

A Passos Lentos

J.P. MOLIN¹

L.M. GIMENEZ²

Há alguns indícios de que a curva de adoção da agricultura de precisão no Brasil está saindo do ponto de inflexão. Isso era, de uma certa forma, previsto. Fica ainda mais evidente a necessidade de cada um envolvido no sistema de produção agropecuário em se manter atualizado no que anda acontecendo nessa área que ainda vai gerar muitos fatos novos.

É fácil concluir-se que a agricultura de hoje é toda praticada “pela média”. Todo o controle de entradas e saídas em cada talhão, é com base em valores médios. Faz-se a amostragem de solo e um resultado vale para todo talhão ou até para a propriedade inteira. Com base nesse resultado se diz que deve ser aplicado um dado fertilizante com tantos quilos por hectare e na colheita comenta-se que a produção foi de tantos sacos por hectare, novamente pela média. No entanto, essa agricultura pela média esconde muita informação. Desconsidera-se a existência de manchas na lavoura e, por simplificação, assume-se que tudo é uniforme.

A dinâmica que se observa no desenvolvimento e implementação das práticas de Agricultura de Precisão demonstram o quanto jovem é a proposta. No entanto há uma crescente expansão na adoção da idéia. O número de colhedoras equipadas com monitor de colheita é um bom indicador disso. A comercialização desses equipamentos na Europa teve início em 1992 e nos Estados Unidos em 1993. Os americanos abraçaram a causa com mais empenho e na safra de 1997 já existiam 17 mil colhedoras equipadas com monitores. Hoje, na Argentina, esse número chega a 350 máquinas; na Alemanha existem em torno de 500 máquinas; na Inglaterra, algo como 350 e na Austrália, em torno de 800.

Dados do ano de 2000 dos Estados Unidos (levantamento feito junto a distribuidores de insumos), dão conta de que 15% da área cultivada já é monitorada com mapas de produtividade e o número de colhedoras equipadas com monitor de produtividade está na casa das 30 mil. Esse mesmo levantamento faz uma projeção para 35% da área monitorada em 2002. Hoje a área coberta com amostragem de solo em grade é da ordem de 12%, projetada para 32% em 2002. Na área de fertilizantes e corretivos, hoje são aplicados em taxa variada, algo em torno de 25% da área, incluindo aí controle manual, automático para um produto e de mais do que um produto ao mesmo tempo. A projeção nessa área é otimista e espera chegar a 53% da área em 2002. Em agroquímicos (líquidos), os números de hoje indicam que em torno de 15% da área é aplicada com taxa variada, sendo grande parte disso (12,5%) em controle manual. A expectativa é de que esse número ultrapasse os 30% em 2002.

Tais números indicam uma predominância de concentração do uso dessas ferramentas no meio-oeste americano contra o resto do país. O levantamento também aponta os maiores problemas e entraves apontados pelos usuários e fornecedores de produtos e serviços nessa área. Tornar essas técnicas lucrativas, custo elevado e falta de pessoal preparado para trabalhar com as ferramentas, tanto pessoal de alto nível como pessoal de campo, foram os problemas que mais se destacaram no levantamento.

¹Engº. Agrícola, PhD, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP. Pesquisador do CNPq. E-mail: jpmolin@esalq.usp.br

² Engº. Agrônomo, Pesquisador, Fundação ABC, Castro, PR. E-mail: mecaniza@convoy.com.br

É evidente que o domínio das tecnologias ligadas à Agricultura de Precisão propostas ao agricultor brasileiro deve passar por uma avaliação e adaptação às nossas particularidades. Nesse momento o que mais falta ao usuário é informação. A obtenção dessa informação é lenta e cara e quem começa tem o sabor e o ônus do pioneirismo. A implantação de projetos nesse sentido deve sempre ser gradual e com a consciência de que ainda temos pouco domínio dos conceitos de variabilidade espacial da produção e de suas causas. Essa deve ser a tônica de qualquer iniciativa nessa fase do desenvolvimento da tecnologia de Agricultura de Precisão no Brasil.

