

7 Resultados e Discussão

A fim de avaliar a importância da utilização de imagens polarizadas em medidas de textura, cujo processamento necessita de imagens nos dois modos de captura (campo claro e polarização) tornando todo o processo mais trabalhoso, comparou-se os resultados obtidos por ambos os métodos, isto é, polarização e campo claro exclusivamente. Os resultados obtidos com o classificador *Quadrático*, o qual apresentou melhor taxa de acerto global dentre os 3 classificadores utilizados, são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Taxas de acerto de cada classe utilizando-se medidas de textura (Haralick 1-11 + Média de tons de cinza + Desvio padrão dos tons de cinza)

| Classe | Taxa de Acerto (%) – Campo Claro | Taxa de Acerto (%) – Polarização |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| A | 100,00 | 99,00 |
| B | 39,18 | 38,25 |
| C | 66,53 | 64,91 |
| D | 63,17 | 67,00 |
| Global | 67,47 | 67,28 |

Os resultados obtidos indicam que não houve contribuição na classificação a partir de medidas de textura em imagens polarizadas. Fica evidente que o esforço requerido para se obter imagens nos dois modos de captura seria desnecessário, embora tenha tido uma pequena melhora na classificação da classe D.

Sendo assim, os resultados daqui em diante referem-se aos obtidos utilizando-se apenas imagens de campo claro contidas no segundo banco de imagens, conforme explicado na seção 6.2.1.

Após a exclusão das medidas de polarização, restaram 45 parâmetros para serem testados na classificação. Como mostrado na seção 5.5, alguns desses 45 atributos são obtidos a partir de equações envolvendo outros atributos. A introdução de 45 parâmetros na rotina de busca exaustiva da melhor taxa de acerto aqui utilizada demanda tempo, cujo valor cresce exponencialmente com o número

de atributos. Como os atributos calculados estão correlacionados com os atributos absolutos, fazendo com que, de certa forma, a utilização de ambos na classificação seja redundante, selecionou-se manualmente apenas 26 atributos, dentre os quais se encontram os atributos obtidos pela combinação de outros atributos absolutos e os atributos tidos como os mais relevantes para a classificação, tais como os descritores de textura. Os atributos selecionados para a técnica de busca exaustiva foram:

- Razão de Partículas;
- Haralick 1 a 11;
- Média dos tons de cinza;
- Desvio padrão dos tons de cinza;
- FFC_1 das partículas;
- FFC_2 das partículas;
- RA das partículas;
- $Conv_1$ das partículas;
- $Conv_2$ das partículas;
- FFC_1 dos poros pequenos;
- FFC_2 dos poros pequenos;
- RA dos poros pequenos;
- $Conv_1$ dos poros pequenos;
- $Conv_2$ dos poros pequenos;
- MR dos poros pequenos;
- BF dos poros pequenos.

Para as técnicas de PCA e LDA, foram testados dois grupos: um contendo os 26 atributos citados acima (para que pudessem ser comparados com a técnica de seleção de atributos) e um grupo contendo todos os 45 parâmetros (definidos na seção 6.2.3).

A autovalidação, como já explicado na seção 5.6, consistiu no treinamento do classificador com todas as 1632 medidas e na classificação deste mesmo banco de dados. Já a validação cruzada, para o tamanho do banco de dados utilizado (1632 campos), gerou o máximo de 41.818 resultados, ou seja, o banco de dados foi repartido ao meio 41.818 vezes, na qual uma das metades foi utilizada para

treinar o classificador e a outra metade utilizada para classificá-lo. O valor final mostrado nas análises a seguir corresponde à média aritmética de todos eles.

7.1. Seleção de Atributos (Busca exaustiva do conjunto com a melhor taxa de acerto)

Na Figura 62 são mostrados os resultados obtidos pela seleção de atributos feita pela rotina de busca exaustiva do conjunto com a melhor taxa de acerto. Os resultados dos grupos contendo diferentes quantidades de parâmetros mostrados são referentes à melhor taxa de acerto obtida para cada dimensão.

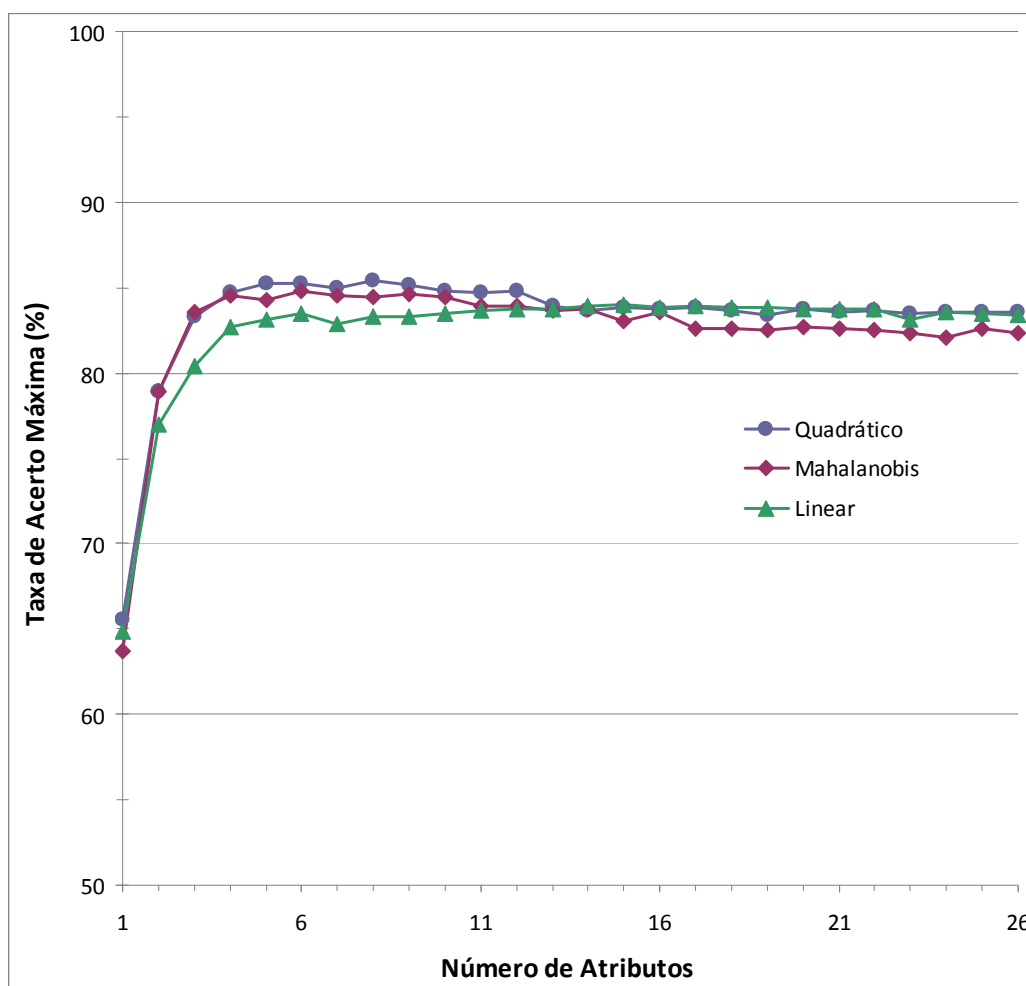


Figura 62 – Classificação dos grupos de parâmetros obtidos pela seleção de atributos

Pode-se perceber que o classificador *Quadrático* apresentou as melhores taxas de acerto comparado aos outros classificadores. Além disso, a melhor taxa de acerto obtida foi de 85,43% com um grupo contendo somente 8 parâmetros.

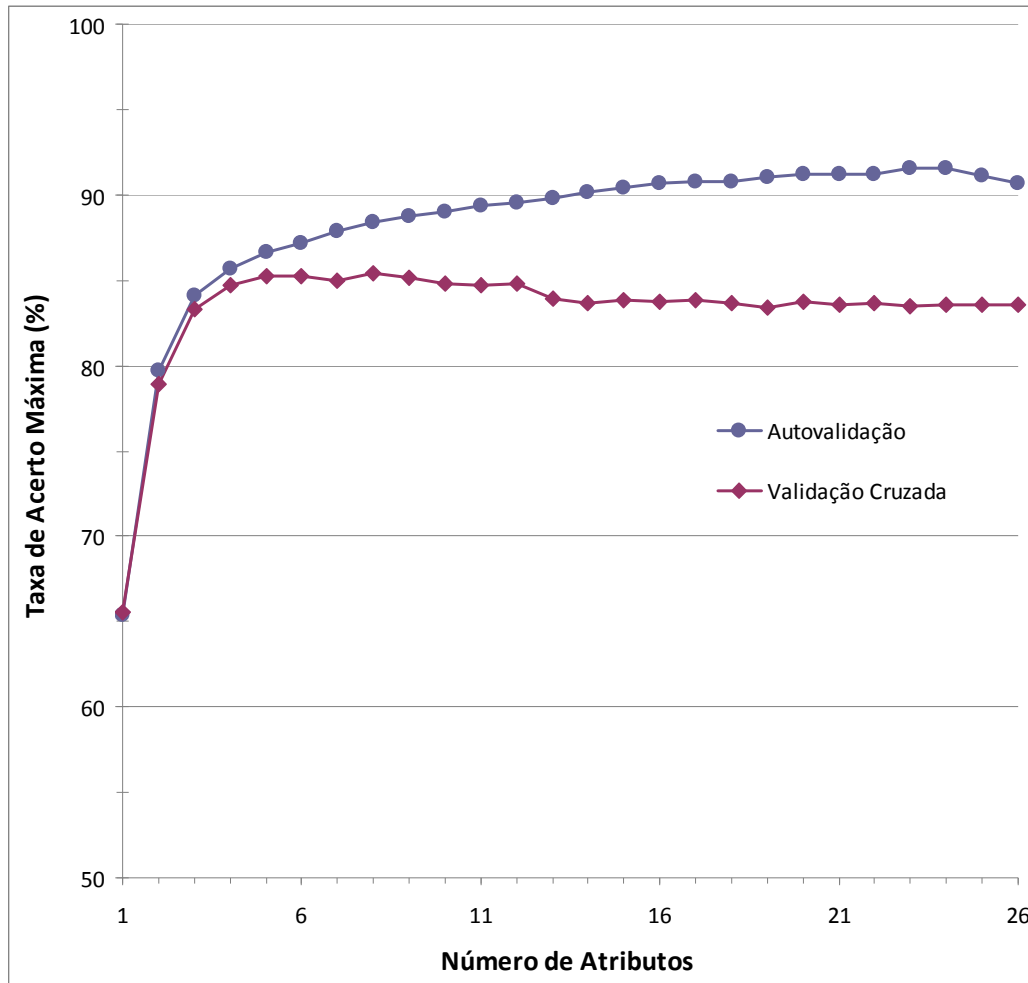


Figura 64 – Autovalidação e validação cruzada com o classificador *Quadrático*

Apesar do comportamento parecido para ambos os tipos de classificação, há um máximo de diferença entre as validações de aproximadamente 8%.

