

**Implementação exploratória dos métodos desenvolvidos
no procedimento na cadeia de processamento da DGT**

Relatório com comparação dos resultados obtidos com produtos
equivalentes do SMOS

António Tomás Oruguela Sequeira

maio de 2025

Nota prévia

Este relatório foi realizado no âmbito do contrato Nº 24IN10150012, enquadrado no contrato de cooperação Nº 3044, celebrado entre a Direção-Geral do Território (DGT) e o Instituto Superior de Agronomia (ISA). O presente documento corresponde ao Entregável E3.2. que integra a Tarefa 3 e tem a seguinte descrição: "Relatório com comparação dos resultados obtidos com produtos equivalentes do SMOS (e.g., MIAEV)."

Índice

1. Introdução e objetivos	3
2. Conjuntos de dados	4
2.1. CPV	4
2.2. CCD	5
2.3. BDR-TNE-300	6
3. Análises e resultados	8
3.1. Comparação e cruzamento dos dados	8
3.2. Validação simples	9
3.3. Validação com fator temporal	11
4. Discussão e conclusões	13

1. Introdução e objetivos

A DGT e o ISA, no âmbito do contrato de cooperação nº 3044, colaboram no desenvolvimento de um produto bimestral de mapeamento de alterações (perdas de vegetação) nas áreas de floresta e matos. A técnica adotada é baseada na aplicação do algoritmo Continuous Change Detection (CCD). O CCD é utilizado com frequência na detecção e classificação de alterações no coberto vegetal ao longo de uma série temporal de imagens de satélite adquiridas em intervalos regulares de tempo.

O produto em questão encontra-se numa fase de desenvolvimento, já estando disponíveis alguns outputs preliminares para áreas específicas de Portugal Continental gerados a partir da aplicação do CCD. Como forma de aferir a qualidade dos métodos que estão a ser desenvolvidos, é importante comparar os primeiros resultados obtidos com produtos com características semelhantes que já estejam disponíveis no catálogo da DGT.

Assim, o principal objetivo deste relatório é a comparação dos resultados preliminares da aplicação do CCD com a “Carta de Perdas de Vegetação em Floresta e Matos” (CPV), um produto disponibilizado pela DGT em formato vetorial que trata de mapear bimestralmente as perdas de vegetação que ocorrem nas áreas de floresta e matos de Portugal Continental.

Ambos os produtos baseiam-se na análise de séries temporais de imagens Sentinel-2, mas as técnicas aplicadas são significativamente diferentes. No caso do CCD, o princípio fundamental do seu funcionamento é a modelação de séries temporais que permitem capturar a variabilidade sazonal e as mudanças a longo prazo, sendo esse processo baseado na combinação de técnicas de modelos de estatística e modelos de regressão. Já a CPV baseia-se na aplicação de regras de conhecimento pericial com base em valores mensais de NDVI e em classes de ocupação obtidas através da Carta de Ocupação do Solo conjuntural (COSc).

Para que seja possível comparar a qualidade dos resultados dos dois produtos são necessários dados de referência. Por esse motivo, os vários exercícios de análise presentes neste relatório, foram realizados em áreas cobertas pela BDR-TNE-300, uma base de dados de referência, produzida pelo ISA e pela DGT.

2. Conjuntos de dados

2.1. CPV

A CPV consiste num produto vetorial de deteção de perdas de vegetação para Portugal Continental que tem uma unidade mínima cartográfica de 0,5 ha e é atualizada bimestralmente. Cada versão publicada da carta, cobre um horizonte temporal correspondente aos 12 meses anteriores ao da publicação, para os quais são assinaladas e datadas as perdas de vegetação.

A CPV é produzida com base em séries temporais de NDVI obtidas a partir de imagens dos satélites Sentinel-2, e noutros dados auxiliares. Para cada mapa que cobre um horizonte temporal de 12 meses, são utilizados 24 compósitos de mediana mensal de NDVI: 12 meses referentes aos meses que constam no mapa e 12 meses anteriores a estes (meses homólogos do ano anterior). Complementarmente são utilizadas a COSc e as Unidades de Paisagem de Portugal Continental (UP) usadas na produção da COSc.

Apesar do produto só estar disponível no SNIG desde junho de 2024, foi gerada internamente na DGT uma série temporal que cobre o período entre os anos agrícolas de 2018 e 2023, que foi utilizada no âmbito deste trabalho. Esta camada contém 743 134 polígonos de perda de vegetação que no total cobrem 440 423 ha (Figura 1). Para a obtenção desta camada o algoritmo da CPV foi processado para períodos de 6 meses que foram posteriormente agrupados numa única camada.

