

**UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE**

ANDERSON ADAIME DE BORBA

**Relatório Técnico IGARSS–2021**

São Paulo  
2020

# Listas de Abreviaturas

RAR	Radar de abertura real
SAR	Radar de abertura sintética
PolSAR	Radar de abertura sintética polarimétrica
PDF	Função densidade de probabilidade
ROI	Região de Interesse
LoG	Detector de borda usando o laplaciano da gaussiana
MLE	Método estimativa de máxima verossimilhança
MS	Média simples
MR-DWT	Transformada <i>wavelet</i> discreta com múltiplas resoluções
PCA	Analise das componentes principais
E-ROC	Estatística ROC ( <i>Receiver operating characteristic</i> )
MR-SWT	Transformada <i>wavelet</i> estacionária com múltiplas resoluções
MR-SVD	Decomposição em valores singulares com múltiplas resoluções
GenSA	Método Simulated annealing
BFGS	Método Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno
VHR	<i>Very High Resolution</i>
DLR	Centro espacial da Alemanha
BSA	Sistema de coordenadas <i>Back Scattering Alignment</i>
DOI	<i>Digital Object Identifier</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>



# **Lista de Símbolos**

$L$	Número de visadas em uma imagem PolSAR
$\Sigma$	Mariz de covariância hermitiana e definida positiva
$E[\cdot]$	Valor esperado
$\Gamma$	Função Gamma
$\Gamma_m$	Função Gamma multivariada
$W(\Sigma, L)$	Distribuição Wishart



# Listas de Figuras

1.1	Matriz de confusão para a evidências de bordas $I_{hh}$	5
1.2	Matriz de confusão para a evidências de bordas $I_{hv}$	6
1.3	Matriz de confusão para a evidências de bordas $I_{vv}$	7
1.4	Matriz de confusão para a fusão por média	8
1.5	Matriz de confusão para a fusão PCA	9
1.6	Matriz de confusão para a fusão MR-SWT	10
1.7	Matriz de confusão para a fusão MR-DWT	10
1.8	Matriz de confusão para a fusão ROC	11
1.9	Matriz de confusão para a fusão MR-SVD	12
1.10	Entradas das matrizes de confusão para os métodos de detecção	13
1.11	Métricas para os métodos de detecção	14



# Listas de Tabelas

1.1	Matriz de confusão.	1
1.2	Matriz de confusão definida com $p = 1$ e $n = 0$ .	1
1.3	Matriz de confusão definida com $p = 1$ e $n = 0$ .	2
1.4	Métricas para detecção de evidências de bordas no canal $I_{hh}$ .	5
1.5	Métricas para detecção de evidências de bordas no canal $I_{hv}$ .	6
1.6	Métricas para detecção de evidências de bordas no canal $I_{vv}$ .	7
1.7	Métricas para o método de fusão por média.	8
1.8	Métricas para o método de fusão PCA.	9
1.9	Métricas para o método de fusão MR-SWT.	9
1.10	Métricas para o método de fusão MR-DWT.	11
1.11	Métricas para o método de fusão ROC.	11
1.12	Métricas para o método de fusão MR-SVD.	12
1.13	Matriz de confusão.	12
1.14	Métricas.	12
1.15	Métricas de distância	13



# Sumário

<b>Lista de Abreviaturas</b>	<b>i</b>
<b>Lista de Símbolos</b>	<b>iii</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>vii</b>
<b>1 Métricas</b>	<b>1</b>
1.1 Métricas baseadas na matriz de confusão . . . . .	1
1.1.1 Métrica acurácia – Mac . . . . .	2
1.1.2 Métrica F <sub>1</sub> escore – Mfe . . . . .	3
1.1.3 Métrica <i>Matthews correlation coefficient</i> – Mcc . . . . .	4
1.1.4 Métrica Recall – Mre . . . . .	4
1.1.5 Métrica Especificidade – Mesp . . . . .	4
1.1.6 Métrica Razão de positivos falsos – Mrpf . . . . .	4
1.1.7 Métrica Razão de negativos falsos – Mrnf . . . . .	4
1.1.8 Métrica Precisão – Mprec . . . . .	5
1.1.9 Métrica Valores preditos negativo –Mnpv . . . . .	5
1.2 Resultados da aplicação das métricas . . . . .	5
1.3 Observações . . . . .	6
1.4 Metricas de distância . . . . .	8
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>15</b>



# Capítulo 1

## Métricas

Naidu e Raol (2008)

### 1.1 Métricas baseadas na matriz de confusão

Nesta seção são apresentadas métricas usadas para medir a eficiência das tarefas de classificações. As métricas são baseadas na matriz de confusão, considerando a instância

**Tabela 1.1:** Matriz de confusão.

		Classes definidas como verdadeiras	
Classes preditas	n	p	
	p	Positivos falsos (FP)	Positivos verdadeiros (TP)
	n	Negativos verdadeiros (TN)	Negativos falsos (FN)

positiva por  $p = 1$ , e a instância negativa por  $n = 0$ , a tabela será:

**Tabela 1.2:** Matriz de confusão definida com  $p = 1$  e  $n = 0$ .

		Classes definidas como verdadeiras	
Classes preditas	0	1	
	1	Positivos falsos (FP)	Positivos verdadeiros (TP)
	0	Negativos verdadeiros (TN)	Negativos falsos (FN)

As instâncias podem ser rotuladas como positivas ( $p = 1$ ) e negativas ( $n = 0$ ), e classificados por:

- (i) TP - Rotuladas positivas e corretamente predita como positiva.
- (ii) FN - Rotuladas positivas e erradamente predita como negativa.
- (iii) TN - Rotuladas negativas e corretamente predita como negativa.

(iv) FP - Rotuladas negativas e erradamente predita como positiva.

Definindo  $n^+ = TP + FN$  e  $n^- = TN + FP$ , quando o FN e FP tendem para zero, podemos afirmar que alcançamos a classificação perfeita, isto é,  $n^+ = TP$  e  $n^- = TN$  com matriz de confusão:

**Tabela 1.3:** Matriz de confusão definida com  $p = 1$  e  $n = 0$ .

		Classes definidas como verdadeiras	
		0	1
Classes preditas	1	0	$n^+ = TP$
	0	$n^- = TN$	0

Representamos a matriz de confusão,

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} FP & TP \\ TN & FN \end{bmatrix}. \quad (1.1)$$

### 1.1.1 Métrica acurácia – Mac

A métrica acurácia é definida por,

$$Mac = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}. \quad (1.2)$$

O valor acurado é o retorno da métrica próximo de 1, pois se a classificação for

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} n^+ & 0 \\ 0 & n^- \end{bmatrix},$$

calculamos a métrica acurácia,

$$Mac = \frac{n^+ + n^-}{n^+ + n^-} = 1$$

e na pior classificação,

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 0 & n^+ \\ n^- & 0 \end{bmatrix}.$$

calculando a métrica

$$Mac = \frac{0 + 0}{n^+ + n^-} = 0.$$

Assim a métrica acurácia

(i) No melhor caso Mac=1.

(ii) No pior caso Mac=0.

Um conjunto de dados binários é considerado balanceados quando as classes têm o mesmo tamanho. Para informar se um conjunto de dados é balanceado ou não definimos a medida *no information error rate*

$$ni = \frac{\max\{n^+, n^-\}}{n^+ + n^-}, \quad (1.3)$$

se o conjunto de dados é balanceado o valor de  $ni = \frac{1}{2}$ . Portanto, quando o conjunto de dados for desbalanceado a métrica acurácia pode fornecer um valor degenerado. Por exemplo, se a classificação fornece a seguinte matriz

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} n^+ & 0 \\ n^- & 0 \end{bmatrix}.$$

A métrica acurácia retorna o valor:

$$Mac = \frac{n^+ + 0}{n^+ + n^-} = ni \sim 1.$$

em um conjunto de dados desbalanceado.

Outro problema pode acontecer mesmo em um conjunto de dados balanceado e corretamente classificado, seja a matriz desta classificação:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \frac{n^+}{2} & \frac{n^+}{2} \\ \frac{n^-}{2} & \frac{n^-}{2} \end{bmatrix},$$

calculando a acurácia:

$$Mac = \frac{\frac{n^+}{2} + \frac{n^-}{2}}{\frac{n^+}{2} + \frac{n^-}{2} + \frac{n^+}{2} + \frac{n^-}{2}} = \frac{1}{2}.$$

Neste caso temos uma classificação realizado corretamente e uma medida de acurácia não correspondente a correta classificação.

### 1.1.2 Métrica $F_1$ escore – Mfe

A métrica Mfe é definida por:

$$Mfe = \frac{2 \cdot TP}{2 \cdot TP + FP + FN}. \quad (1.4)$$

Assim a métrica Mfe retorna:

- (i) No melhor caso  $Mfe=1$ .
- (ii) No pior caso  $Mfe=0$ .

Podemos notar que a métrica Mfe não depende da entrada TN da matriz de confusão, portanto não é definida para a seguinte matriz de confusão corretamente imposta,

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & n^- \end{bmatrix},$$

Da mesma forma, a métrica Mfe apresenta problema se a classificação gera a matriz de confusão do tipo

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 0 & n^+ \\ 0 & n^- \end{bmatrix},$$

o cálculo de Mfe é:

$$Mfe = \frac{0}{0 + n^- + 0} = 0. \quad (1.5)$$

portanto a métrica produz um resultado degenerado, mesmo a classificação sendo correta.