É importante lembrar que o pessoal lá de fora encontra muitas coisas já prontas para começar a trabalhar com Agricultura de Precisão. Exemplos disso são os mapas de solo, as redes de dados climatológicos, o sinal de GPS diferencial de graça em muitas regiões, etc.

Por aqui, estima-se que o número de colhedoras equipadas com monitor de produtividade chegue hoje às 50 ou 60 máquinas, excluídas aquelas envolvidas com a pesquisa e demonstrações. É um número inexpressivo, porém há três anos não passava de 5 colhedoras. Empresas já vem fazendo aplicação variada de calcário e adubo a lanço em larga escala. Também, algumas máquinas de pequeno porte já estão sendo importadas para aplicação de produtos a lanço e já se tem pulverizador nacional com controle automático para aplicação variada de líquidos.

O aspecto econômico disso tudo perturba o potencial usuário e esse tem sido o lado em que o sistema menos avançou. Por razões óbvias, para se medir o benefício de uma nova tecnologia é necessário executa-la e por completo. Essa tem sido a dificuldade maior, pois o cumprimento do ciclo completo na agricultura de precisão requer tempo. Os americanos e europeus têm alertado para o fato de que em grãos em geral, como culturas de baixo valor agregado, a rentabilidade da Agricultura de Precisão é menos evidente que em culturas mais nobres. No entanto, os especialistas da área advertem para o fato de que a mensuração da relação entre custo e benefício é bastante complexa e intuitiva. Grande parte do produto desse investimento todo se chama “informação” e estabelecer valor à informação é algo nada mecânico. A respeito disso, a coisa tem evoluído para um campo novo, chamado de base de informação ou banco de dados.

Um fato que começa a se destacar é a corrida pela organização de “cooperativas de informação”. Sabe-se que é difícil quantificar o valor da enormidade de dados gerados pela Agricultura de Precisão. Porém os pioneiros nessa luta agora começam a se servir dos dados como uma ferramenta poderosa de auxílio na tomada de decisões elementares do dia-a-dia. Talvez essa venha a ser a maior contribuição que a Agricultura de Precisão venha a nos oferecer, o que é muito animador.

Outra tendência bastante recente e muito provável de ser o caminho do futuro é o gerenciamento por unidades de manejo. Na medida em que o agricultor passa a trabalhar a propriedade não mais como uma coisa só, ou seja, isola cada talhão e os considera como unidades gerenciais, o nível de desuniformidade começa a aparecer. Isso leva ao tratamento individualizado de cada talhão em todos os sentidos; desde a amostragem de solo, passando pela colheita, até a contabilidade, com um caixa para cada talhão. Esse é o início do processo de gerenciamento por unidades de manejo. O que falta é definir essas unidades dentro de cada talhão.

Assumindo que as manchas existem e que conhecendo-as podemos melhorar as técnicas de manejo da lavoura, deve-se lançar mão de ferramentas que permitam definir essas unidades. Para isso podem ser utilizados os mapas de produtividade, as fotos aéreas ou videografia em

infravermelho, a amostragem de solo em grade e outras técnicas mais recentes como a medição da condutividade elétrica do solo com sensores específicos.

Definidas essas unidades, passa-se a criar subdivisões virtuais nos talhões que são as bordas dessas unidades que são diferenciadas entre si por algum critério ou fator. Desse ponto para frente as táticas de gerenciamento devem ser mudadas e todos os princípios até aqui discutidos, relativos a agricultura de precisão podem ser aplicados, porém sem tanta sofisticação de equipamentos. A própria delimitação e demarcação dessas unidades de manejo pode ser feita com tecnologias apropriadas. Em função das recentes dificuldade que a agricultura de precisão tradicional vem enfrentando, especialmente ligados ao seu alto custo de adoção e indefinição quanto ao retorno, bem como ausência de boas correlações que expliquem as causas das variabilidades locais, a tendência da adoção das unidades de manejo vem crescendo.