No âmbito deste relatório só foram utilizados os polígonos que se sobrepunham com as áreas que integram a BDR-TNE-300 e que remetiam para o mesmo horizonte temporal desta, ou seja, os anos agrícolas de 2019 a 2021.



Figura 1 - Carta de Perdas de Vegetação em Floresta e Matos para Portugal Continental no horizonte temporal dos anos agrícolas de 2018 a 2023.

2.2. CCD

Como já foi referido anteriormente o CCD é um algoritmo que combina técnicas de modelos de estatística e regressão, conseguindo dessa forma, avaliar a variabilidade sazonal e as mudanças a longo prazo. O CCD está a ser utilizado como base para gerar um produto de perdas de vegetação nas áreas florestais de Portugal Continental.

O conjunto de dados utilizado neste trabalho, corresponde a uma versão preliminar processada apenas para as áreas da BDR-TNE-300, que foi disponibilizada no formato vetorial. A tabela de atributos que acompanha a dimensão espacial dos dados contém o intervalo de tempo em que a perda de vegetação foi detetada (data da primeira e da última imagem desse intervalo) e a mediana desse intervalo, que foi a data considerada para efeitos de validação.

2.3. BDR-TNE-300

A BDR-TNE-300 (BDR) consiste num conjunto de 2 806 polígonos em formato vetorial distribuídos por 300 áreas circulares (buffers) gerados a partir de uma amostra de 300 pontos para o tile Sentinel-2 T29TNE (Figura 2). O elevado número de polígonos face ao de áreas amostradas é resultante dos critérios de delimitação das áreas alteradas e das classes de uso e ocupação do solo.

Dos 300 pontos inicialmente lançados, 150 foram para zonas de potencial alteração e 150 para áreas sem potencial de alteração. Os primeiros, foram distribuídos pelos 3 anos agrícolas que a BDR abrange: 100 pontos para alterações nos anos agrícolas de 2019 e 2020 (os anos foram considerados em conjunto) e 50 pontos para alterações em 2021.

A partir dos pontos referidos, foram gerados buffers com 200 metros de raio. Estas áreas foram analisadas a partir de fotointerpretação com base em ortofotomapas e imagens de satélite Sentinel-2. Foram delimitadas, datadas e classificadas quanto ao agente causal todas as áreas em que ocorreram alterações. O trabalho foi realizado por 3 fotointerpretes: 2 que analisaram individualmente as áreas e um terceiro que reviu as áreas em que as classificações dos dois primeiros não coincidiram. A Figura 3 e a Figura 4 mostram a delimitação de alterações realizada em dois *buffers*.

A tabela de atributos resultante desta delimitação possui um total de 19 campos que contêm informações sobre as datas em que ocorreram as alterações, a ocupação do solo antes e depois de cada alteração e no final de cada ano agrícola. Contém ainda, a informação do tipo de alteração que ocorreu (corte ou fogo), a área de cada mancha e notas adicionais quando assim se justifica.

O facto de terem sido desenhados buffers a partir dos pontos inicialmente seleccionados, pode ter alterado a distribuição inicialmente referida. Desta forma, um ponto lançado para uma zona sem evidência de alteração, pode dar origem a um buffer com partes em que ocorreram alterações, e vice-versa.

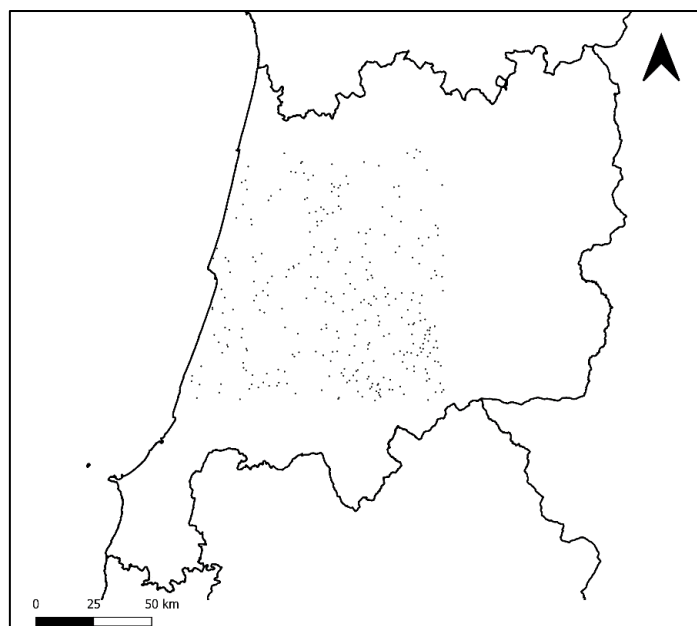


Figura 2 - Localização dos buffers da BDR-TNE-300.