### 1.1.3 Métrica *Matthews correlation coefficient* – Mcc

$$Mcc = \frac{TP \cdot TN - FP \cdot FN}{\sqrt{(TP + FP) \cdot (TP + FN) \cdot (TN + FP) \cdot (TN + FN)}} \quad (1.6)$$

### 1.1.4 Métrica Recall – Mre

$$Mre = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1.7)$$

### 1.1.5 Métrica Especificidade – Mesp

$$Mesp = \frac{TN}{TN+FP} \quad (1.8)$$

### 1.1.6 Métrica Razão de positivos falsos – Mrpf

$$Mrpf = \frac{FP}{TN+FP} \quad (1.9)$$

### 1.1.7 Métrica Razão de negativos falsos – Mrnf

$$Mrnf = \frac{FN}{TP+FN} \quad (1.10)$$

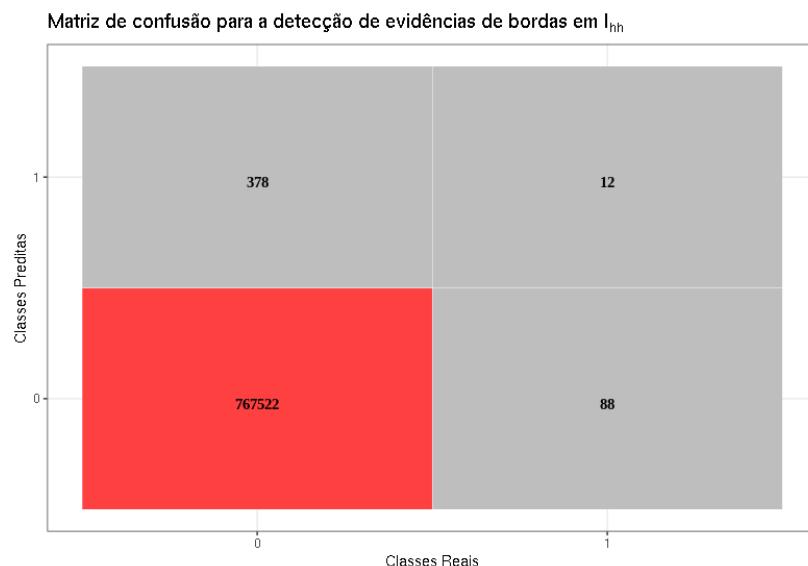
### 1.1.8 Métrica Precisão – Mprec

$$Mprec = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1.11)$$

### 1.1.9 Métrica Valores preditos negativo –Mnpv

$$Mprec = \frac{TN}{TN+FN} \quad (1.12)$$

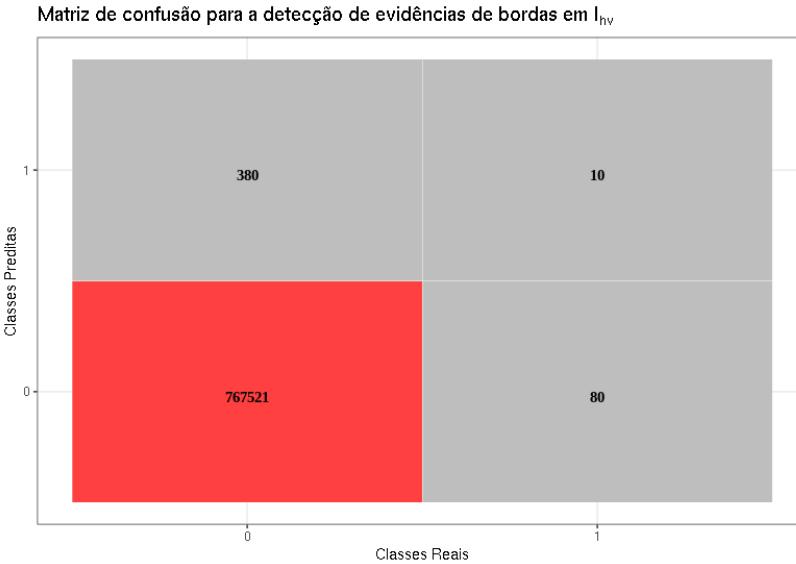
## 1.2 Resultados da aplicação das métricas



**Figura 1.1:** Matriz de confusão para a evidências de bordas  $I_{hh}$

**Tabela 1.4:** Métricas para detecção de evidências de bordas no canal  $I_{hh}$ .

$I_{hh}$	MLE	Matriz de confusão	
		Valores	Preditos
		Valores	12
		Reais	378
		Bordas/Não bordas	390
			767610
Métricas		Mac	Mfe
		0.9993	0.0489
			0.5301



**Figura 1.2:** Matriz de confusão para a evidências de bordas  $I_{hv}$

**Tabela 1.5:** Métricas para detecção de evidências de bordas no canal  $I_{hv}$ .

$I_{hv}$	<b>MLE</b>	<b>Matriz de confusão</b>	
		<b>Valores</b>	<b>Preditos</b>
	<b>Valores</b>	10	89
	<b>Reais</b>	380	767521
<b>Bordas/Não bordas</b>		<b>390</b>	<b>767610</b>
<b>Métricas</b>	<b>Mac</b>	<b>Mfe</b>	<b>Mcc</b>
	<b>0.9993</b>	<b>0.0408</b>	<b>0.5253</b>

