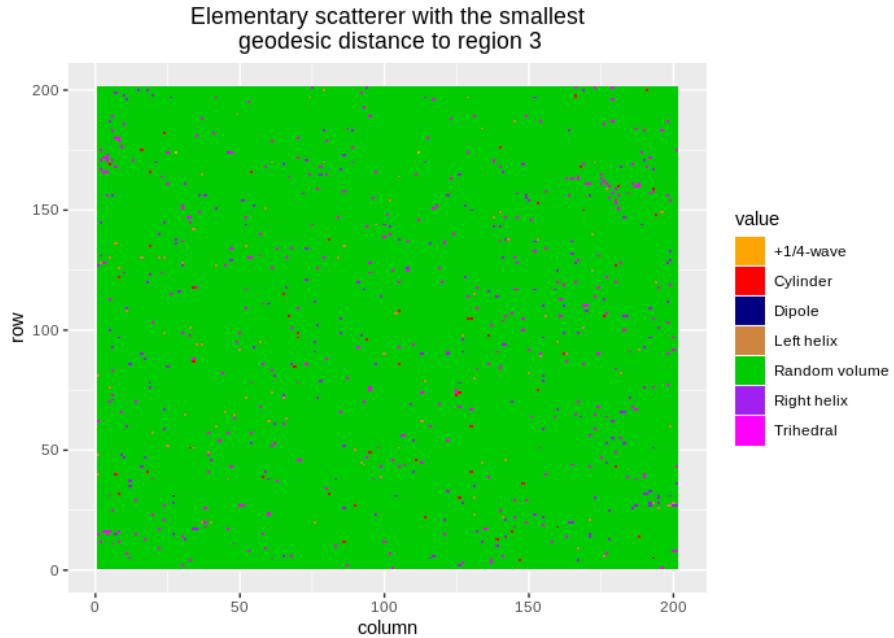


Figura 89: Região 3 Guatemala

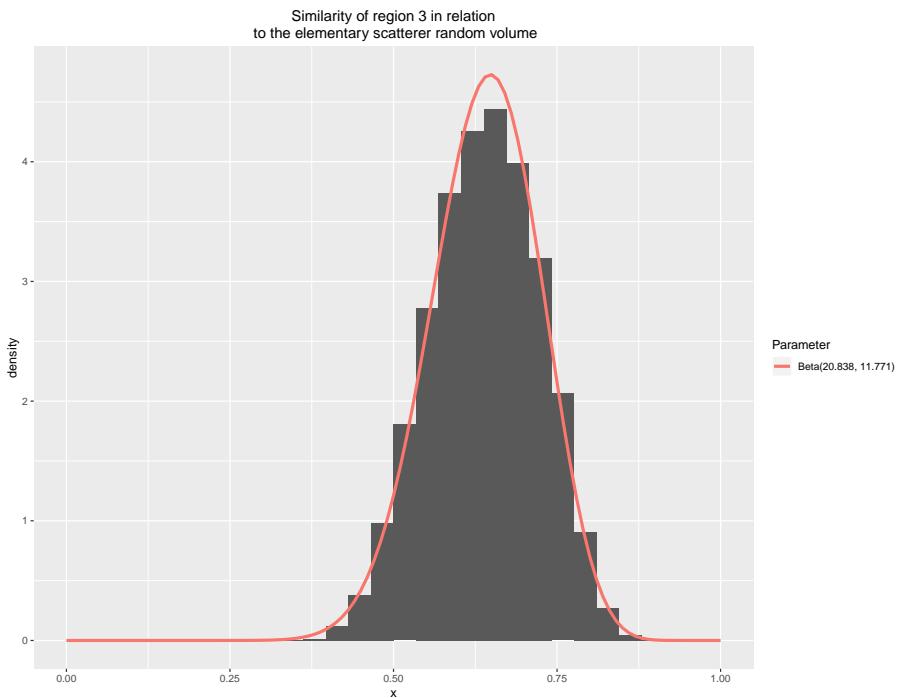


Figura 90: Histograma das similaridades em relação a *random volume* dos pixels classificados como *random volume* da Região 3, Guatemala

A figura 91 contém um mapa com a classificação dos pixel da região 4, no qual é observável a predominância do retroespalhador *random volume*, o qual obteve 39476 observações (97.7% dos pixels). Além deste, outro retroespalhador destacável é o

*triangular* que obteve 716 observações (1.7% dos pixels). Os demais obtiveram menos de 86 observações. As figuras 92 e 93 contêm respectivamente os histogramas das similaridades dos pixels classificados como *random volume* e *triangular* em relação aos mesmos.