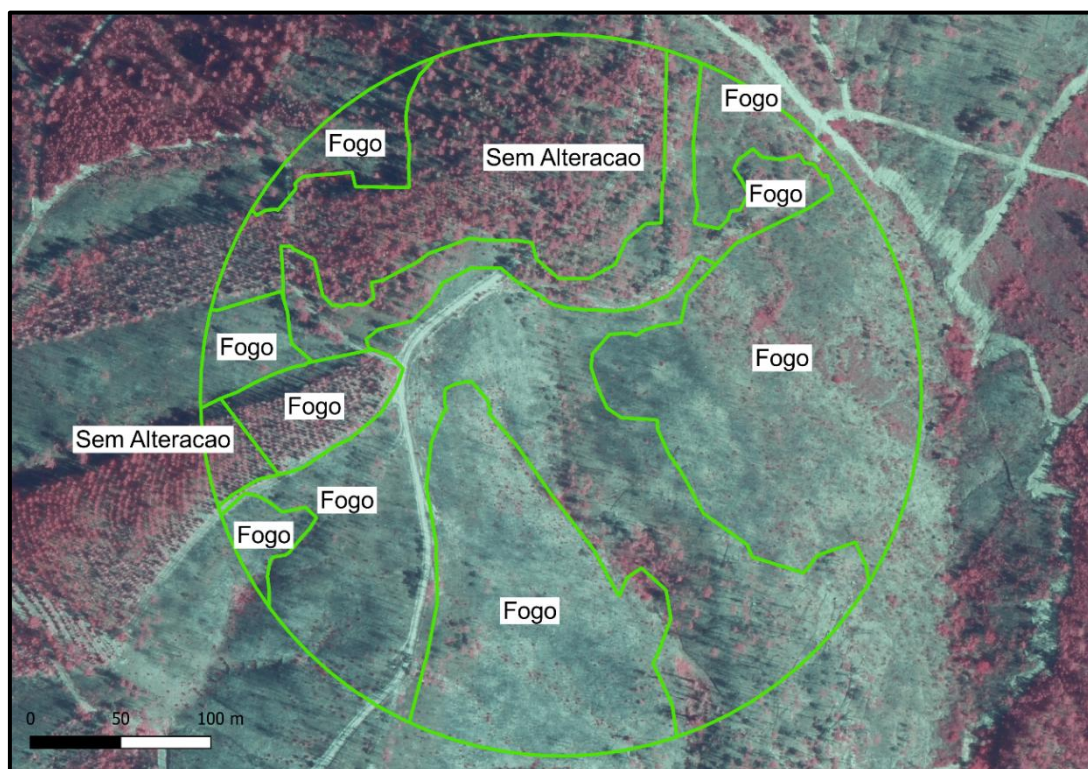


Figura 3 - Exemplo de um "buffer" da BDR-TNE-300 que cobre uma área ardida. O mapa de base é o ortofotomapa do ano de 2021.