No entanto, para que a adoção dessas tecnologias venha a acontecer numa marcha que gere mais volume, tanto de negócios quanto de experiências para todos, deve haver esforço concentrado em duas grandes frentes. Por um lado a pesquisa, com recursos públicos e privados, deve acelerar o processo do entendimento dos fenômenos associados à variabilidade existente nos campos e as formas de intervir ou conviver com essa variabilidade. A outra frente, também de primeira importância, deve atacar a redução do custo de adoção da adoção. Há uma demanda reprimida que se frustra com os valores dos equipamentos hoje disponíveis. Sabe-se que os preços praticados são decorrentes de falta de escala de produção e de nacionalização. Alguns exercícios têm que ser feitos. Na seqüência é apresentado um estudo feito no primeiro semestre deste ano e que visou justamente apontar para alternativas nesse sentido.

MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE COM GPS SEM CORREÇÃO DIFERENCIAL

O uso de correção diferencial para melhorar a qualidade do sinal de GPS em agricultura de precisão tem sido uma necessidade absoluta em função da magnitude dos erros obtidos no posicionamento. No entanto, recentemente, o sinal de GPS teve uma melhora significativa na sua acurácia em função da desativação de um ruído causado propositadamente pelos seus gerenciadores. Tem-se observado que receptores de GPS de baixa especificação oferecem posicionamento com acurácia satisfatória para muitas atividades antes inviáveis sem correção.

O sistema de posicionamento global conhecido como GPS faz parte da disputa pelo poderio bélico do pós-guerra e é também conhecido como NAVSTAR (Navegation Satellite Time And Ranging). É um sistema de propriedade e operação do Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Foi concebido a partir da década de 70 para substituir um outro sistema de posicionamento chamado TRANSIT. A ex-União Soviética também produziu o seu sistema equivalente, denominado de GLONASS e que hoje é administrado pela Rússia. Ambos utilizam uma constelação de satélites com princípios operacionais semelhantes. Além desses, existem também os sistemas locais de posicionamento por triangulação, que são compostos por torres de rádio que transmitem sinais em todas as direções. O usuário carrega um receptor de sinais no veículo. O receptor determina a distância entre o veículo e cada uma das torres, obtendo assim a localização do veículo no campo.

O posicionamento obtido com um receptor de GPS integra o somatório de várias fontes de erros e o recurso mais usual para contornar esses erros é utilizando as técnicas de DGPS ou GPS com correção diferencial. Até esta época eram utilizadas a correção pós-processada ou em tempo real via rádio, com torre local, ou ainda a correção com rede de abrangência continental e sinal via satélite de comunicação.

Outras fontes de sinal de correção têm surgido recentemente. Tanto os Estados Unidos quanto a Comunidade Européia estão desenvolvendo seus sistemas de correção diferencial, ambos utilizando sistema semelhante às redes de abrangência continental e sinal via satélite de comunicação de empresas privadas. O WAAS ou "Wide Area Augmentation System" dos Estados Unidos e o EGNOS ou "European Geostationary Navigation Overlay Service" já disponibilizam sinal público experimental. O WAAS é composto de 25 estações terrestres e está sendo implementado prioritariamente para a aviação civil (<http://gps.faa.gov/Programs/WAAS/waas.htm>). O sistema EGNOS teve sua implementação iniciada em 1998 e já está operante em estágio de protótipo, devendo estar plenamente operante em 2003 e além de contemplar os usuários do sistema GPS, também trabalha com o sistema GLONAS (<http://www.esa.int/EGNOS>).