### 1.3 Observações

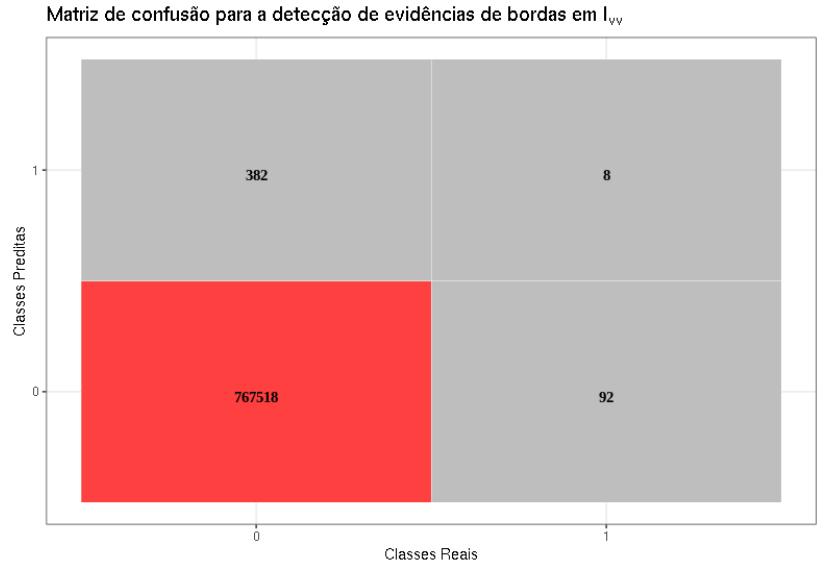
(i) A base de dados é desbalanceada seguindo a definição (1.3) aplicado na GT.

$$ni = \frac{TN}{TP+TN} \sim 1.$$

$TN= 767612$  e  $TP = 390$ .

(ii) Na métrica acurácia as classificações TP não exercem influência no seu valor. Podemos ver na tabela 1.13 a diferença entre as TP da ROC e da Fusão MR-SWT e como isso afeta pouco no calculo de Mac, veja tabela 1.15.

(iii) Para calcular a métrica Mfe não consideramos o TN. Podemos ver na tabela 1.13 que  $2 * TP < FP + FN$  influenciando nos valores próximos de zero para a



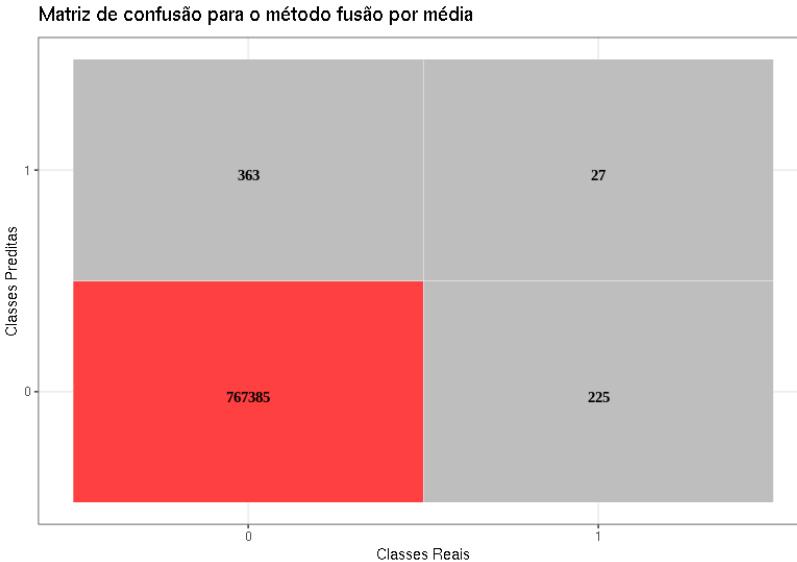
**Figura 1.3:** Matriz de confusão para a evidências de bordas  $I_{vv}$

**Tabela 1.6:** Métricas para detecção de evidências de bordas no canal  $I_{vv}$ .

$I_{vv}$	<b>MLE</b>	<b>Matriz de confusão</b>	
		<b>Valores</b>	<b>Preditos</b>
	<b>Valores</b>	8	92
	<b>Reais</b>	382	767518
<b>Bordas/Não bordas</b>		<b>390</b>	<b>767610</b>
<b>Métricas</b>		<b>Mac</b>	<b>Mfe</b>
		<b>0.9993</b>	<b>0.0326</b>
			<b>Mcc</b>
			<b>0.5201</b>

métrica Mfe. Assim, podemos observar que o pixel erradamente classificados são superiores aos classificados como positivos verdadeiros. A base de dados desbalanceada conduz a Mfe retornar valores próximos de zero.