Os resultados apresentados até o momento referem-se ao resultado global, isto é, a média aritmética das taxas de acerto das quatro classes. A Figura 65 apresenta o resultado obtido em cada classe para cada grupo de atributos na validação cruzada realizada com o classificador *Quadrático*.

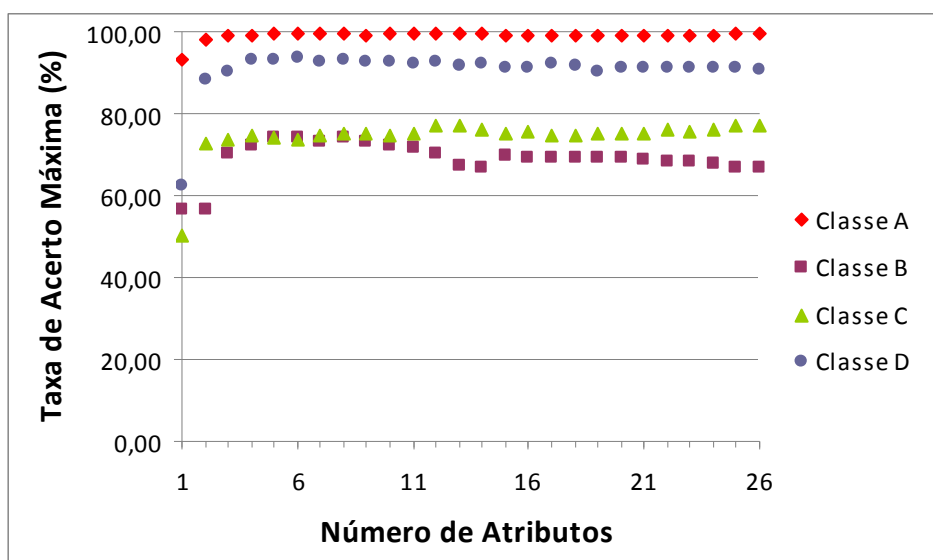


Figura 65 – Taxa de acerto de cada classe na validação cruzada com o classificador *Quadrático*

Fica evidente que a classe A é a mais facilmente distinguível dentre todas as classes. A taxa de acerto é próxima a 100% em todas as classificações realizadas. Já as classes B e C são as de menores taxas de acerto.

Para a melhor taxa de acerto global obtida na validação cruzada (85,43%), as taxas de acerto de cada classe podem ser visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Taxas de acerto de cada classe na melhor validação cruzada (8 atributos / classificador *Quadrático*)

| Classe | Taxa de Acerto (%) |
|---------------|--------------------|
| A | 99,37 |
| B | 74,15 |
| C | 74,95 |
| D | 93,23 |
| Global | 85,43 |

A Tabela 5 apresenta as taxas de acerto de cada classe para as melhores taxas de acerto global obtidas por cada classificador. Estão apresentados os resultados para os dois tipos de técnicas de validação: autovalidação e validação cruzada.

Tabela 5 – Resultados das classificações das melhores taxas de acerto global obtidas com a técnica de validação cruzada e com a correspondente técnica de autovalidação de todos os classificadores

| Técnicas de Validação | Classes | Quadrático | Mahalanobis | Linear |
|------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|---------------|
| Autovalidação | A | 99,51 | 99,51 | 99,75 |
| | B | 80,15 | 78,43 | 83,58 |
| | C | 78,68 | 77,70 | 74,02 |
| | D | 95,10 | 93,38 | 91,42 |
| | Global | 88,36 | 87,25 | 87,19 |
| Validação Cruzada | A | 99,37 | 98,68 | 99,75 |
| | B | 74,15 | 72,69 | 72,62 |
| | C | 74,95 | 75,17 | 73,21 |
| | D | 93,23 | 92,49 | 90,33 |
| | Global | 85,43 | 84,76 | 83,98 |

A matriz de confusão apresentada na Tabela 6 mostra como cada imagem, cujas classes são conhecidas a priori, foi classificada na autovalidação de maior taxa de acerto global (91,54%). Este resultado de autovalidação não necessariamente corresponde ao grupo de melhor taxa de acerto global da validação cruzada.

A matriz de confusão consiste numa matriz M de dimensão $C \times C$, em que os elementos da matriz $m_{i,j}$ representam quantos casos i foram classificados como j .

As linhas A, B, C e D da Tabela 6 indicam as classes das imagens analisadas. As colunas A, B, C e D representam a quantidade de imagens classificadas em cada classe respectivamente.

Através da Tabela 6, percebe-se que as classes B e C se confundem entre si, o que explica o fato de terem as menores taxas de acerto.

Tabela 6 – Matriz de confusão do melhor resultado obtido na autovalidação (23 atributos / classificador Quadrático)

| Classes | A | B | C | D | Total |
|----------------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| A | 408 | 0 | 0 | 0 | 408 |
| B | 0 | 358 | 36 | 14 | 408 |
| C | 0 | 52 | 340 | 16 | 408 |
| D | 0 | 5 | 15 | 388 | 408 |
| Total | 408 | 415 | 391 | 418 | 1632 |

7.2. Análise de Componentes Principais (PCA)

Os resultados obtidos para o PCA aplicado nos 26 atributos são mostrados na Figura 66. O classificador *Quadrático* apresentou as maiores taxas de acerto global, chegando ao valor máximo de 84,85%.

As melhores taxas de acerto para todos os classificadores foram obtidas com 15 componentes. A partir deste valor, as taxas de acerto diminuem tornando-se aproximadamente constantes.

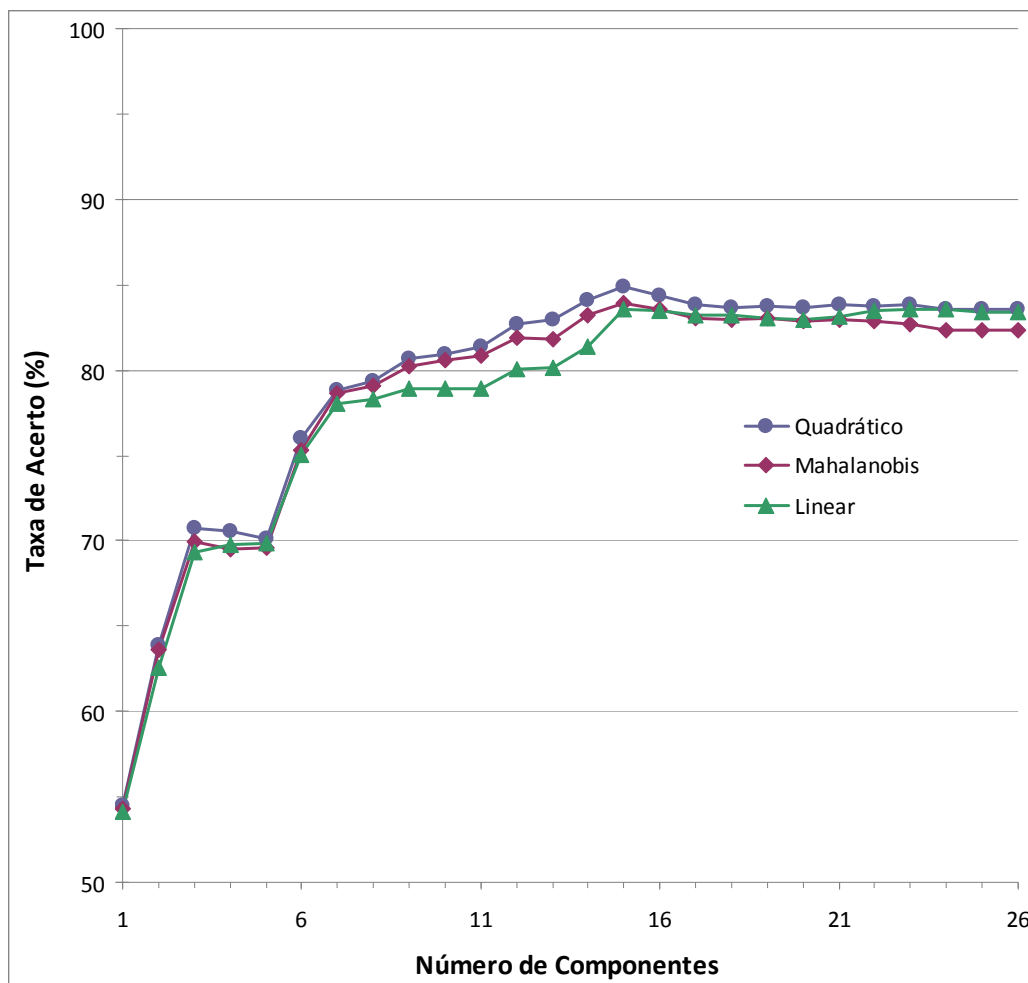


Figura 66 – Classificação do PCA com até 26 componentes

Como o melhor classificador foi o *Quadrático*, avaliou-se a generalidade do sistema pela comparação entre a autovalidação e a validação cruzada, conforme mostrado na Figura 67.