Receptores de baixo custo compatíveis com esses sistemas estão disponíveis no mercado, o que é muito bem-vindo, para popularizar algumas atividades pela redução drástica do custo de investimento. Para o usuário brasileiro, no entanto, esse sinal deverá ter aplicabilidade limitada. Mesmo que seja possível sintonizar o sinal do satélite de comunicação, o sinal diferencial terá sido gerado a distâncias muito grandes, com estações terrestres em outros continentes.

No início de maio de 2000, o governo americano anunciou a desativação do degradador da qualidade do sinal de GPS, denominado de disponibilidade seletiva. Até então um receptor de uso civil, recebendo frequência L1 (1575,42 MHz), oferecia acurácia teórica horizontal de 100 m e vertical de 156 m. Em função disso, recentemente tem sido veiculada a notícia de novos e revolucionários sistemas de correção autônomos. São algoritmos internos aos receptores que utilizam a posição dos satélites da constelação para produzir uma correção própria.

A desativação da disponibilidade seletiva resultou em significativa melhora na acurácia dos receptores considerados de baixo custo. A partir de então eles passaram a ter maior destaque e já são propostos para aplicações mais seletivas.

Com base nessas evidências a ESALQ/USP, de Piracicaba, SP e a Fundação ABC, de Castro, PR realizaram um trabalho com o propósito de experimentar a utilização de tais receptores sem correção diferencial na tarefa de monitoramento de colheita de cereais para fins de obtenção de mapas de produtividade.

COMO FOI DESENVOLVIDO O TRABALHO

Foi selecionado um talhão de lavoura de milho de aproximadamente 28,7 ha, no município de Castro, PR e que faz parte de um grupo de talhões que vêm sendo intensivamente monitorados no Projeto de Agricultura de Precisão junto à Fundação ABC. A lavoura está localizada em uma várzea de altitude, drenada e inserida no processo produtivo há anos, apresentando variabilidade local acentuada.

A colheita foi realizada em 16 de abril de 2001 com uma colhedora AGCO MF 34 equipada com o sistema de monitoramento de produtividade FieldStar associado a um receptor

de GPS Racal, modelo Land Star MK 4 – G12 L, com sinal diferencial em tempo real via satélite, também Racal. Na mesma máquina foi instalado um receptor de GPS Garmin, modelo GPS III Plus, com antena externa e conectado a um computador de mão (palmtop) HP Jornada 548, equipado com o programa de navegação Farm Site Mate (FarmWorks Software).

Os receptores de GPS foram configurados de forma a registrarem também a informação relativa ao tempo. Dessa forma ambos arquivos puderam ser alinhados pelo tempo, fazendo equivar a leitura de produtividade e suas informações complementares, variando apenas a posição do ponto de coleta dada por cada um dos receptores de GPS. Os dados de produtividade originais foram submetidos a um processo de filtragem de acordo com critério que permitissem a eliminação de pontos com valores improváveis, bem como pontos com problemas de localização. Esta deve ser uma prática comum na obtenção de qualquer mapa de produtividade. A partir desses dados foram produzidos dois arquivos: com e sem GPS diferencial.

A frequência de coleta de dados no monitor de produtividade estava definida para uma coleta a cada dois segundos. O mesmo foi estabelecido para o computador de mão. Como o alinhamento pelo valor do tempo nem sempre coincidia, houve a perda de parte dos pontos do arquivo de coordenadas com correção diferencial para o arquivo sem correção diferencial. Ainda, como o controle de campo nem sempre permitia controle absoluto de início e encerramento de coletas parciais de dados, calculou-se o erro relativo entre cada ponto em que coincidia o tempo de coleta. Observaram-se alguns valores muito discrepantes de posicionamento entre os dois critérios, não devido ao receptor de GPS e sim por defasagem causada por deficiência de controle na coleta dos dados, e que foram removidos. Os dados dos arquivos resultantes foram então transformados em mapas utilizando-se diferentes critérios.