(iv)



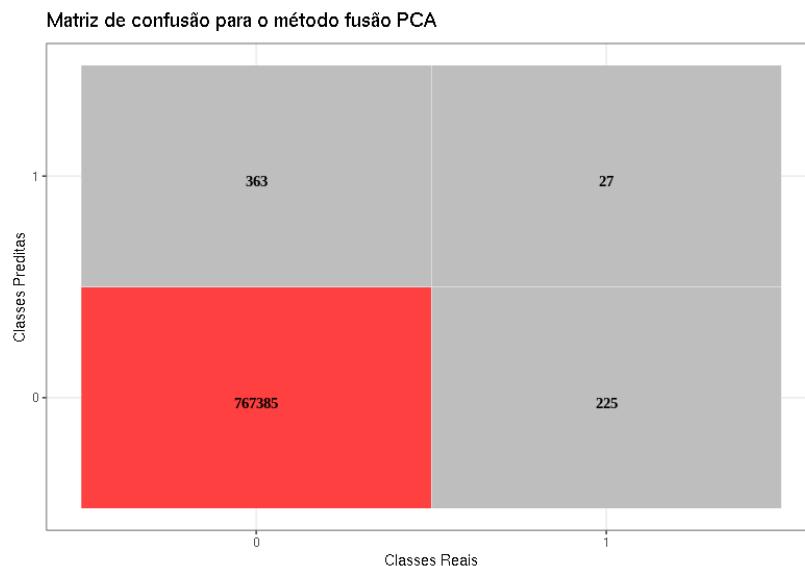
**Figura 1.4:** Matriz de confusão para a fusão por média

**Tabela 1.7:** Métricas para o método de fusão por média.

<b>IF</b>	<b>Fusão por média</b>	<b>Matriz de confusão</b>	
		<b>Valores</b>	<b>Preditos</b>
	<b>Valores</b>	27	225
	<b>Reais</b>	363	767385
	<b>Bordas/Não bordas</b>	390	767610
<b>Métricas</b>	<b>Mac</b>	<b>Mfe</b>	<b>Mcc</b>
	<b>0.9992</b>	<b>0.0841</b>	<b>0.5428</b>

## 1.4 Metricas de distância

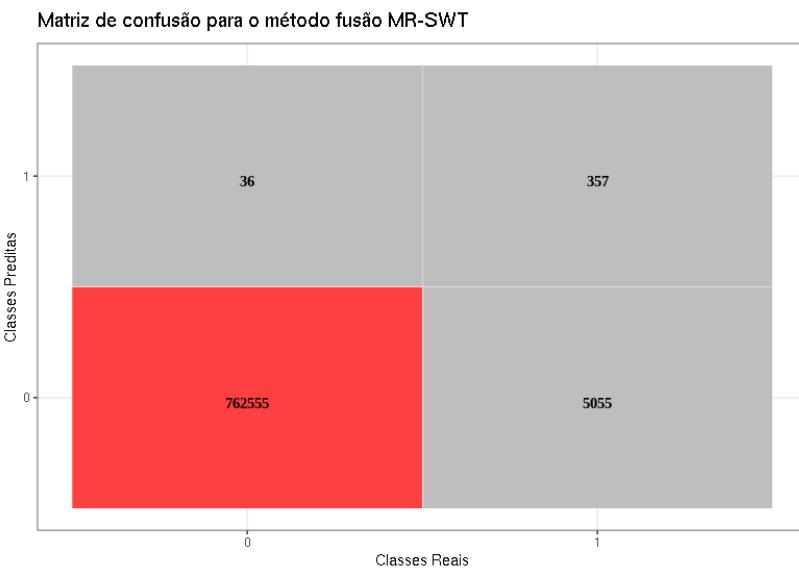
- (i) Para cada evidência de borda ou borda calculada foi traçado uma radial.
- (ii) Cada radial foi interseccionada com a *Reference Truth* resultando em um pixel de referência.
- (iii) A evidência de borda ou as bordas detectadas em cada radial foram comparadas (distância euclidiana) com o pixel de referência e armazenado a menor distância em um vetor erro.
- (iv) Com o vetor erro podemos calcular a métrica, por exemplo, a média dos erros ou a RMSE.