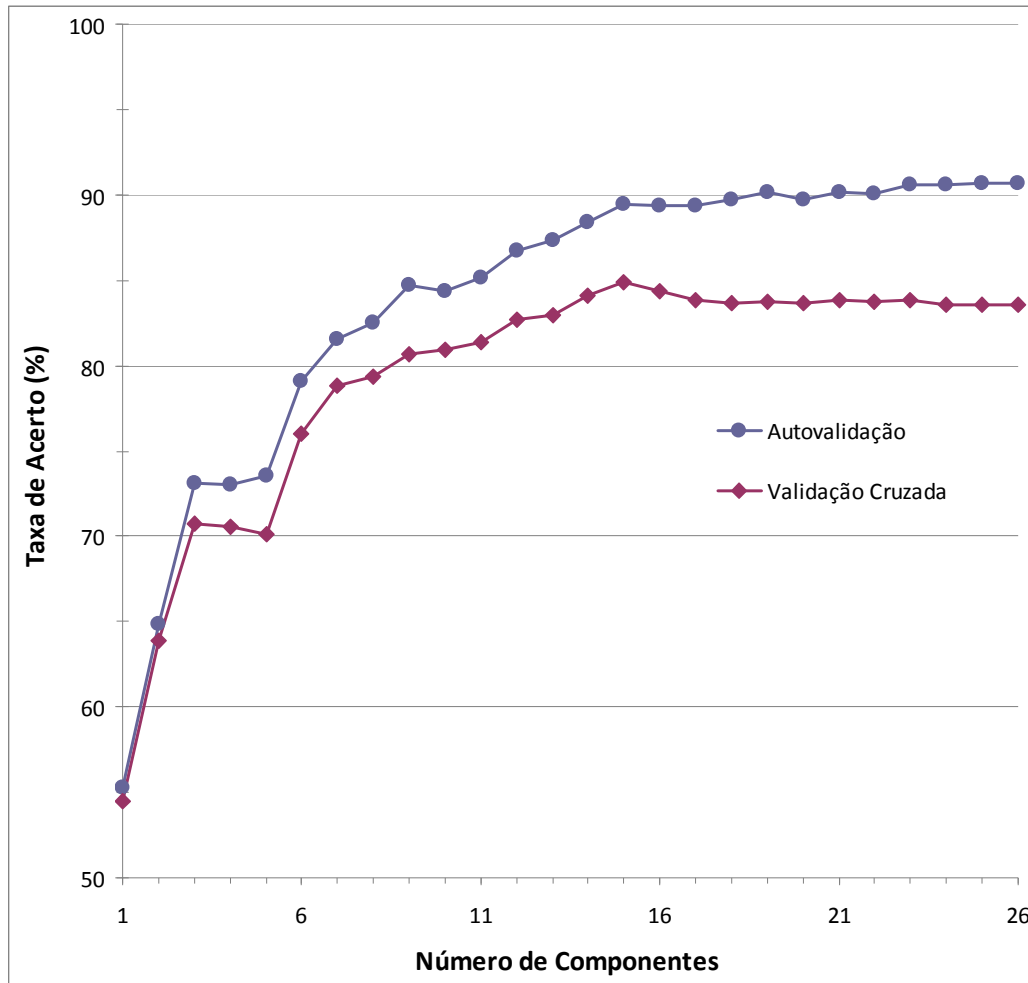


Figura 67 – Autovalidação e validação cruzada com o classificador *Quadrático*

Apesar do comportamento similar, houve uma diferença máxima entre as validações de aproximadamente 7%.

As taxas de acerto obtidas para cada classe individualmente estão apresentadas na Figura 68. As piores taxas de acerto são as da classe B e da classe C.

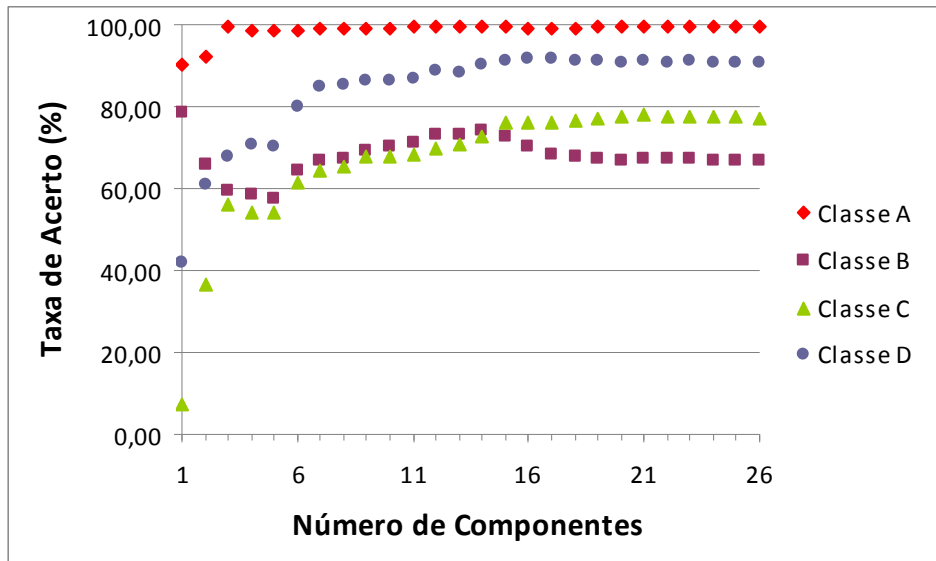


Figura 68 – Taxa de acerto de cada classe na validação cruzada com o classificador *Quadrático*

Para a melhor taxa de acerto global obtida na validação cruzada, cujo valor foi de 84,85%, as taxas de cada classe podem ser visualizadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Taxas de acerto de cada classe na melhor validação cruzada (15 componentes / classificador *Quadrático*)

| Classe | Taxa de Acerto (%) |
|---------------|--------------------|
| A | 99,38 |
| B | 72,84 |
| C | 75,97 |
| D | 91,20 |
| Global | 84,85 |

A Tabela 8 apresenta as taxas de acerto de cada classe para as melhores taxas de acerto global de cada classificador.

Tabela 8 – Resultados das classificações das melhores taxas de acerto global obtidas com a técnica de validação cruzada e com a correspondente técnica de autovalidação de todos os classificadores

| Técnicas de Validação | Classes | Quadrático | Mahalanobis | Linear |
|------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|---------------|
| Autovalidação | A | 99,75 | 99,75 | 100,00 |
| | B | 84,31 | 79,90 | 78,92 |
| | C | 80,15 | 80,88 | 74,02 |
| | D | 93,63 | 94,61 | 91,18 |
| | Global | 89,46 | 88,79 | 86,03 |
| Validação Cruzada | A | 99,38 | 99,19 | 100,00 |
| | B | 72,84 | 66,42 | 72,17 |
| | C | 85,97 | 77,38 | 71,55 |
| | D | 91,20 | 92,81 | 90,58 |
| | Global | 87,35 | 83,95 | 83,58 |

A matriz de confusão obtida a partir da melhor taxa de acerto na autovalidação é mostrada na Tabela 9. Vale ressaltar que a melhor taxa de acerto na autovalidação para o classificador *Quadrático* foi obtida utilizando-se 25 componentes do PCA, com um valor de 90,69%.

Tabela 9 – Matriz de confusão do melhor resultado obtido na autovalidação (25 componentes / classificador *Quadrático*)

| Classes | A | B | C | D | Total |
|----------------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| A | 408 | 0 | 0 | 0 | 408 |
| B | 0 | 345 | 45 | 18 | 408 |
| C | 0 | 51 | 341 | 16 | 408 |
| D | 0 | 5 | 17 | 386 | 408 |
| Total | 408 | 401 | 403 | 420 | 1632 |

Pode-se perceber que novamente as maiores confusões do classificador são entre as classes B e C. A maior parte das imagens da classe B erroneamente classificadas são identificadas como classe C e vice-versa. Já as imagens de classe D classificadas erroneamente são tidas, em sua maior parte, como pertencentes à classe C.

Agora serão mostrados os resultados obtidos a partir da aplicação do PCA em todos os 45 atributos. Os resultados posteriores serão relacionados a esta classificação.

Na Figura 69, podem-se avaliar os resultados obtidos para os três tipos de classificadores. O classificador *Linear* apresentou as melhores taxas de acerto,

com grande diferença dos demais classificadores. A maior taxa de acerto, cujo valor é de 89,14%, foi obtida utilizando-se 40 componentes do PCA. Já para os outros classificadores, as melhores taxas de acerto foram obtidas com 25 componentes em ambos, porém com valores menores do que os resultados do classificador *Linear*, sendo 83,31% para o classificador *Quadrático* e 86,50% para o classificador *Mahalanobis*.

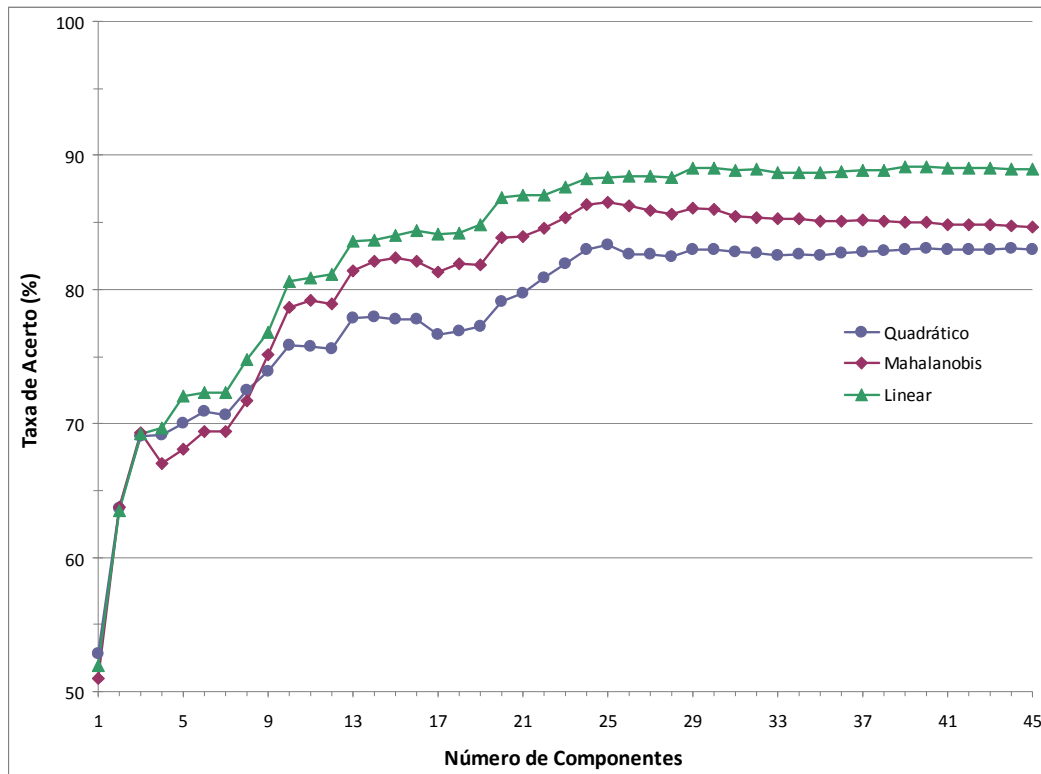


Figura 69 – Classificação do PCA com até 45 componentes

Como as melhores taxas de acerto são referentes ao classificador *Linear*, preferiu-se avaliar somente o seu comportamento na autovalidação e na validação cruzada. Os resultados são mostrados na Figura 70.