Como o erro de posicionamento pode ser atenuado por técnicas de interpolação, numa primeira análise foram gerados mapas com células de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 m de lado, para se verificar como se comportavam os dados. Essa técnica, comum em dados desse tipo, consiste em estimar valores para uma célula (quadro) a partir de valores amostrados (os dados obtidos). O método de interpolação, neste caso, foi o “inverso da distância ao quadrado”. Um segundo método conhecido como “vizinho mais próximo”, que utiliza apenas o ponto mais próximo do centro da célula para ponderar a estimativa de valores numa interpolação, foi utilizado para interpolar os valores de produtividade com as coordenadas sem correção diferencial, gerando células de 5 e 10 m de lado. Estes dados foram então utilizados para uma segunda interpolação, desta vez com o interpolador “inverso da distância ao quadrado” e com células de 10, 20 e 30 m de lado.

Todos os pares de mapas (com e sem DGPS) foram utilizados para análise de correlação de valores estimados de produtividade entre as células de mesmas coordenadas. A técnica de correlação é utilizada para se confrontar e comparar dois conjuntos de dados; neste caso para avaliar o grau de semelhança entre os dois tratamentos (com e sem GPS diferencial).

O QUE FOI OBTIDO

Na figura 1 são apresentados os dois mapas de percursos registrados pelo monitor de produtividade equipado com GPS diferencial e pelo computador de mão conectado ao GPS sem correção diferencial. É possível observar visualmente o grau de desalinhamento do GPS sem

correção quando comparado ao GPS com correção diferencial, normalmente adotado nessas circunstâncias. Observam-se desvios, no entanto há uma regularidade de paralelismo entre as passadas da colhedora, com certo grau de sobreposição entre algumas passadas da plataforma de 4,8 m de largura (6 linhas de milho). O percurso com correção diferencial é composto por 8344 pontos, enquanto que o percurso definido por pontos sem correção diferencial, é composto por 6723 pontos, em função das perdas de pontos por deficiências no alinhamento pelo fator tempo.

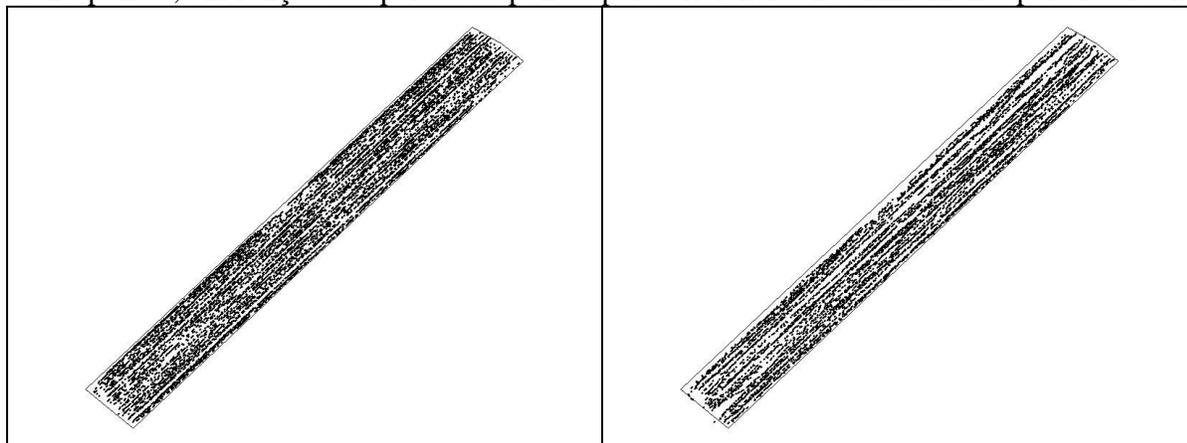


Figura 1. Mapas dos percursos registrados pelo monitor de produtividade equipado com GPS diferencial (esquerda) e pelo computador de mão conectado ao GPS sem correção diferencial (direita).