**Figura 1.5:** Matriz de confusão para a fusão PCA**Tabela 1.8:** Métricas para o método de fusão PCA.

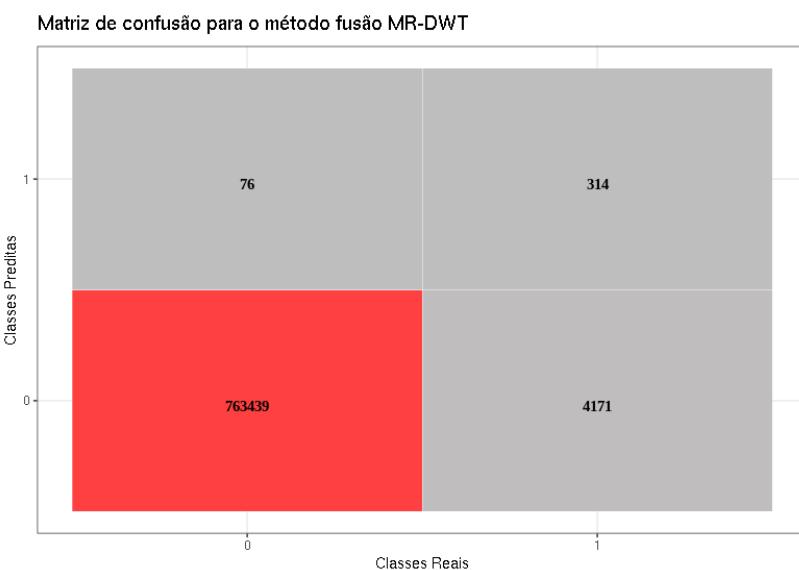
IF	Fusão PCA	Matriz de confusão		Valores	Preditos
		Valores	Reais		
		27	363	27	225
		363	767385	363	767385
		390	767610	390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc	
		0.9992	0.0841	0.5428	

**Tabela 1.9:** Métricas para o método de fusão MR-SWT.

IF	Fusão MR-SWT	Matriz de confusão		Valores	Preditos
		Valores	Reais		
		354	36	354	5055
		36	762555	36	762555
		390	767610	390	767610
Métricas		Mac	Mfe	Mcc	
		0.9933	0.1220	0.6213	



**Figura 1.6:** Matriz de confusão para a fusão MR-SWT

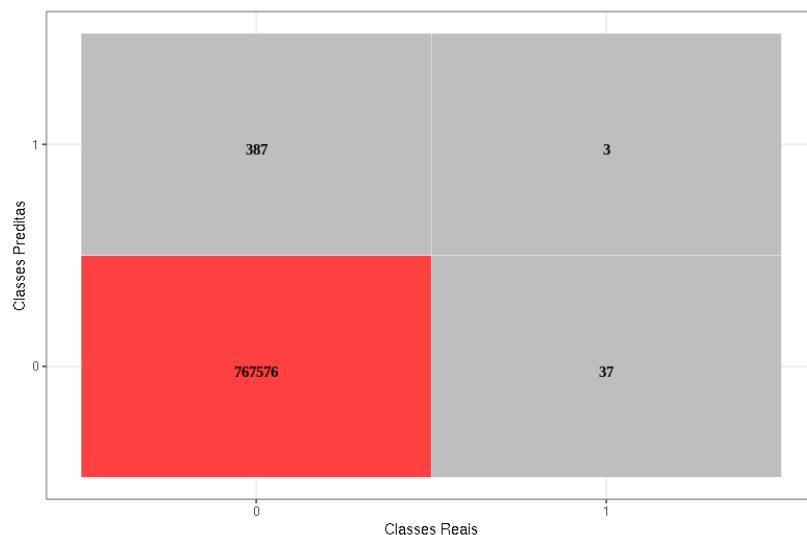


**Figura 1.7:** Matriz de confusão para a fusão MR-DWT

**Tabela 1.10:** Métricas para o método de fusão MR–DWT.

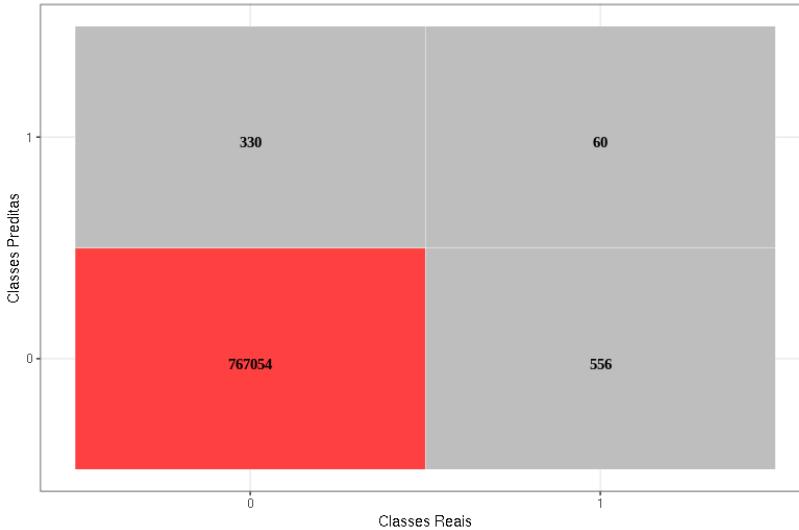
IF	Fusão MR–DWT	Matriz de confusão		
			Valores	Preditos
		<b>Valores</b>	314	4171
		<b>Reais</b>	76	763439
		<b>Bordas/Não bordas</b>	390	767610
<b>Métricas</b>				
		<b>Mac</b>	<b>Mfe</b>	<b>Mcc</b>
		<b>0.9944</b>	<b>0.1288</b>	<b>0.6182</b>