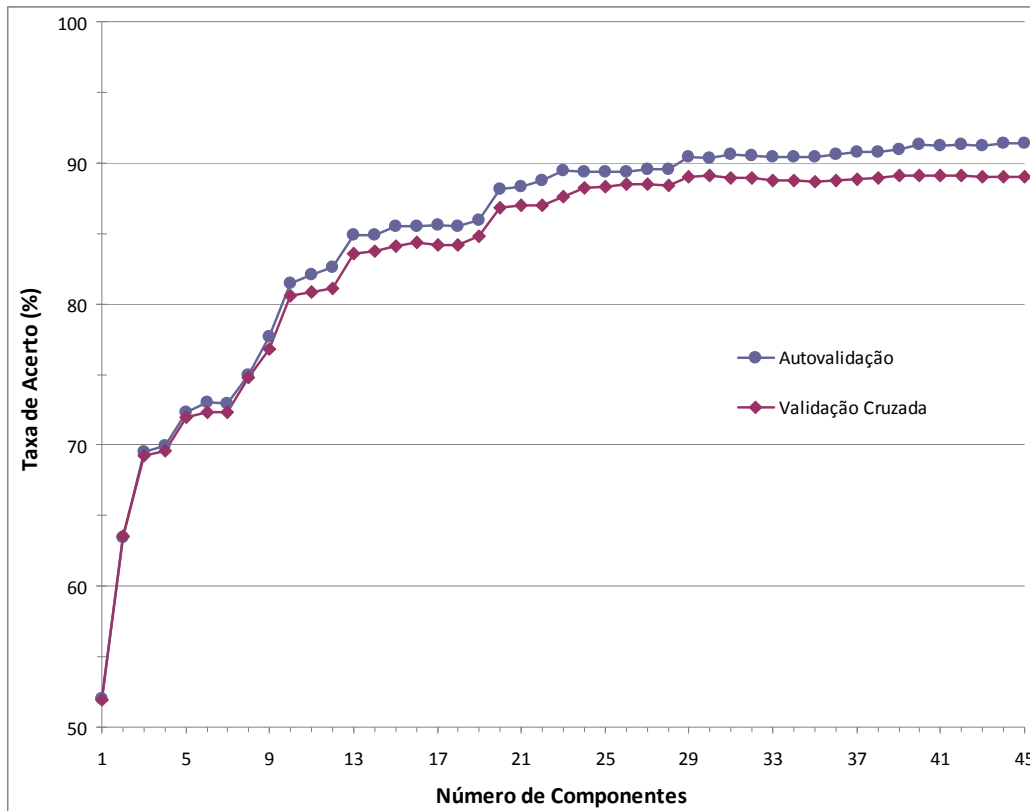


Figura 70 – Autovalidação e validação cruzada com o classificador *Linear*

O comportamento é bem parecido para ambas as validações. A diferença entre a autovalidação e a validação cruzada foi de no máximo 2%, indicando que este sistema é bem genérico.

As classificações correspondentes à cada classe estão apresentadas na Figura 71.

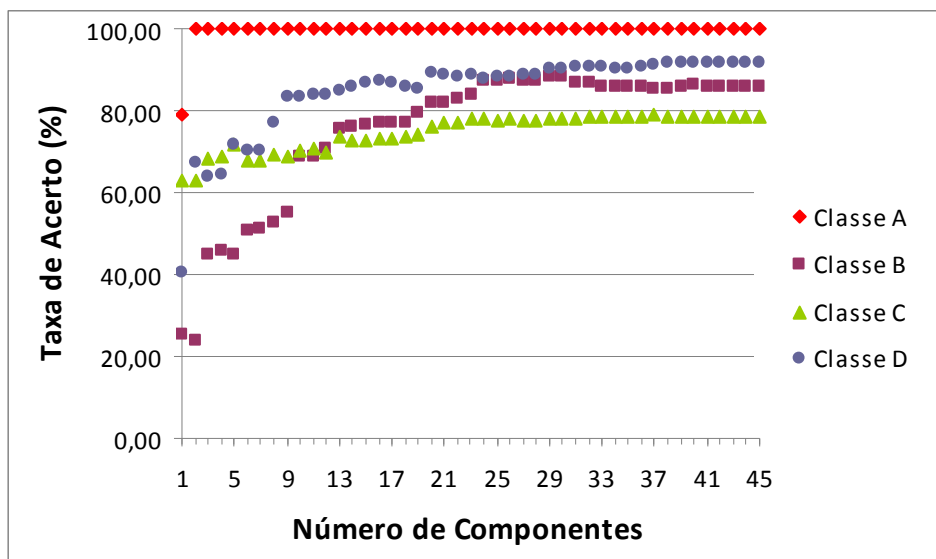


Figura 71 – Taxa de acerto de cada classe na validação cruzada com o classificador *Linear*

Novamente fica perceptível que as classes B e C são as de piores taxas de acerto. As taxas de acerto de cada classe para a melhor taxa de acerto global obtida na validação cruzada do classificador *Linear* são mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 – Taxas de acerto de cada classe na melhor validação cruzada (40 componentes / classificador *Linear*)

| Classe | Taxa de Acerto (%) |
|---------------|--------------------|
| A | 99,99 |
| B | 86,15 |
| C | 78,53 |
| D | 91,87 |
| Global | 89,15 |

Os resultados de taxa de acerto para cada classe correspondentes às melhores taxas de acerto global de todos os classificadores estão mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados das classificações das melhores taxas de acerto global obtidas com a técnica de validação cruzada e com a correspondente técnica de autovalidação de todos os classificadores

| Técnicas de Validação | Classes | Quadrático | Mahalanobis | Linear |
|-----------------------|---------|------------|-------------|--------|
| Autovalidação | A | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | B | 64,95 | 87,50 | 91,91 |
| | C | 88,23 | 81,37 | 80,15 |
| | D | 92,89 | 92,40 | 93,14 |
| | Global | 86,52 | 90,32 | 91,30 |
| Validação Cruzada | A | 100,00 | 100,00 | 99,99 |
| | B | 61,01 | 79,07 | 86,15 |
| | C | 82,42 | 77,75 | 78,53 |
| | D | 89,79 | 89,17 | 91,87 |
| | Global | 83,31 | 86,50 | 89,14 |

A melhor taxa de acerto obtida na autovalidação foi de 91,42%, utilizando-se todos os 45 componentes. A fim de verificar o comportamento do classificador *Linear* para o melhor resultado, construiu-se a matriz de confusão, conforme apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 – Matriz de confusão do melhor resultado obtido na autovalidação (45 componentes / classificador *Linear*)

| Classes | A | B | C | D | Total |
|---------|-----|-----|-----|-----|-------|
| A | 408 | 0 | 0 | 0 | 408 |
| B | 0 | 376 | 12 | 20 | 408 |
| C | 0 | 64 | 328 | 16 | 408 |
| D | 0 | 18 | 10 | 380 | 408 |
| Total | 408 | 458 | 350 | 416 | 1632 |

Percebe-se, desta vez, que a classe B se confunde com a classe D, a classe C se confunde com a B e a classe D se confunde com a B.

7.3. Análise Discriminante Linear de Fisher (LDA)

Primeiramente aplicou-se o LDA no conjunto dos 26 atributos, cujos resultados da validação cruzada estão apresentados na Figura 72.