A partir dos valores de correlação entre a produtividade estimada em cada célula com e sem GPS diferencial, após a interpolação pelo método do “inverso da distância ao quadrado”, apresentados na Tabela 1, como função do tamanho das células, observa-se que houve uma reprodução da informação contida no mapa de produtividade convencional (utilizando GPS com correção diferencial). A perda de informação teve tendência decrescente (índice de correlação crescente), na medida em que se aumentou o tamanho da célula de 5 até 20 m de lado. A partir de então o índice de correlação decresceu até células de 30 m de lado e voltou a crescer com células maiores.

Tabela 1. Valores de correlação entre a produtividade estimada em cada célula com e sem GPS diferencial, após a interpolação pelo método do “inverso da distância ao quadrado”, em função do tamanho das células.

Dimensão das células (m)	Índice de correlação
5	0,73
10	0,75
15	0,75
20	0,78
25	0,76
30	0,74
40	0,85
50	0,80

No cálculo do erro relativo entre posições de pontos alinhados pelo fator tempo, observaram-se valores extremos, da ordem de 1520 m, o que equiivale à extensão do talhão, demonstrando que eram valores provavelmente com erro de coleta e não de posicionamento. Na figura 2 é apresentado o comportamento do erro relativo de posicionamento entre os pontos coletados com correção diferencial e os pontos coletados sem correção diferencial, após a eliminação dos pontos considerados discrepantes. Pelo gráfico observa-se que os erros relativos flutuaram ao longo da colheita e uma representação do erro relativo médio resultou em 16,6 m. Pelas especificações atuais do sistema GPS esse erro aparenta ser coerente. É importante salientar que é um erro relativo, ou seja, no seu cálculo está incluída uma posição, com certa incerteza, de cada ponto coletado pelo GPS com sinal diferencial. Entretanto associa-se aos valores de tamanho de células que corresponderam aos maiores coeficientes de correlação, entre 15 e 25 m.

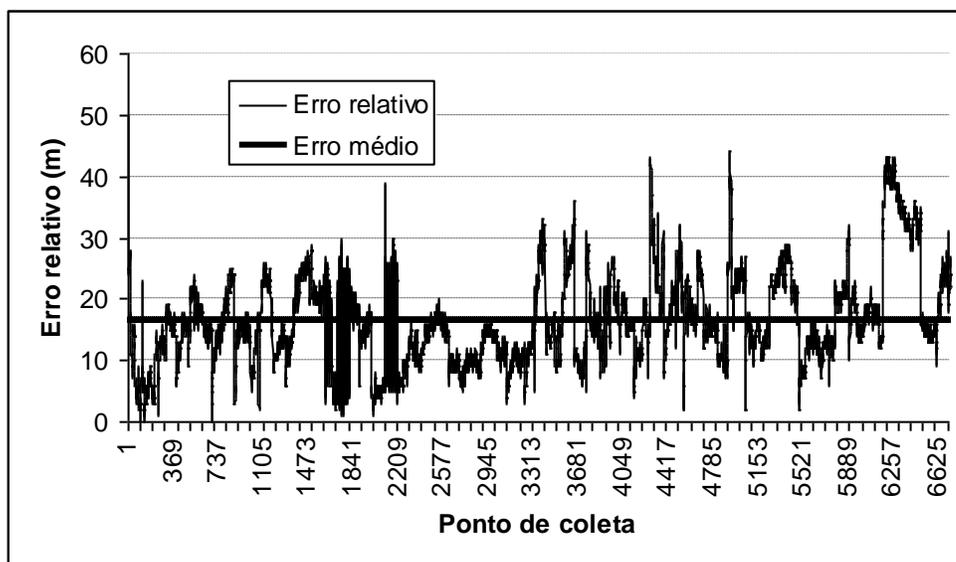


Figura 2. Distribuição do erro relativo de posicionamento entre os pontos coletados com correção diferencial e os pontos coletados sem correção diferencial, após a eliminação de pontos discrepantes.