Matriz de confusão para o método fusão ROC

**Figura 1.8:** Matriz de confusão para a fusão ROC**Tabela 1.11:** Métricas para o método de fusão ROC.

IF	Fusão ROC	Matriz de confusão		
			Valores	Preditos
		<b>Valores</b>	3	37
		<b>Reais</b>	387	767573
		<b>Bordas/Não bordas</b>	390	767610
<b>Métricas</b>				
		<b>Mac</b>	<b>Mfe</b>	<b>Mcc</b>
		<b>0.9994</b>	<b>0.0139</b>	<b>0.5119</b>

Matriz de confusão para o método fusão MR-SVD

**Figura 1.9:** Matriz de confusão para a fusão MR-SVD**Tabela 1.12:** Métricas para o método de fusão MR-SVD.

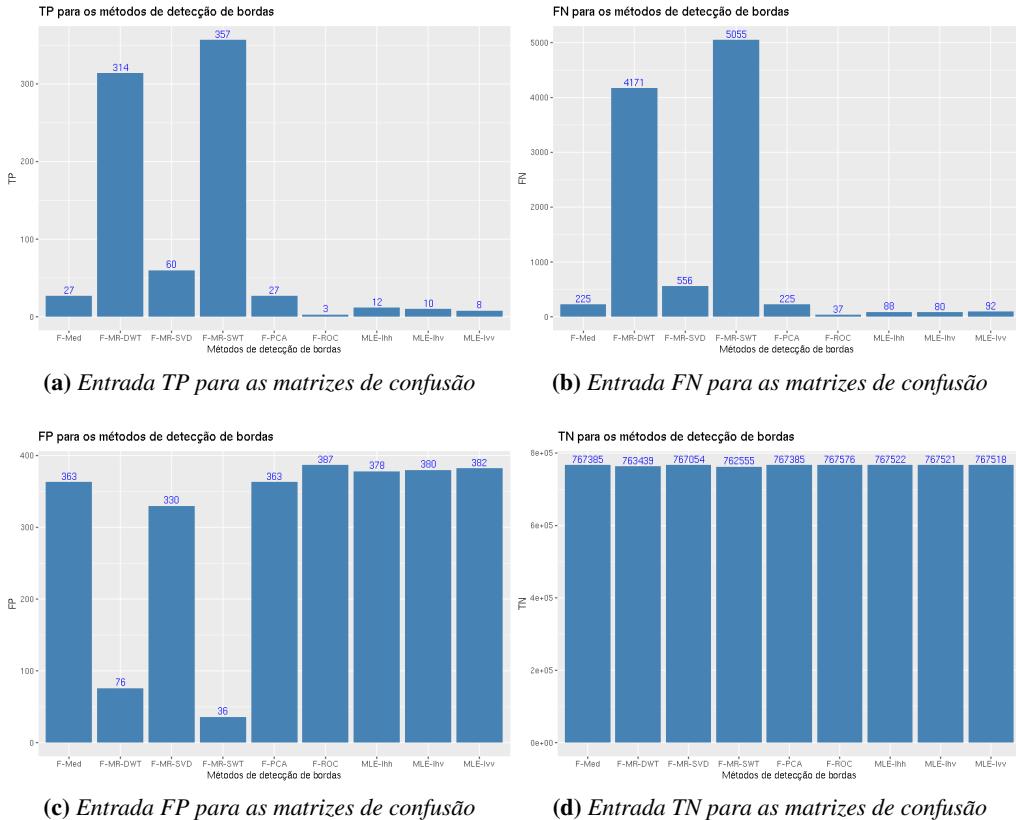
IF	Fusão MR-SVD	Matriz de confusão	
		Valores Reais	Valores Preditos
		60	556
		330	767054
	Bordas/Não bordas	390	767610
Métricas		Mac	Mfe
		0.9988	0.1192
			Mcc
			0.5609