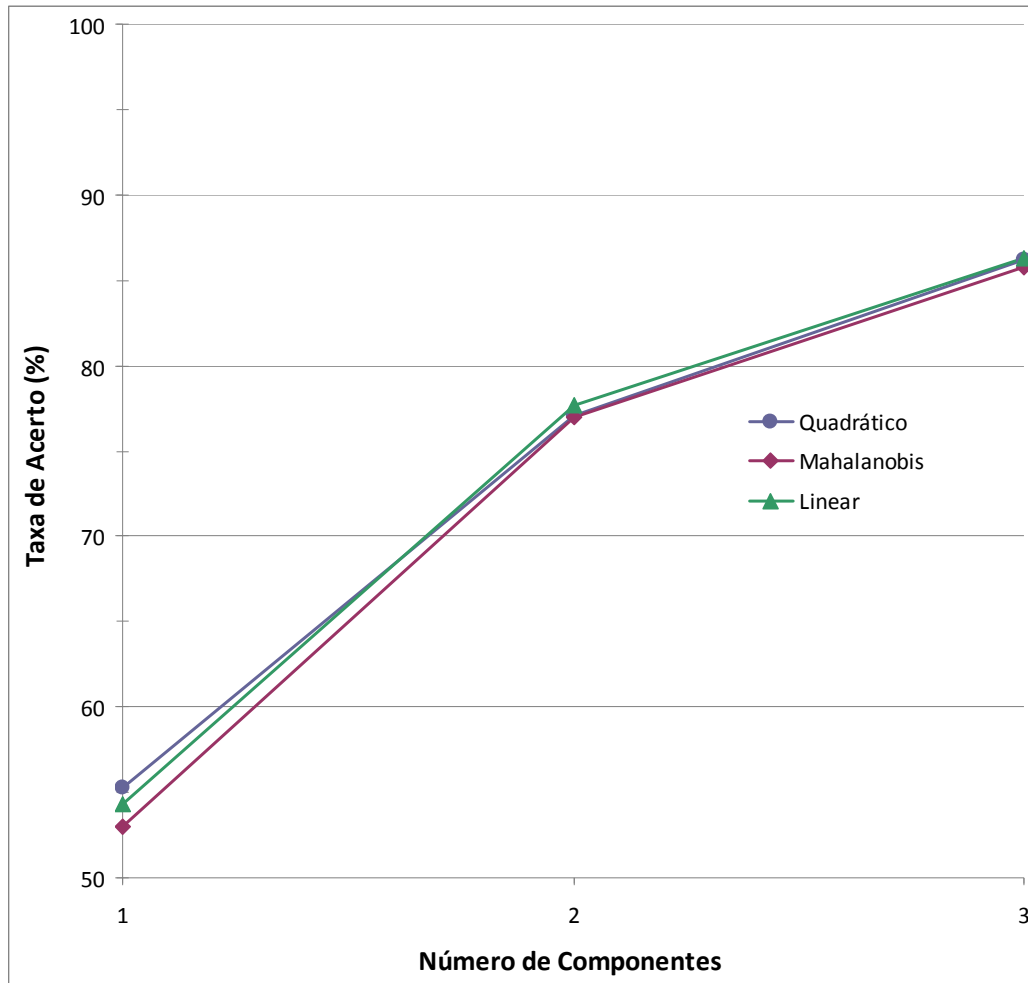


Figura 72 – Resultado da aplicação do LDA nos 26 atributos

Conforme o gráfico apresentado, nota-se que os classificadores tiveram resultados bem próximos. No entanto, o classificador *Linear* foi o que obteve a maior taxa de acerto, com um valor de 86,58%, utilizando-se 3 componentes.

A Figura 73 mostra as diferenças entre a autovalidação e a validação cruzada. Observa-se que os valores são muito próximos nas 3 classificações. A maior diferença foi de aproximadamente 1%. Isto indica que o sistema é suficientemente genérico.

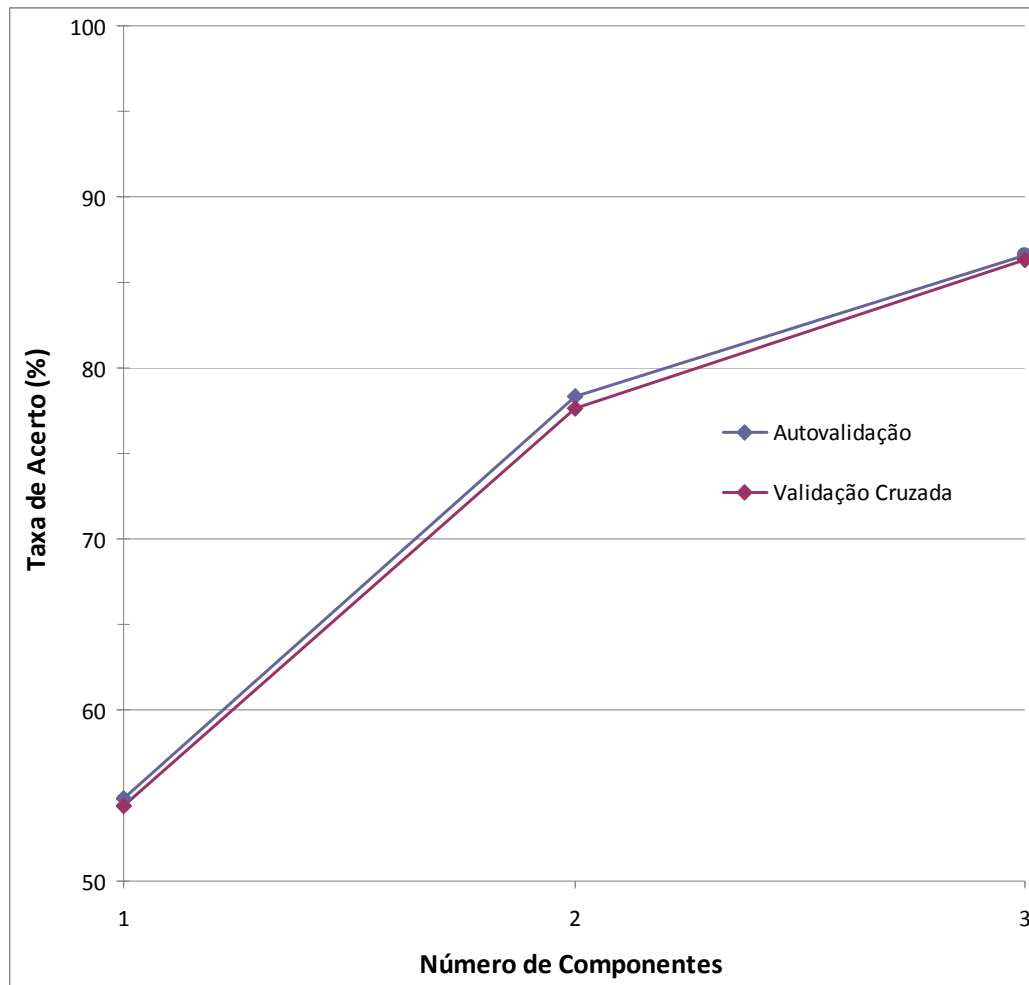


Figura 73 – Autovalidação e validação cruzada com o classificador *Linear*

As taxas de acerto de cada classe em cada classificação são mostradas na Figura 74. Mais uma vez as piores taxas de acerto correspondem à classe B e à classe C.

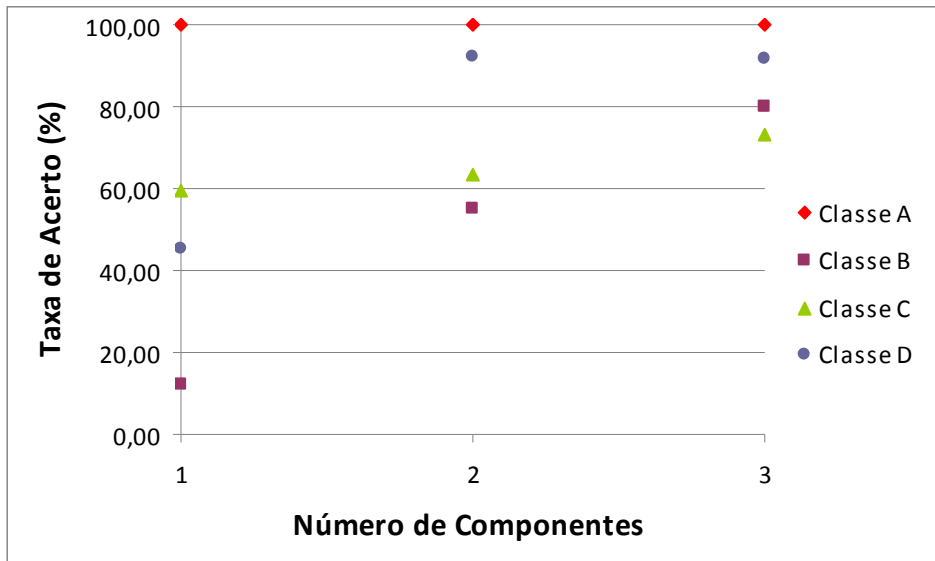


Figura 74 – Taxa de acerto de cada classe na validação cruzada com o classificador *Linear*

A Tabela 13 apresenta as taxas de acerto de cada classe obtidas para o melhor resultado da validação cruzada com o classificador *Linear*.

Tabela 13 – Taxas de acerto de cada classe na melhor validação cruzada (26 atributos reduzidos a 3 componentes / classificador *Linear*)

| Classe | Taxa de Acerto (%) |
|---------------|---------------------------|
| A | 100,00 |
| B | 80,18 |
| C | 73,27 |
| D | 91,86 |
| Global | 86,33 |

A Tabela 14 compara os resultados de cada classificação para as melhores taxas de acerto global de todos os classificadores.

Tabela 14 – Resultados das classificações das melhores taxas de acerto global obtidas com a técnica de validação cruzada e com a correspondente técnica de autovalidação de todos os classificadores

| Técnicas de Validação | Classes | Quadrático | Mahalanobis | Linear |
|------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|---------------|
| Autovalidação | A | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | B | 81,37 | 75,98 | 80,64 |
| | C | 73,77 | 77,70 | 73,77 |
| | D | 91,91 | 91,91 | 91,91 |
| | Global | 86,76 | 86,40 | 86,58 |
| Validação Cruzada | A | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | B | 74,64 | 80,06 | 80,18 |
| | C | 76,92 | 73,28 | 73,27 |
| | D | 91,44 | 91,65 | 91,86 |
| | Global | 85,75 | 86,25 | 86,33 |

As classificações de cada padrão podem ser visualizadas na matriz de confusão da Tabela 15, construída para a melhor taxa de acerto global obtida com a técnica de autovalidação. O melhor resultado de autovalidação foi obtido com o classificador *Quadrático*.

Tabela 15 – Matriz de confusão do melhor resultado obtido na autovalidação (26 atributos reduzidos a 3 componentes / classificador *Quadrático*)

| Classes | A | B | C | D | Total |
|----------------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| A | 408 | 0 | 0 | 0 | 408 |
| B | 0 | 332 | 45 | 31 | 408 |
| C | 0 | 92 | 301 | 15 | 408 |
| D | 0 | 25 | 8 | 375 | 408 |
| Total | 408 | 449 | 354 | 421 | 1632 |

A maior quantidade da classe B classificada erroneamente é tida como classe C e vice-versa. Já a classificação da classe D é confundida com a classe B.

Agora os resultados tratam-se da aplicação do LDA em todos os 45 atributos. O gráfico da Figura 75 mostra as validações cruzadas obtidas para os 3 classificadores com diferentes números de componentes.