Numa outra forma de tratar e analisar os dados, foi considerado o interpolador “vizinho mais próximo” que utiliza apenas o ponto mais próximo ao centro de cada célula para a interpolação. Dessa forma há uma busca por pontos dentro de um certo espaço. Depois de interpolados, esses valores foram adotados nas interpolações com o interpolador “inverso da distância ao quadrado”. Os resultados são apresentados na Tabela 2 e observa-se que houve melhora na equivalência entre os mapas após o tratamento dos dados em duas etapas, especialmente para a interpolação inicial em células de 10 m e na segunda etapa, em células de 20 m de lado, onde o coeficiente de correlação chegou a 0,86.

Tabela 2 . Valores de índice de correlação entre a produtividade estimada em cada célula com e sem GPS diferencial, inicialmente com a interpolação pelo método do “vizinho mais próximo” com células de diferentes dimensões e estes valores posteriormente interpolados pelo método “inverso da distância ao quadrado”, também com diferentes tamanhos de células.

Interpolador		Índice de correlação
Primeira fase: “Vizinho mais próximo”	Segunda fase: “Inverso da distância”	
Dimensão da célula		
5	10	0,80
5	20	0,81
10	20	0,86
10	30	0,65

A Figura 3 apresenta os dois mapas compostos pelos dados inicialmente espacializados pela interpolação utilizando o método do “vizinho mais próximo” com células de 10 m de lado e após interpolados pelo método do “inverso da distância ao quadrado” com células de 20 m de lado.