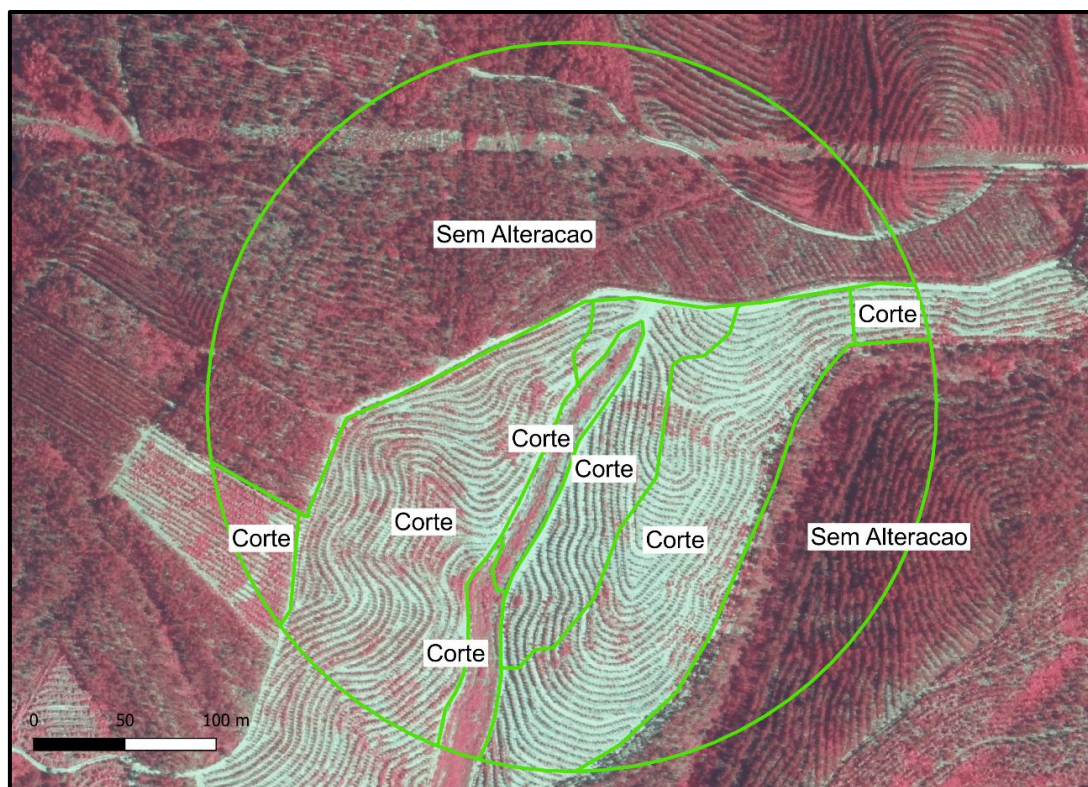


Figura 4 - Exemplo de um "buffer" da BDR-TNE-300 que cobre uma área cortada. O mapa de base é o ortofotomapa do ano de 2021.

3. Análises e resultados

3.1. Comparação e cruzamento dos dados

Como forma de comparar os resultados dos dois produtos, a primeira análise realizada foi a contabilização da área total marcada como alteração na CPV e no output do CCD. A Tabela 1 mostra os resultados dessa contabilização por cada um dos anos agrícolas analisados.

Tabela 1 - Comparação das áreas marcadas como "Alteração" nos dois produtos.

Ano agrícola	Área Alterada (ha)		Diferença (ha)
	CPV	CCD	
2019	260,6	380,5	119,9
2020	231,6	888,6	657,0
2021	119,7	623,4	503,7
Total	611,8	1892,5	1280,6

A distribuição temporal das alterações também foi analisada. A Figura 5 é um gráfico que mostra a área alterada por mês representada nos dois produtos. À semelhança do que já era possível verificar na Tabela 1, existe uma discrepância significativa entre os dois conjuntos de dados, com o CCD a detetar muito mais área alterada do que a CPV.