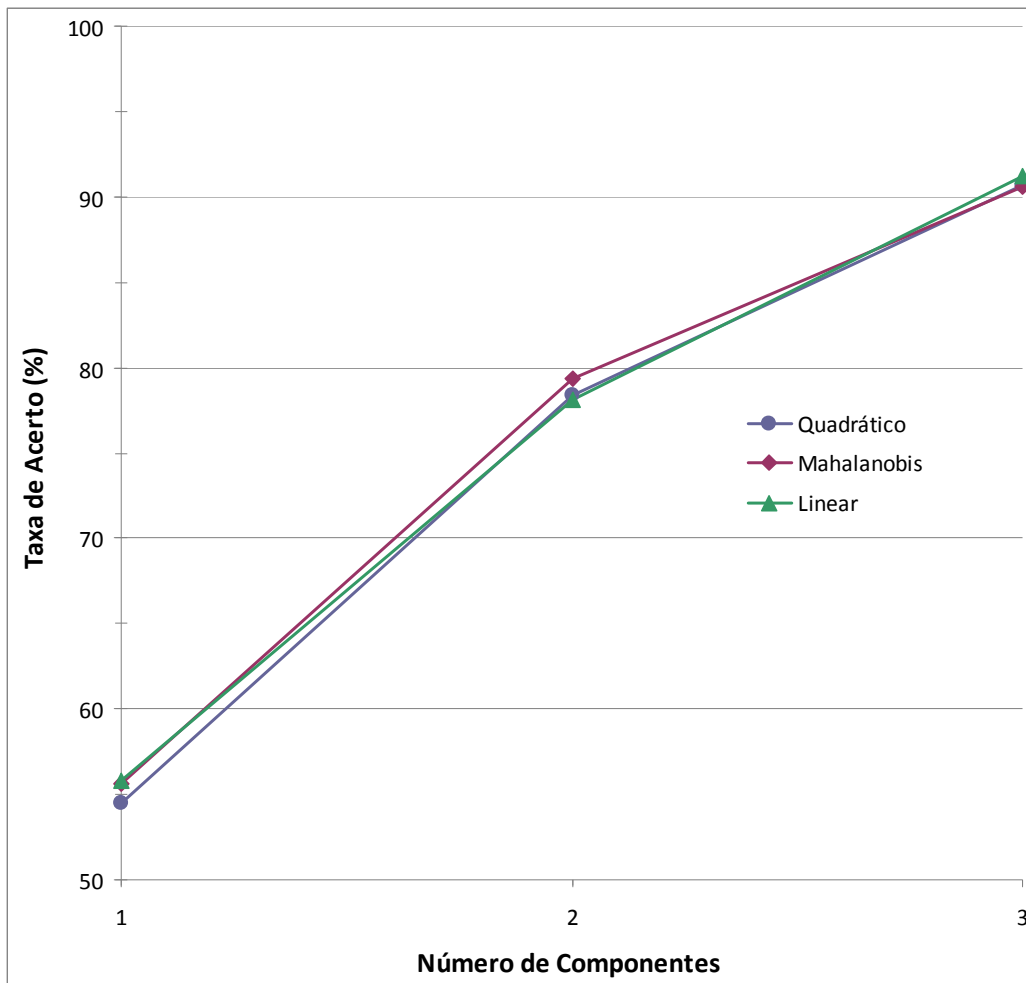


Figura 75 – Classificação da aplicação do LDA nos 45 atributos

As classificações por meio dos 3 classificadores possuem valores muito próximos. Porém, a melhor delas, cujo valor foi de 91,21% com a utilização de 3 componentes, foi obtida com o classificador *Linear*.

A partir disso, comparou-se a autovalidação com a validação cruzada do classificador *Linear* com os 3 componentes. Os resultados são mostrados na Figura 76.

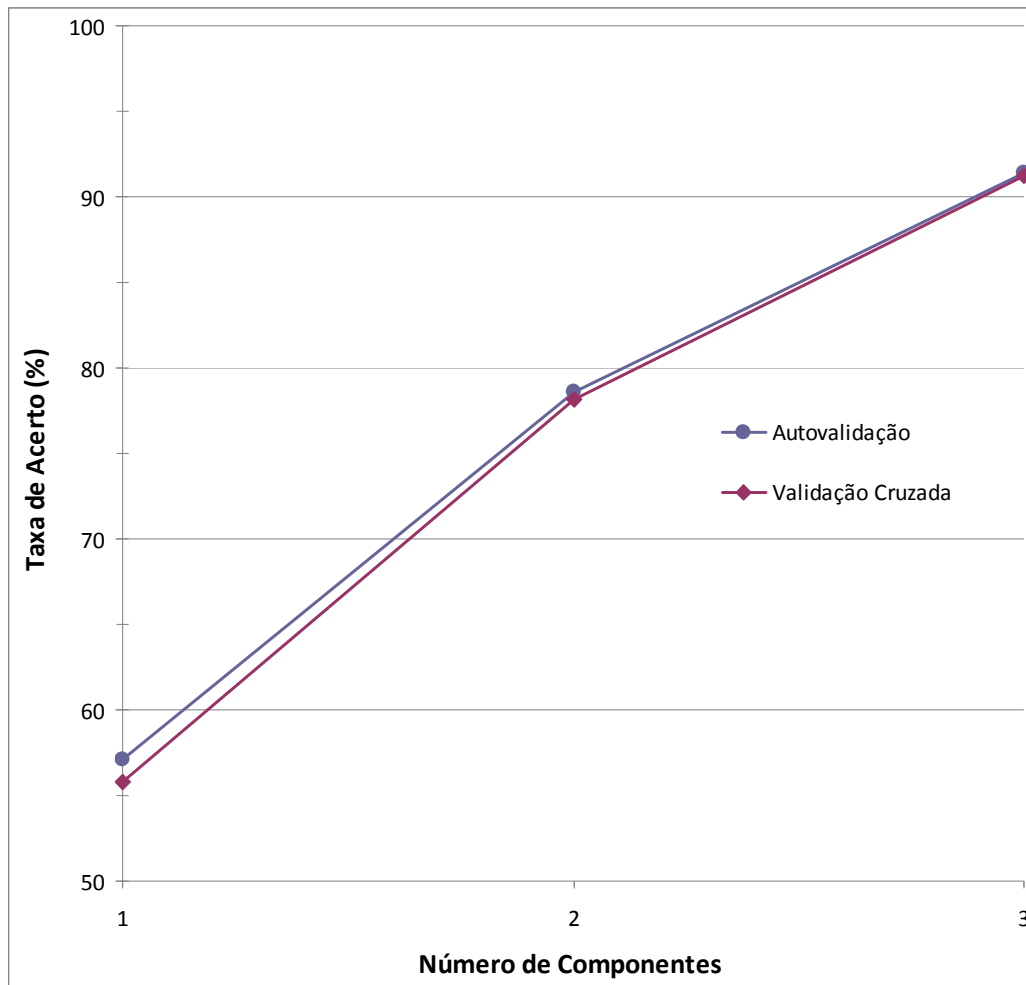


Figura 76 – Autovalidação e validação cruzada com o classificador *Linear*

Conforme já esperado, os resultados da autovalidação e da validação cruzada são muito próximos, com uma diferença de aproximadamente 1% na pior taxa de acerto e de 0,2% na melhor taxa de acerto. Com estes resultados, fica claro que o sistema está se comportando adequadamente, com ótima generalidade.

As taxas de acerto de cada classe para todas as validações cruzadas são mostradas na Figura 77. A melhor validação cruzada, em que a taxa de acerto global foi de 91,21% com 3 componentes, tem seus valores de taxas de acerto correspondentes à cada classe mostrados separadamente na Tabela 16.

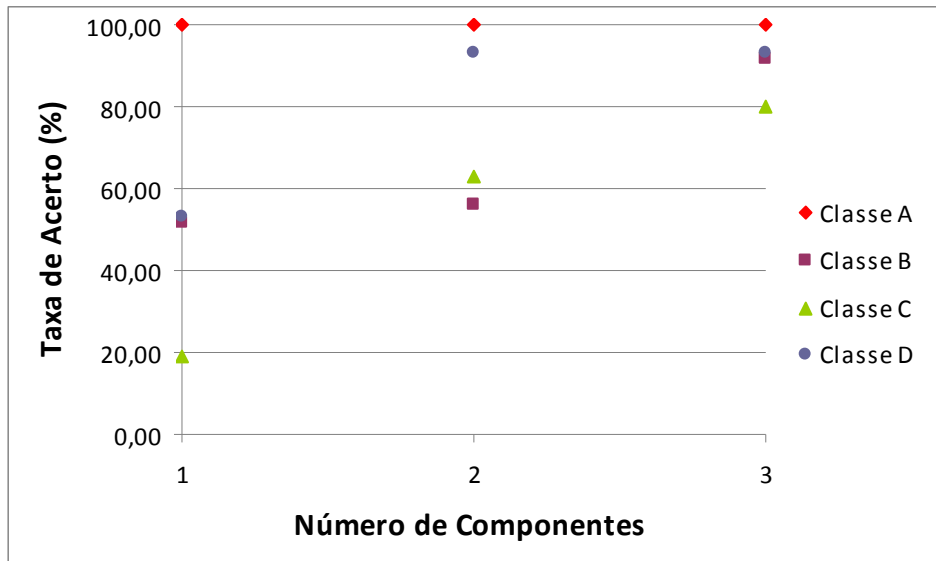


Figura 77 – Taxa de acerto de cada classe na validação cruzada com o classificador *Linear*

Tabela 16 – Taxas de acerto de cada classe na melhor validação cruzada (45 atributos reduzidos a 3 componentes / classificador *Linear*)

| Classe | Taxa de Acerto (%) |
|---------------|---------------------------|
| A | 100,00 |
| B | 91,77 |
| C | 79,92 |
| D | 93,13 |
| Global | 91,21 |

A Tabela 17 mostra os resultados de classificação das diferentes técnicas de validação de todos os classificadores. As taxas de acerto correspondem às melhores taxas de acerto global obtidas por casa classificador.

Tabela 17 – Resultados das classificações das melhores taxas de acerto global obtidas com a técnica de validação cruzada e com a correspondente técnica de autovalidação de todos os classificadores

| Técnicas de Validação | Classes | Quadrático | Mahalanobis | Linear |
|-----------------------|---------|------------|-------------|--------|
| Autovalidação | A | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | B | 87,99 | 88,48 | 92,16 |
| | C | 81,86 | 82,11 | 80,39 |
| | D | 93,63 | 93,38 | 93,14 |
| | Global | 90,87 | 90,99 | 91,42 |
| Validação Cruzada | A | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| | B | 87,49 | 87,28 | 91,77 |
| | C | 81,74 | 81,87 | 79,92 |
| | D | 93,54 | 93,32 | 93,13 |
| | Global | 90,69 | 90,62 | 91,21 |

Sendo assim, construiu-se a matriz de confusão para o melhor resultado obtido na autovalidação (Tabela 18), que também foi o da classificação de 3 componentes, com taxa de acerto global de 91,42%.