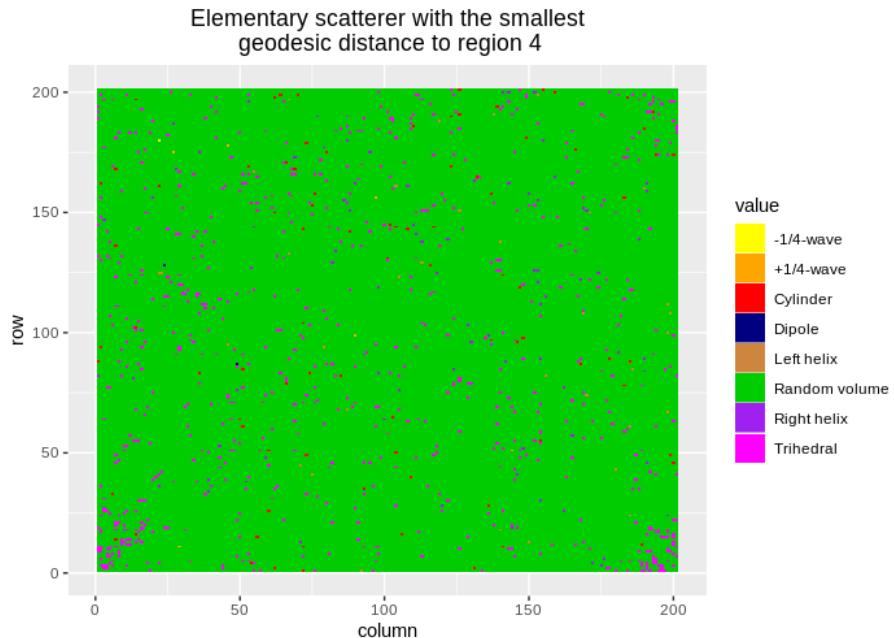


Figura 91: Região 4, Guatemala

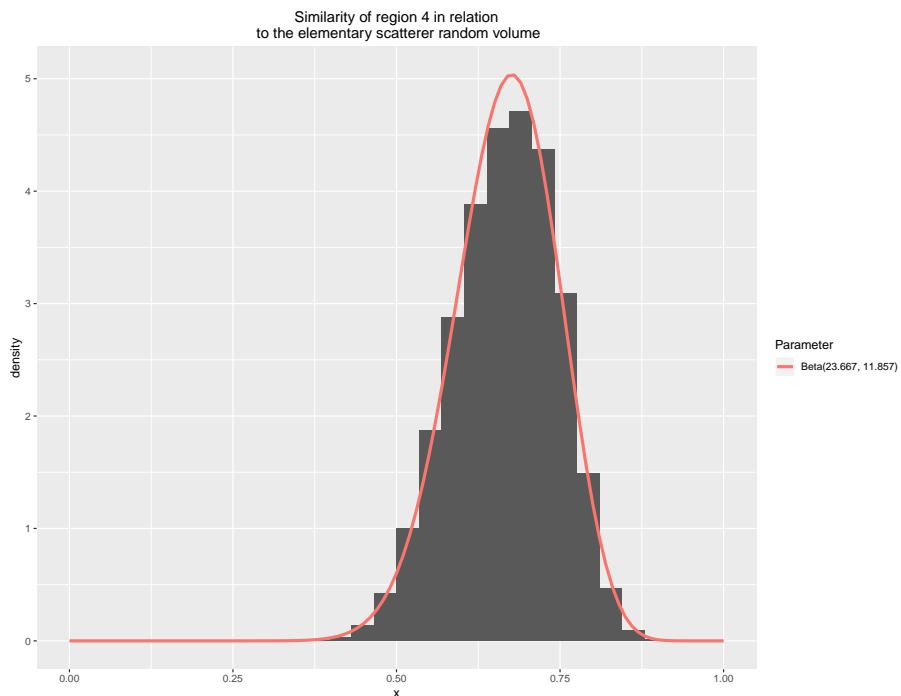


Figura 92: Histograma das similaridades em relação a *random volume* dos pixels classificados como *random volume* da Região 4, Guatemala