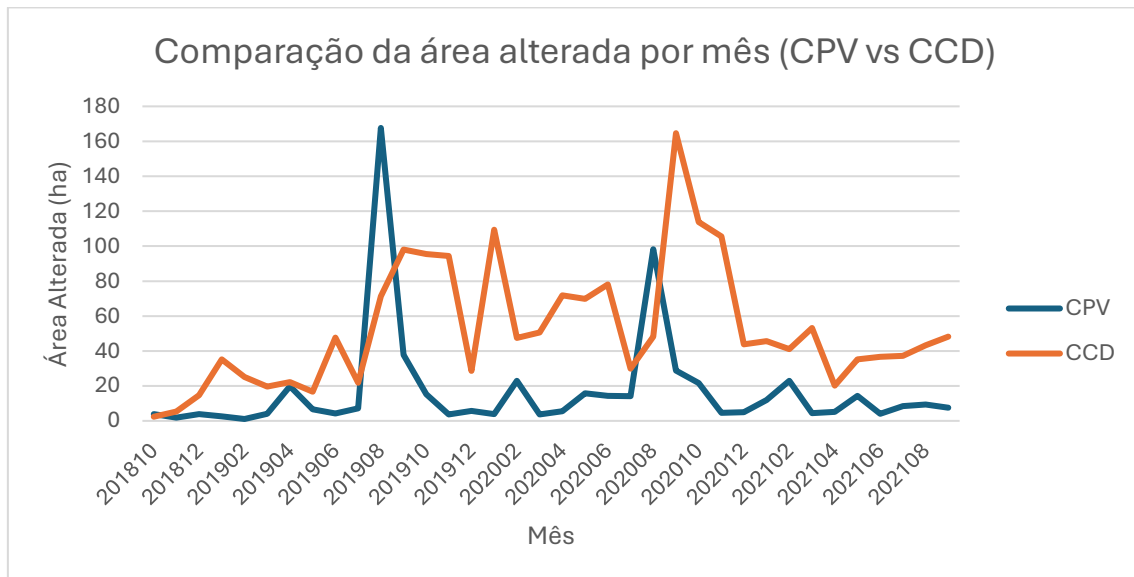


Figura 5 - Gráfico com a distribuição temporal das áreas marcadas como "Alteração" nos dois conjuntos de dados em análise.

3.2. Validação simples

Para comparar a qualidade dos resultados obtidos por cada um dos produtos foi realizada uma validação unicamente espacial para o período temporal considerado. Ou seja, tanto a CPV como o output do CCD foram sobrepostos com a BDR e as suas classes foram confrontadas.

Os dois produtos foram validados em separado. Para cada um deles foi construída uma matriz de confusão em que as colunas dizem respeito às classes da BDR e as linhas às classes de cada um dos produtos. A partir dessa matriz foi possível calcular a Exatidão Geral (EG), a Exatidão do Produtor (EP) e a Exatidão do Utilizador (EU).

A EP permite avaliar a percentagem de uma determinada classe i dos dados de referência que se encontra corretamente classificada no mapa. É calculada dividindo a

área da classe i que se corretamente classificada, pela área da classe i nos dados de referência.

Por sua vez, a EU avalia a percentagem de uma determinada classe i do mapa que se encontra corretamente classificada segundo a referência. É calculada a partir da divisão da área da classe i que se encontra corretamente classificada, pela área total da classe i no mapa que se pretende validar.

CPV

O output disponível da CPV registou uma exatidão geral de **82,2%**. Ainda assim, a CPV assinalou apenas 47,2% da área marcada como “Alteração” na BDR, o que significa que o produto apresenta um elevado erro de omissão da classe “Alteração” (52,8%). Ou seja, muita da área marcada como alteração nos dados de referência não está a ser corretamente identificada na CPV.

Por outro lado, a CPV tem pouco erro de comissão da classe “Alteração” (4,9%), o que significa que a maioria das áreas que estão classificadas como “Alteração” na CPV estão corretas.

Tabela 2 - Matriz de confusão da CPV

CPV	BDR			E. Utilizador
	Com Alteração	Sem Alteração	Total Geral	
Alteração	573,9	29,7	603,6	95,1
Sem Alteração	641,7	2520,6	3162,3	79,7
Total Geral	1215,6	2550,3	3765,9	
E. Produtor	47,2	98,8		

CCD

O output disponível do CCD registou uma exatidão geral de **70,2%**, tendo conseguido assinalar 91,5% de toda a área marcada como “Alteração” na BDR, algo que é possível verificar pela exatidão do produtor da classe “Alteração”. Em contrapartida a exatidão do utilizador foi de apenas 58,8%, o que significa que 41,2% das áreas classificadas como “Alteração” no CCD não estão corretas.

Tabela 3 - Matriz de confusão do output do CCD

CCD	BDR		Total Geral	E. Utilizador
	Com Alteração	Sem Alteração		
Alteração	1112,1	780,4	1892,5	58,8
Sem Alteração	103,7	1771,0	1874,7	94,5
Total Geral	1215,8	2551,4	3767,2	
E. Produtor	91,5	69,4		

3.3. Validação com fator temporal

Posteriormente à validação simples apresentada no ponto anterior, foi feita uma validação tendo em consideração as datas que a CPV e o CCD assinalaram. Nesta análise apenas foram avaliadas as áreas em que a tanto a BDR como os produtos estavam classificados como alteração. Assim, para essas áreas, as datas do CCD e da CPV foram confrontadas com as da BDR.

Como as datas se encontravam expressas de maneiras diferentes em cada conjunto de dados, foi necessário realizar uma harmonização das mesmas para permitir a concretização deste exercício. A opção escolhida foi a de atribuir uma data única a cada um dos polígonos de alteração (no caso da BDR e da CPV as datas estavam expressas sobre a forma de intervalo). Desta forma, foram realizadas as seguintes operações:

- BDR: Foi calculada a data central do intervalo de tempo que estava registado na tabela de atributos;

- CCD: Foi utilizada a data da imagem Sentinel-2 central do intervalo de tempo. Ou seja, a mediana das datas das imagens Sentinel-2;

- CPV: Foi considerado o primeiro dia do mês assinalado na tabela de atributos. Recorde-se que ao contrário da BDR e do CCD, os valores das datas na CPV apenas indicam o mês da alteração, não existindo referência ao dia.