Tabela 18 – Matriz de confusão do melhor resultado obtido na autovalidação (45 atributos reduzidos a 3 componentes / classificador *Linear*)

| Classes | A | B | C | D | Total |
|---------|-----|-----|-----|-----|-------|
| A | 408 | 0 | 0 | 0 | 408 |
| B | 0 | 376 | 12 | 20 | 408 |
| C | 0 | 64 | 328 | 16 | 408 |
| D | 0 | 18 | 10 | 380 | 408 |
| Total | 408 | 458 | 350 | 416 | 1632 |

Com este tipo de classificação, a classe B confunde-se com a classe D; a classe C confunde-se com a classe B; e a classe D confunde-se na maioria das vezes com a classe B.

Todos os resultados obtidos com a aplicação do *Whitening* antes do LDA foram exatamente os mesmos sem a sua aplicação.

7.4. Comparação entre Técnicas

A fim de encontrar o melhor sistema de classificação, fez-se uma comparação entre as técnicas testadas. As taxas de acerto obtidas em cada uma das técnicas com o mesmo classificador, neste caso o *Quadrático*, estão plotadas

no gráfico da Figura 78. Escolheu-se o classificador *Quadrático* para esta comparação, visto que foi o melhor classificador para as técnicas de Seleção e PCA. Somente a técnica de LDA obteve o melhor resultado com o classificador *Linear*, mas ainda assim com valor bem próximo do *Quadrático*. Para evitar a influência do tipo de classificador na comparação mostrada neste gráfico, preferiu-se colocar os resultados referentes a um mesmo classificador.

Como o LDA gera como número máximo de componentes o número de classes menos 1, seus valores vão somente até 3.

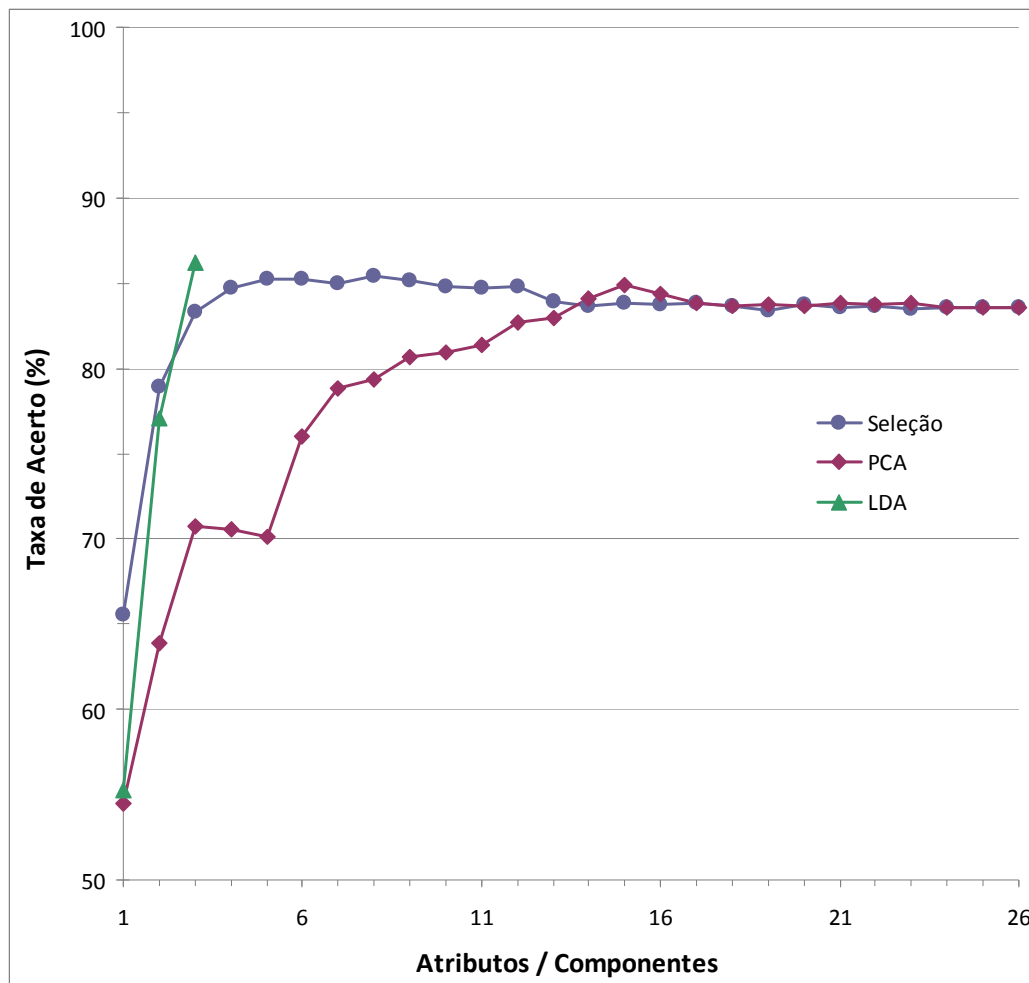


Figura 78 – Comparação entre técnicas com o classificador *Quadrático*

Os resultados da Figura 78 mostram que as técnicas de Seleção de Atributos e PCA possuem taxas de acerto bem próximas acima de 17 componentes ou atributos, como no caso da Seleção.

A técnica de LDA apresenta o melhor resultado de todos. Além disso, a classificação é feita com apenas 3 componentes, o que proporciona uma maior eficiência ao sistema.

Para fins comparativos dos melhores resultados de classificação, na Tabela 19, são mostradas as taxas de acerto para cada classe e global obtidas na melhor validação cruzada de cada uma das técnicas. Nem todas correspondem ao mesmo classificador. Os resultados das técnicas de Seleção de Atributos e de PCA são os obtidos com o classificador *Quadrático* e os da técnica de LDA são os obtidos com o *Linear*.

Tabela 19 – Taxas de acerto de cada classe nas melhores validações cruzadas de cada técnica aplicada nos 26 atributos

| Classes | Seleção | PCA | LDA |
|----------------|----------------|------------|------------|
| A | 99,37 | 99,38 | 100,00 |
| B | 74,15 | 72,84 | 80,18 |
| C | 74,95 | 75,97 | 73,27 |
| D | 93,23 | 91,20 | 91,86 |
| Total | 85,43 | 84,85 | 86,33 |

O melhor resultado global obtido foi com a técnica de LDA, com um valor de 86,33%. Os únicos resultados inferiores comparados às outras técnicas foram correspondentes à classe C e à classe D (somente em relação à técnica de PCA), porém com uma pequena diferença de no máximo 3%.

Além da vantagem da técnica de LDA apresentada anteriormente, de permitir uma classificação com bons resultados com apenas 3 componentes, esta técnica mostrou-se capaz de classificar todas as classes com ótimos resultados.

Compararam-se também os resultados obtidos na validação cruzada a partir da aplicação das técnicas de PCA e LDA em todos os 45 atributos. Os resultados são mostrados na Figura 79. Ambos os métodos apresentaram melhores resultados com o classificador *Linear*, portanto os resultados são referentes a este tipo de classificador.

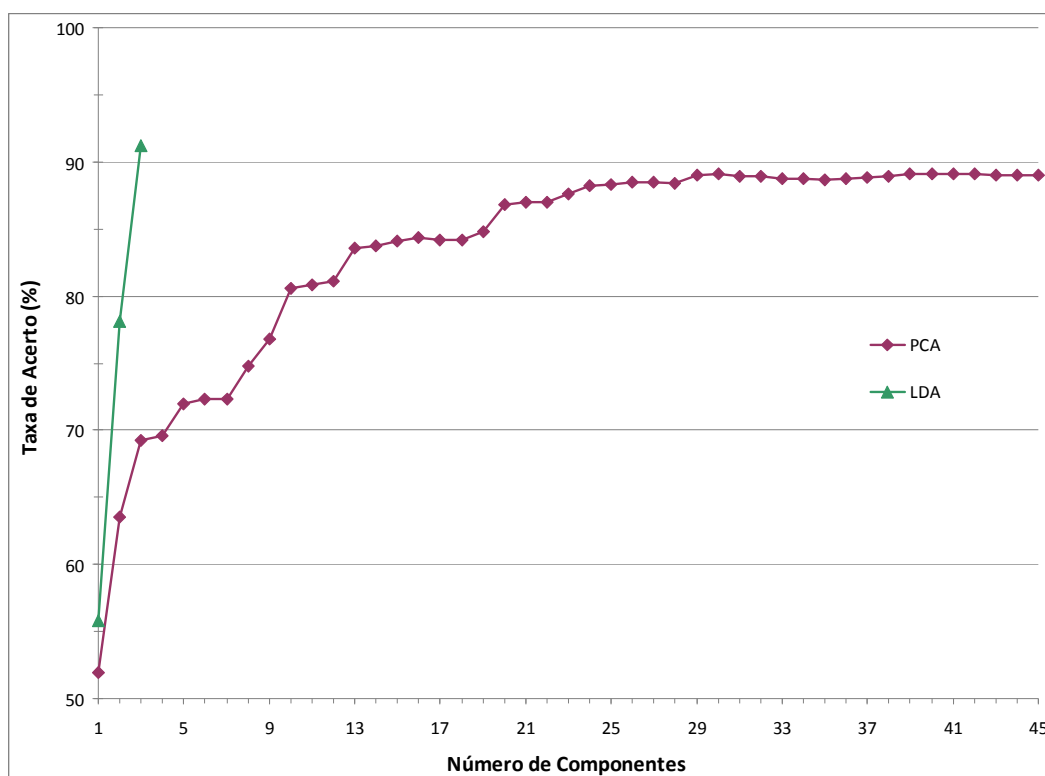


Figura 79 – Comparação entre técnicas de PCA e LDA com o classificador *Linear*

Observa-se que, novamente, a técnica de LDA apresenta os melhores resultados e com muito menos componentes. Os melhores resultados das classificações de cada uma das técnicas são mostrados na Tabela 20.