A figura 94 contém um mapa com a classificação dos pixels da região 5, no qual é nítida a predominância do retroespalhador *random volume*, o qual obteve 38865

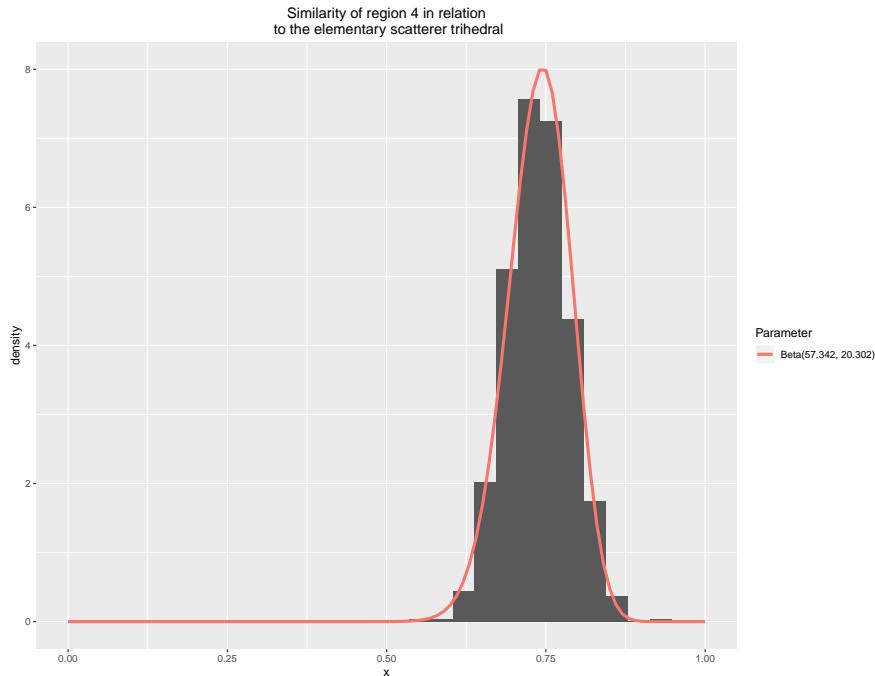


Figura 93: Histograma das similaridades em relação a *trihedral* dos pixels classificados como *trihedral* da Região 4, Guatemala

observações (96.1% dos pixels). Além deste, outro retroespalhador destacável é o *trihedral* que obteve 1395 observações (3.4% dos pixels). Contudo, os demais obteveram menos de 118 observações. As figuras 95 e 96 contêm respectivamente os histogramas das similaridades dos pixels classificados como *random volume* e *trihedral* em relação aos mesmos.

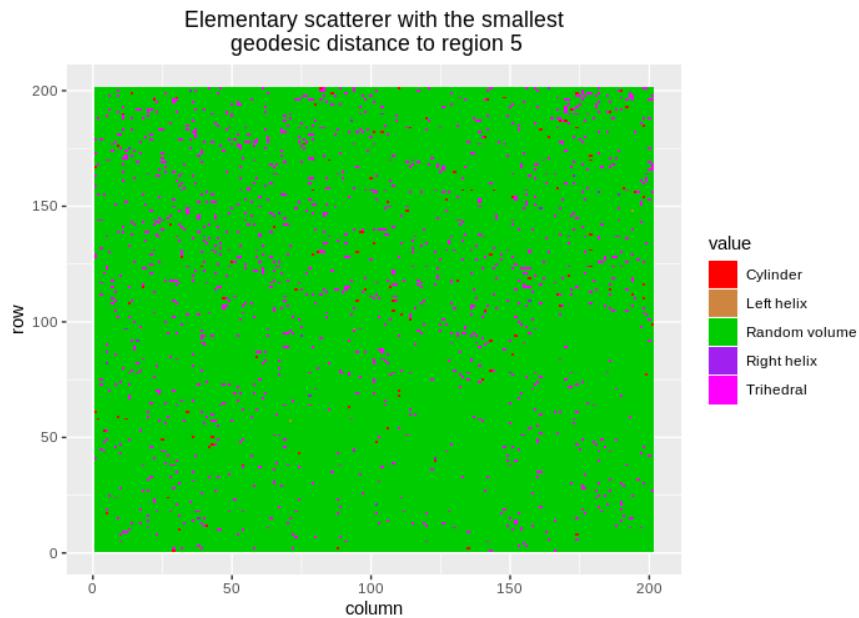


Figura 94: Região 5, Guatemala

Ao comparar estes resultados com os histogramas feitos sem o uso do classificador, pode-se observar a inalteração do comportamento das similaridades em relação