O limite de tempo considerado para a data de uma perda de vegetação ser esteja correta foi de 6 meses. Ou seja, se a data assinalada no CCD e na CPV estiver no intervalo de mais ou menos 6 meses face ao valor marcado na BDR, esta é considerada correta.

CPV

No caso da CPV, 99,1% da área marcada corretamente como alteração apresenta a data correta (Tabela 4).

Tabela 4 - Correspondência das datas entre os polígonos do CPV e a BDR

Correspondência CPV/BDR	Área (ha)	%
Data fora do limite (6 meses)	5,5	1,0
Data dentro do limite (6 meses)	568,4	99,0
Total	573,9	100,0

CCD

Em 72,8% da área assinalada corretamente como alteração no CCD, a data encontra-se dentro do limite definido (Tabela 5).

Tabela 5 - Correspondência das datas entre os polígonos do CCD e a BDR

Correspondência CCD/BDR	Área (ha)	%
Data fora do limite (6 meses)	302,4	27,2
Data dentro do limite (6 meses)	809,6	72,8
Total	1112,1	100

4. Discussão e conclusões

As análises realizadas permitiram retirar várias conclusões relativamente ao desempenho dos dois produtos no mapeamento de perdas de vegetação e evidenciam a necessidade de realizar alguns ajustes nos seus métodos de produção.

A CPV apesar de ter registado uma exatidão geral superior à do CCD, tem uma elevada omissão de alterações. No caso da CPV a exatidão geral de 82,2% deve-se maioritariamente ao elevado peso que a classe “Sem Alteração” tem na BDR. Ou seja, mesmo tendo uma exatidão mais elevada não é possível afirmar que a CPV tenha sido mais bem sucedida no cumprimento dos objetivos pretendidos, uma vez que, não foi capaz de identificar mais de metade da área alterada. Na Figura 8 está um exemplo de uma dessas áreas. É necessária a avaliação das causas deste elevado erro de omissão, que poderá ter sido inflacionado pela forma como a CPV foi processada (em blocos de 6 meses), uma vez que, outros estudos de validação revelaram uma exatidão maior da CPV.

Por sua vez, o CCD conseguiu identificar corretamente a maioria das áreas marcadas como “Alteração” na BDR (91,5%). Ainda assim, conta com um elevado erro de comissão da classe “Alteração” o que faz com que essa classe tenha apenas 58,8% de exatidão do utilizador e com que a exatidão geral seja de apenas 70,2%. Na Figura 7 (e em menor escala na Figura 6 e na Figura 8) é possível ver áreas em que o CCD cometeu erros de comissão, tendo assinalado como alteração áreas em que não ocorreu nenhum evento de perda de vegetação.

Desta forma, os problemas dos dois produtos parecem ser inversos – a CPV está a assinalar muito menos área alterada do que deveria e o CCD está a identificar área alterada a mais. A contabilização da área total marcada como perda de vegetação nos dois produtos ajuda a confirmar esta conclusão.

No caso das datas a CPV foi mais eficaz, mas são necessárias cautelas nas conclusões sobre essa eficácia, visto que, a área marcada corretamente como alteração é muito inferior à que foi assinalada no CCD.