**Tabela 1.13:** Matriz de confusão.

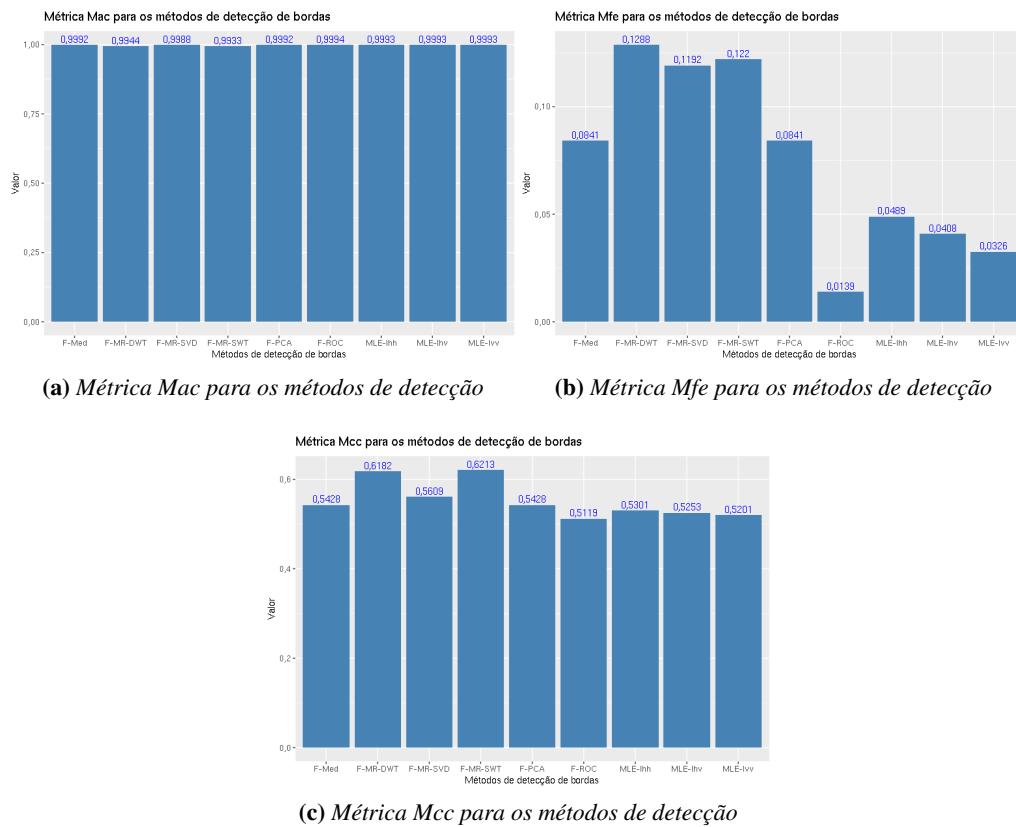
Comparação entre os métodos									
Classificação	MLE( $I_{hh}$ )	MLE( $I_{hv}$ )	MLE( $I_{vv}$ )	F-média	F-PCA	F-MR-SWT	F-MR-DWT	F-ROC	F-SVD
TP	12	10	8	27	27	357	314	3	60
FN	88	80	92	225	225	5055	4171	37	556
FP	378	380	382	363	363	36	76	387	330
TN	767521	767521	767518	767385	767385	762555	763439	767576	767054

**Tabela 1.14:** Métricas.

Comparação entre os métodos									
Métricas	MLE( $I_{hh}$ )	MLE( $I_{hv}$ )	MLE( $I_{vv}$ )	F-média	F-PCA	F-MR-SWT	F-MR-DWT	F-ROC	F-SVD
Mac	0.9993	0.9993	0.9993	0.9992	0.9992	0.9944	0.9994	0.9988	
Mfe	0.0489	0.0408	0.0326	0.0841	0.0841	0.1220	0.1288	0.0139	0.1192
Mcc	0.5301	0.5253	0.5201	0.5428	0.5428	0.6213	0.6182	0.5119	0.5609
Mre	0.1200	0.1010	0.0800	0.1071	0.1071	0.0654	0.0700	0.0750	0.0974
Mspe	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9995	0.9999	0.9999	0.9994	0.9995
Mfpr	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0009	0.0005	0.0004
Mfnr	0.8800	0.8899	0.9200	0.8928	0.8928	0.93451	0.92998	0.9250	0.9025
Mprec	0.0307	0.0256	0.0205	0.0692	0.0692	0.90769	0.80512	0.0076	0.1538
Mnpv	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.00658	0.00543	0.00004	0.0007

**Figura 1.10:** Entradas das matrizes de confusão para os métodos de detecção**Tabela 1.15:** Métricas de distância

Comparação entre os métodos									
Métricas	MLE( $I_{hh}$ )	MLE( $I_{hv}$ )	MLE( $I_{vv}$ )	F-média	F-PCA	F-MR-SWT	F-MR-DWT	F-ROC	F-SVD
MAE	2.6300	1.8251	3.5726	0.6873	0.6873	0.2192	0.5186	3.4505	0.9041
RMSE	8.1258	3.0583	5.9270	1.0801	1.0801	0.5141	0.8220	7.6615	1.1353



**Figura 1.11:** Métricas para os métodos de detecção

# Referências Bibliográficas

**Naidu e Raol(2008)** V. P. S. Naidu e J. R. Raol. Pixel-level image fusion using wavelets and principal component analysis. *Defence Science Journal*, 58:338–352. Citado na pág. 1