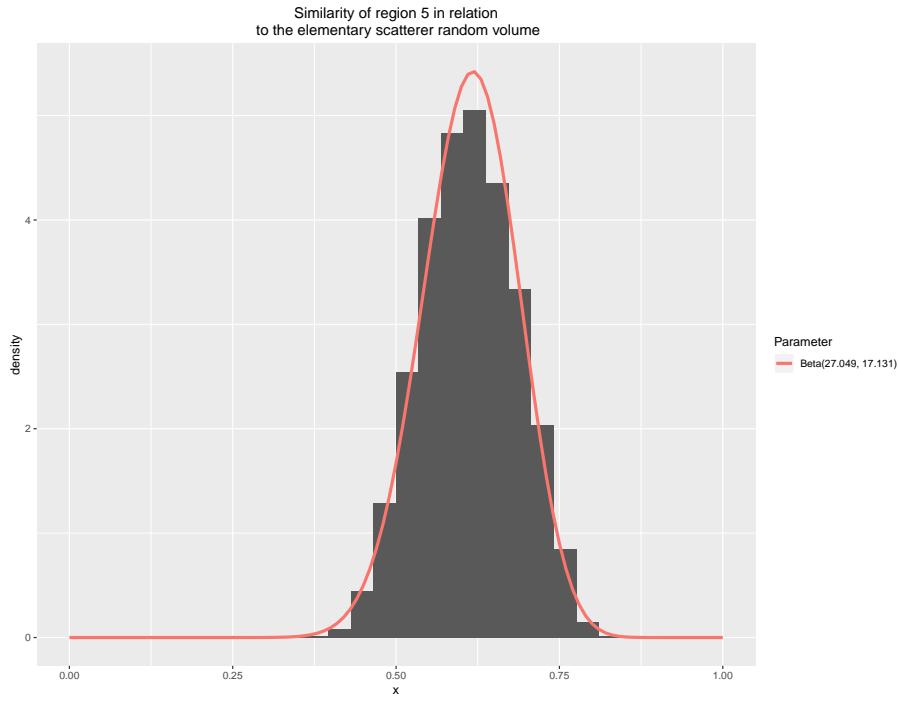


Figura 95: Histograma das similaridades em relação a *random volume* dos pixels classificados como *random volume* da Região 5, Guatemala

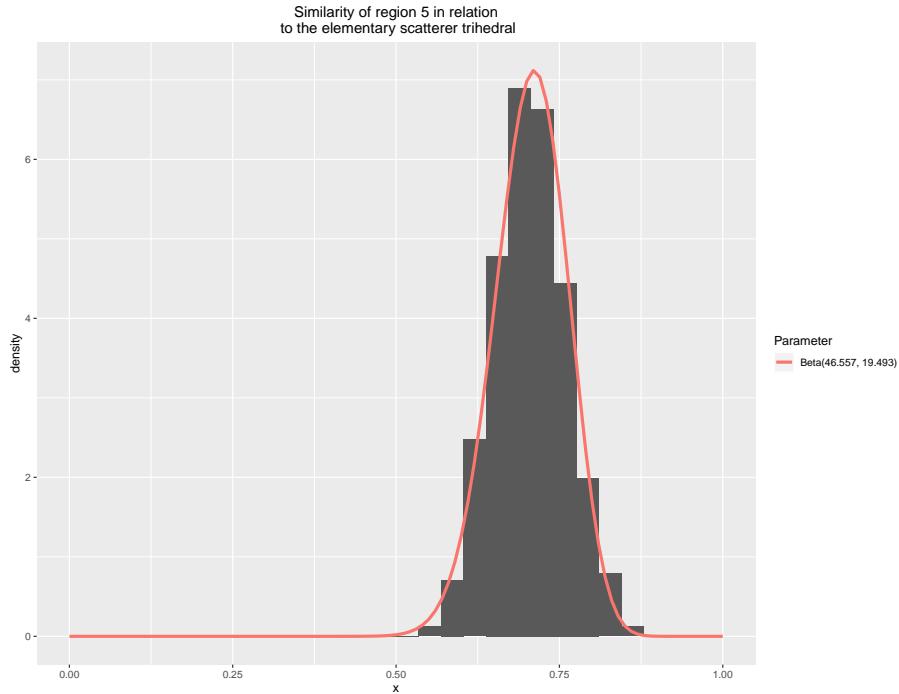


Figura 96: Histograma das similaridades em relação a *trihedral* dos pixels classificados como *trihedral* da Região 5, Guatemala