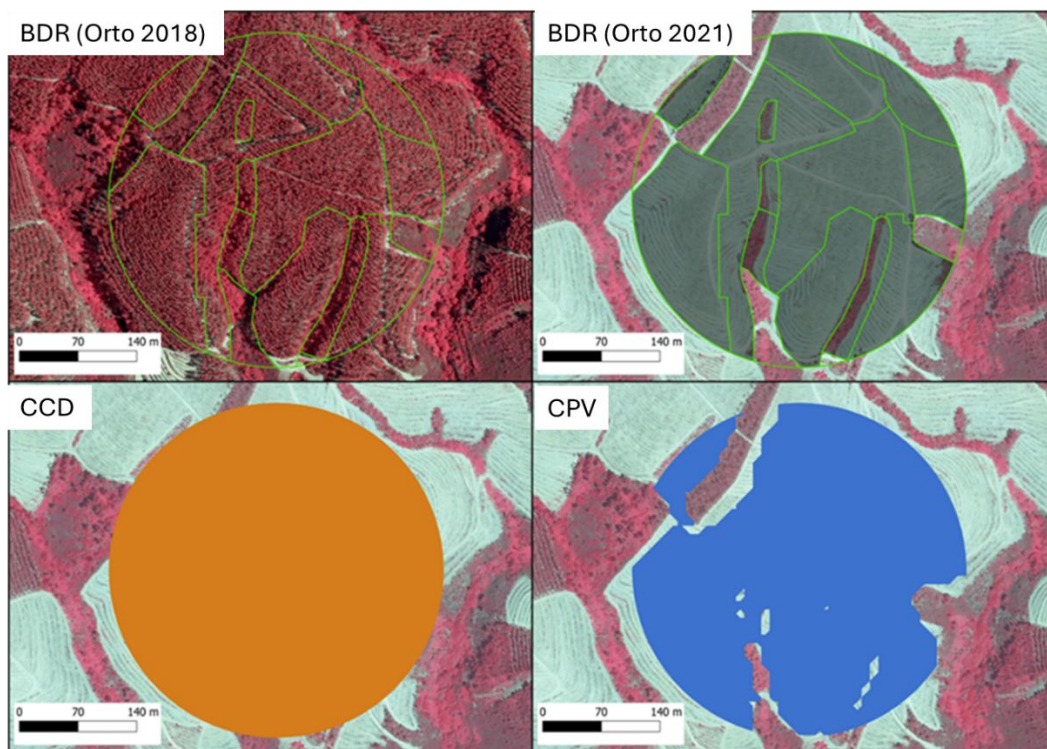


Figura 6 – Exemplo de um buffer da BDR em que o CCD e a CPV conseguiram identificar corretamente uma perda de vegetação. A imagem do canto superior esquerdo mostra os limites da BDR e tem como mapa base o ortofotomapa de 2018. No canto superior direito está novamente a BDR, mas desta vez estão representadas a sombreado as áreas consideradas como alteração e o mapa base é o ortofotomapa de 2021 em que são visíveis as áreas que ocorreram perdas de vegetação. No canto inferior esquerdo está representada a área que o CCD assinalou como perda de vegetação. Finalmente, no canto inferior direito está representada a área que a CPV assinalou como alteração.