Tabela 20 – Taxas de acerto de cada classe nas melhores validações cruzadas de cada técnica aplicada nos 45 atributos

| Classes | PCA | LDA |
|----------------|------------|------------|
| A | 99,99 | 100,00 |
| B | 86,15 | 91,77 |
| C | 78,53 | 79,92 |
| D | 91,87 | 93,13 |
| Total | 89,15 | 91,21 |

As taxas de acerto de todas as classes obtidas com a técnica de LDA são superiores às obtidas com a técnica de PCA. Estes são os melhores resultados obtidos de todas as classificações feitas até o momento.

Analisando-se as imagens de cada classe visualmente, nota-se que as imagens B e C (Figura 80) são difíceis de serem caracterizadas até mesmo pelo operador humano. As classes A e D (Figura 81) apresentam comportamentos

completamente distinguíveis das demais, o que facilita o reconhecimento feito pelo computador e explica as boas taxas de acerto na maioria das classificações.

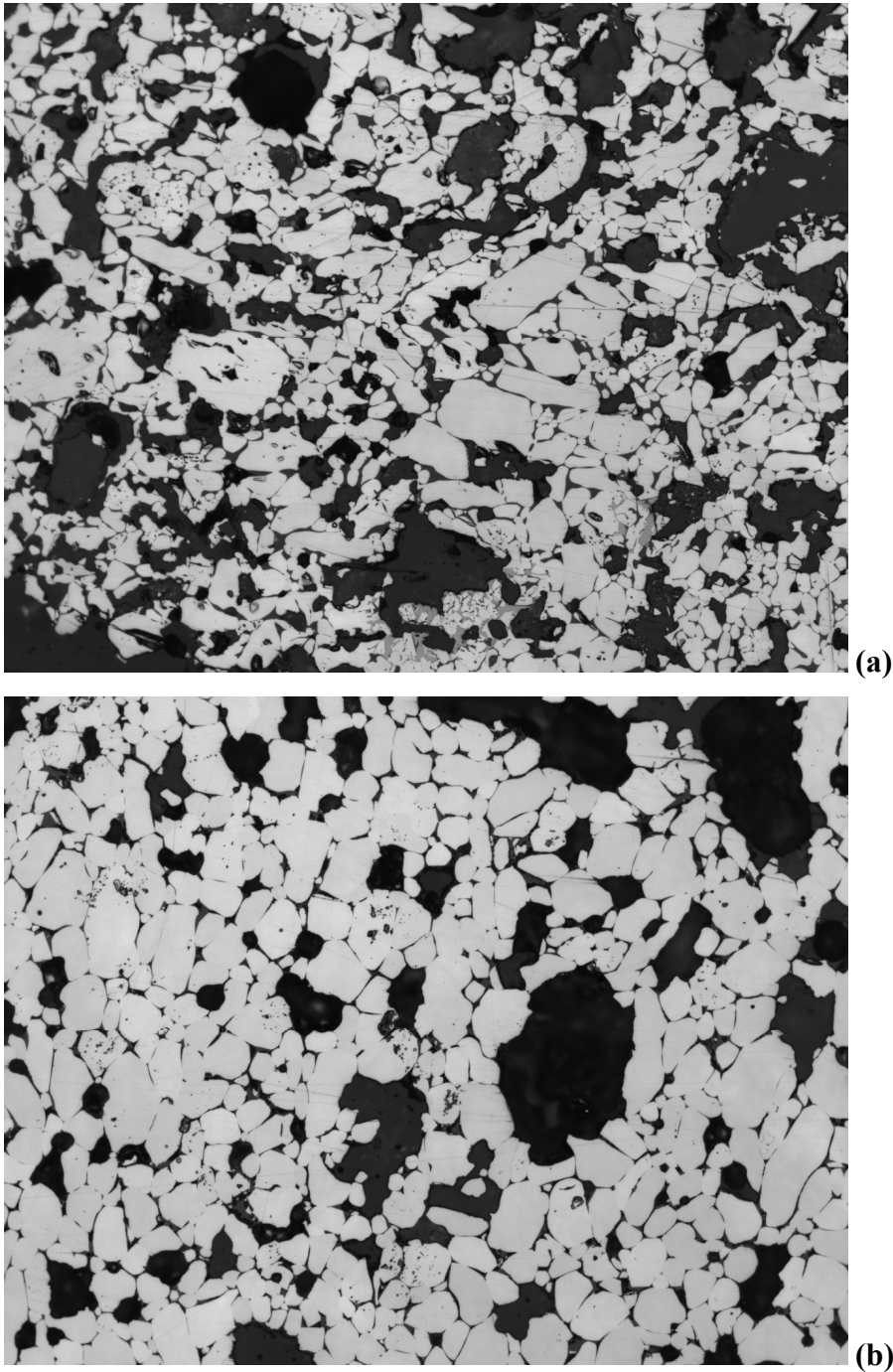


Figura 80 – Exemplo de imagens de Graus de Maturação diferentes: (a) Classe B; (b) Classe C.

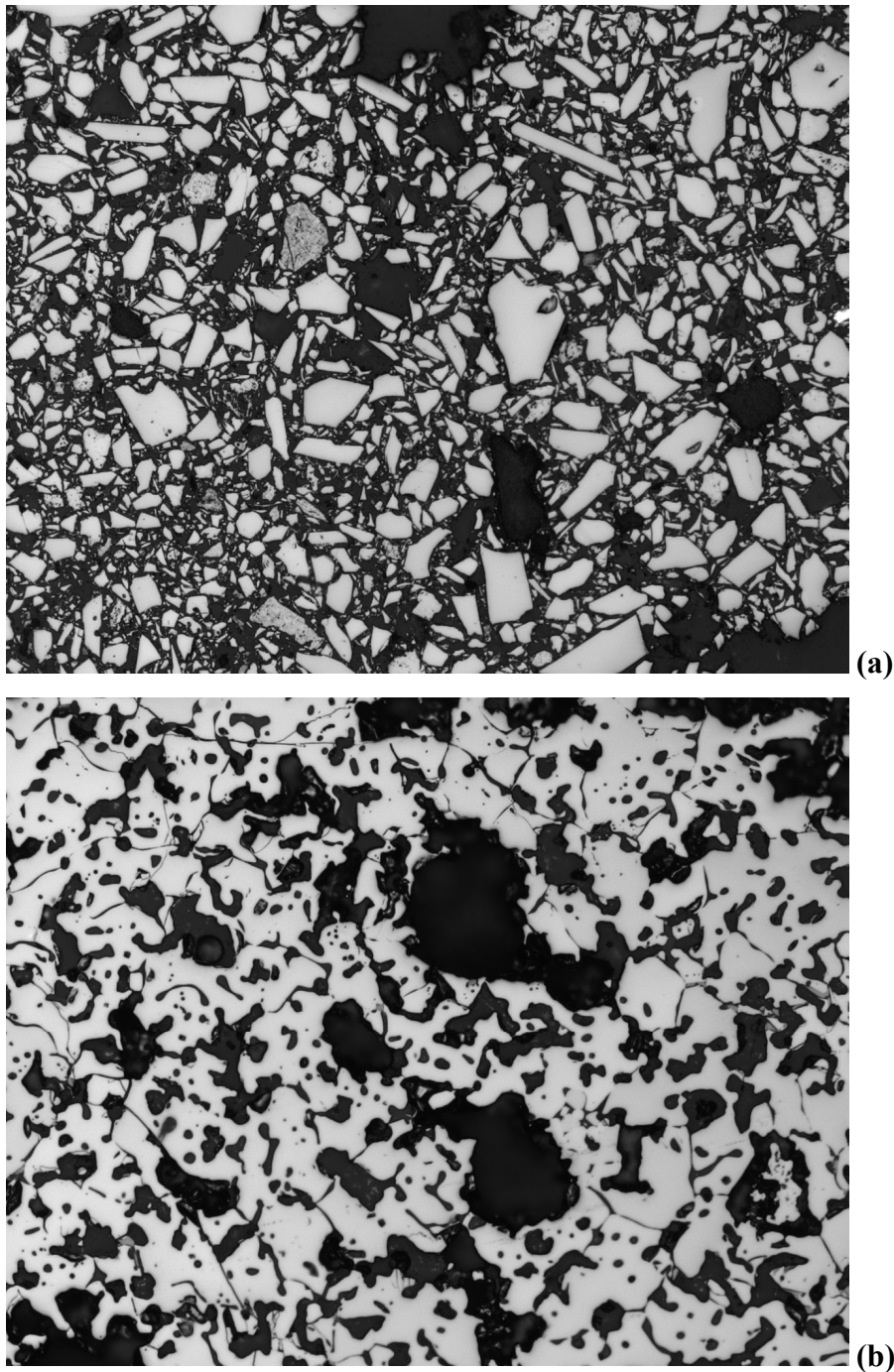


Figura 81 – Exemplo de imagens de Graus de Maturação diferentes: (a) Classe A; (b) Classe D.

Além disso, muitas vezes um mesmo campo possui mais de um *Grau de Maturação* diferente, dificultando a classificação automática. Como as extrações dos atributos aqui realizadas foram feitas em $\frac{1}{4}$ das imagens, uma maneira de solucionar este problema, uma vez que o classificador já tenha sido desenvolvido, é realizar as classificações em cada um dos quadrantes de uma nova imagem e designar o *Grau de Maturação* a esta imagem de acordo com a maioria

classificada. Em outras palavras, se a maior parte dos quadrantes for classificada com um tipo de Grau de Maturação, este será a classe correspondente; em caso de empate na classificação, ambas as classes serão designadas a este campo. Esta dificuldade também é encontrada pelo operador humano neste tipo de análise e muitas vezes as classificações são definidas com um meio-termo, como, por exemplo, *Grau de Maturação B-C*.

De um modo geral, não dá pra justificar o comportamento dos classificadores em cada caso estudado. Todas as classificações feitas foram empíricas e não se pode ainda explicar porque em certas análises o classificador *Quadrático* se mostrou melhor do que os demais e em outras o classificador *Linear*.

Os resultados dos classificadores que não foram mostrados neste capítulo encontram-se no anexo.