a *random volume*, o que é esperado visto que reduziu-se no máximo 3.9% de suas observações. Entretanto, ao comparar as figuras 7 e 93 e as figuras 8 e 96 nota-se que houve considerável aumento na média e redução no desvio padrão. No que diz respeito as figuras 60 e 86, observa-se uma completa mudança no comportamento das similaridades.

A imagem 97 apresenta um mapa com a classificação de todos os pixels da imagem referente à Guatemala. É observável a predominância de *random volume* e *trihedral*.

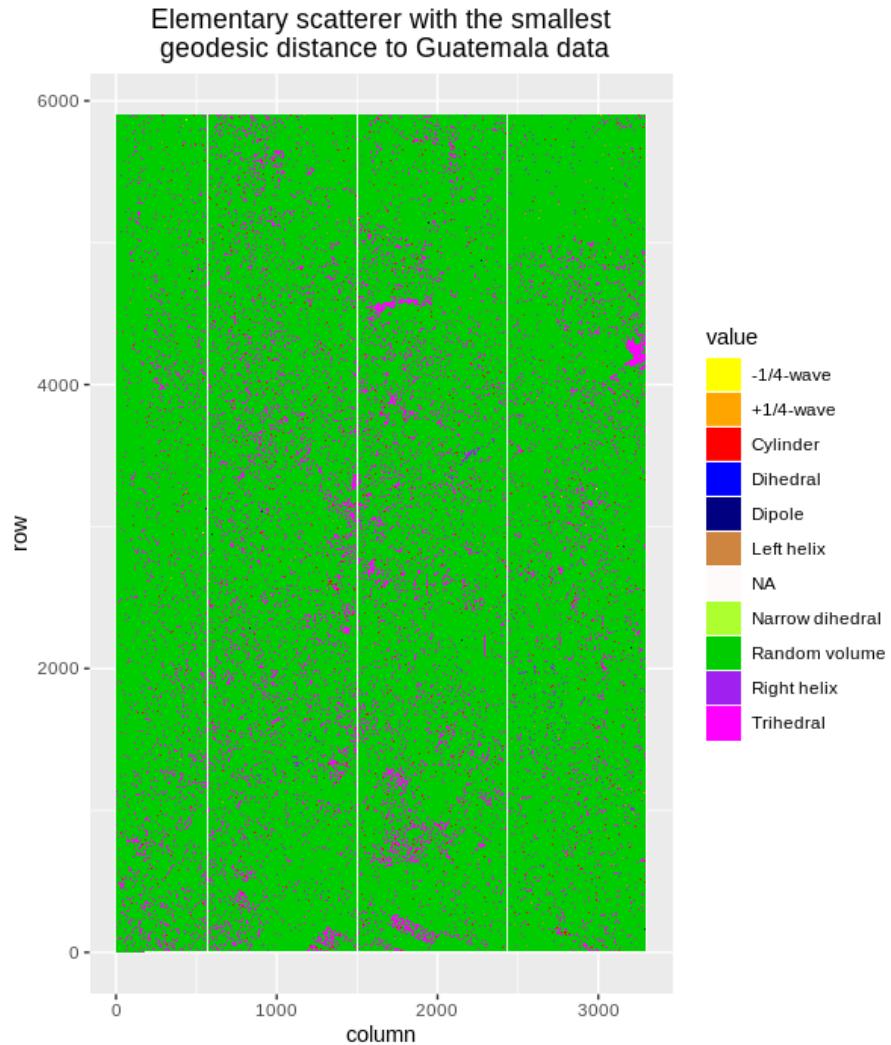


Figura 97: Guatemala

## Referências

RATHA, D.; BHATTACHARYA, A.; FRERY, A. C. Unsupervised classification of PolSAR data using a scattering similarity measure derived from a geodesic distance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, p. 151–155, jan. 2018.