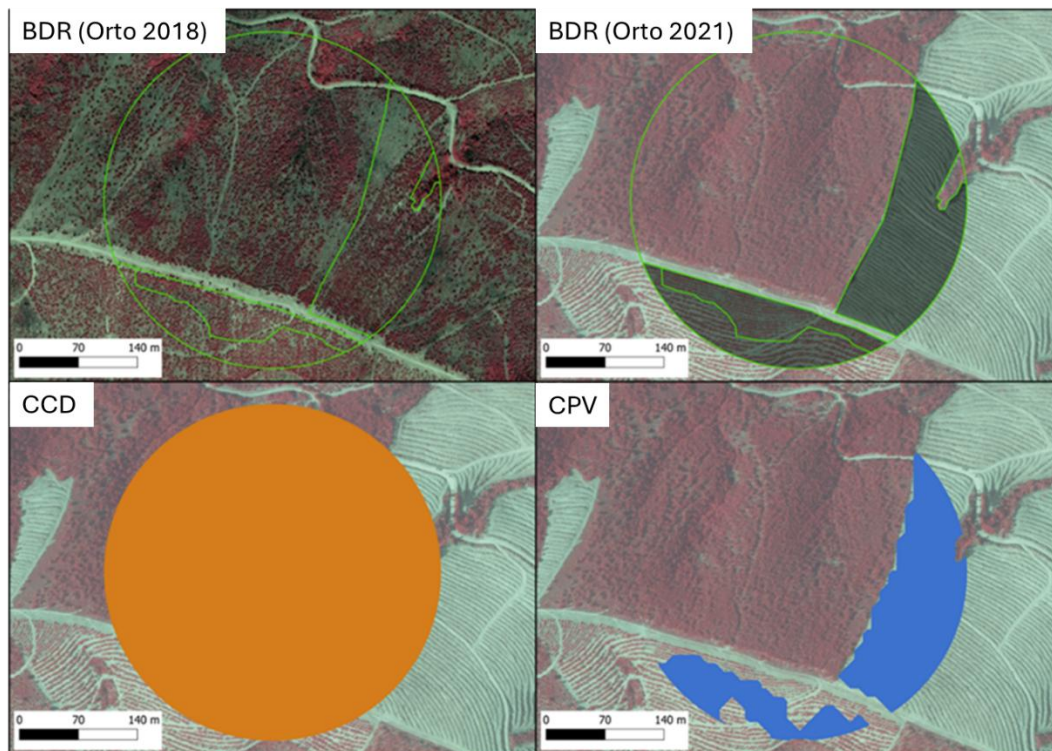


Figura 7 - Exemplo de um buffer da BDR em que o CCD assinalou totalmente como “Alteração”, sendo que só numa pequena área é que foi registado um evento de perda de vegetação (erro de comissão da classe “Alteração”). Por oposição, a CPV assinalou corretamente a área alterada. A imagem do canto superior esquerdo mostra os limites da BDR e tem como mapa base o ortofotomapa de 2018. No canto superior direito está novamente a BDR, mas desta vez estão representadas a sombreado as áreas consideradas como alteração e o mapa base é o ortofotomapa de 2021 em que são visíveis as áreas que ocorreram perdas de vegetação. No canto inferior esquerdo está representada a área que o CCD assinalou como perda de vegetação. Finalmente, no canto inferior direito está representada a área que a CPV assinalou como alteração.

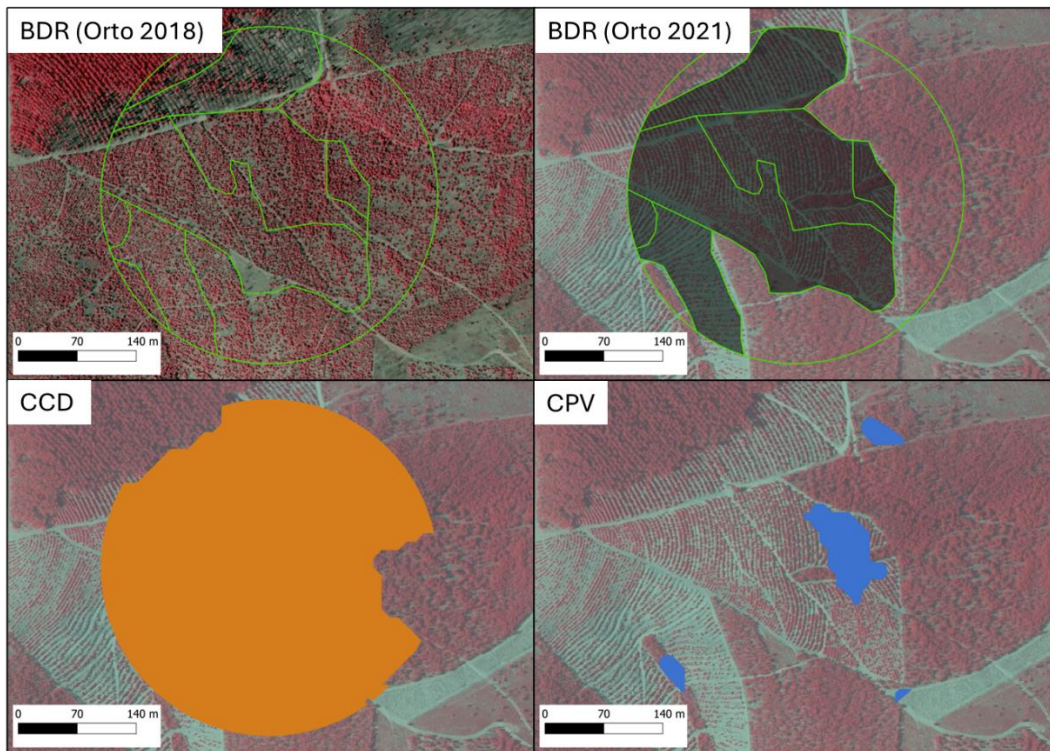


Figura 8 - Exemplo de um buffer da BDR em que o CCD assinalou exageradamente uma área de perda de vegetação e a CPV. A imagem do canto superior esquerdo mostra os limites da BDR e tem como mapa base o ortofotomapa de 2018. No canto superior direito está novamente a BDR, mas desta vez estão representadas a sombreado as áreas consideradas como alteração e o mapa base é o ortofotomapa de 2021 em que são visíveis as áreas que ocorreram perdas de vegetação. No canto inferior esquerdo está representada a área que o CCD assinalou como perda de vegetação. Finalmente, no canto inferior direito está representada a área que a CPV assinalou como alteração.