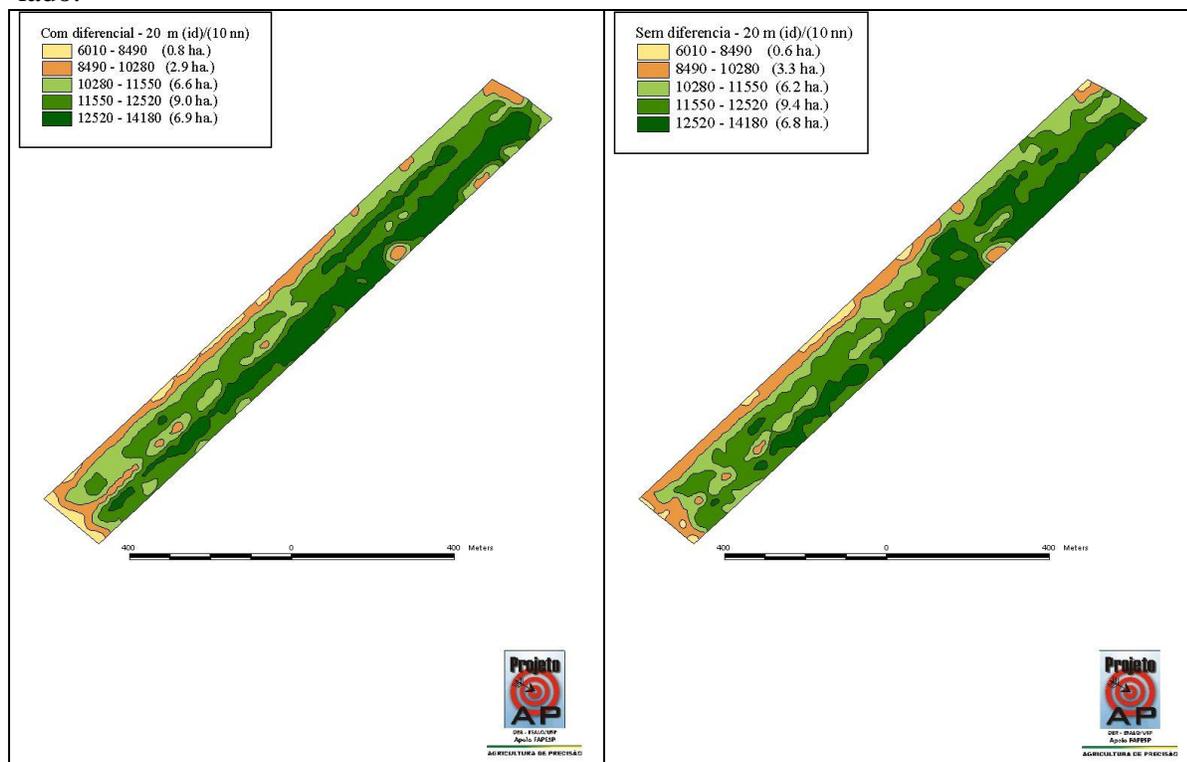


Figura 3. Mapas com interpolação inicial pelo método do “vizinho mais próximo” com células de 10 m de lado e após interpolados pelo método do “inverso da distância ao quadrado” com células de 20 m de lado: esquerda - com correção diferencial; direita – sem correção diferencial.

Observa-se que os dois mapas apresentam bastante semelhança visual. Sob o ponto de vista da definição de unidades de manejo com base nas manchas de produtividade, pode-se inferir sobre tomadas de decisões com base nas evidências de regiões com maior e menor

produtividade sem grandes diferenças entre os dois. Houve erros de posicionamento e esses causam distorções. No entanto, esses erros são sempre locais e essa é uma questão que deve ser ponderada pelos usuários do sistema. A lavoura utilizada nesse estudo é relativamente pequena e com grande variabilidade local, em função de ser uma lavoura em várzea (recentemente) drenada e inserida no processo produtivo. Acredita-se que o método aqui descrito possa ser aplicado em talhões maiores e se o objetivo é detectar as manchas que caracterizam unidades de manejo diferenciado, as evidências indicam que há potencial para a sua utilização. Isso deverá representar uma redução significativa no custo, tanto de investimento quanto operacional, na obtenção de mapas de produtividade. Um receptor de GPS de baixa especificação e sem correção diferencial tem valor de mercado que oscila entre US\$ 250,00 e 600,00 contra os receptores hoje utilizados, com valores da ordem de US \$ 6.000,00 a 7.500,00. Além disso, o sinal diferencial, que no Brasil resume-se a aquele fornecido via satélite por empresas especializadas, tem um custo fixo da ordem de US\$ 1.500,00 por ano, o que também representa uma limitação.

Considerando-se que um equipamento completo para monitoramento de colheita custe US\$ 11.000,00 no mercado local, acrescente-se a ele o custo do receptor de GPS e do sinal diferencial. Na Tabela 3 são apresentados alguns valores indicativos do custo direto por hectare da obtenção de um mapa, considerando apenas o custo de investimento e custo operacional do monitor e do GPS. Para tanto são feitas algumas simplificações, assumindo que a vida útil do equipamento pela sua rápida obsolescência seja de 5 ou de 8 anos e que a colhedora colha 500 ou 800 hectares por ano.

Tabela 3. Alguns valores indicativos do custo direto por hectare da obtenção de um mapa, considerando apenas o custo de investimento e custo operacional do monitor e do GPS, com e sem correção diferencial.

Área colhida por ano	Vida útil do equipamento	Custo direto da obtenção de mapa de produtividade (US \$/ha)		Diferença (%)
		Receptor de alta especificação, com DGPS	Receptor de baixa especificação, sem DGPS	
		500	5	
500	8	7,25	2,88	60
800	5	6,13	2,88	53
800	8	4,53	1,80	60

Observa-se que os valores hoje pagos pelo usuário, são significativos e representam uma grande limitação à adoção do sistema em nosso meio. Com a utilização de receptores de baixa especificação, a informação obtida diminui de qualidade, conforme visto, no entanto o seu custo cai para valores ainda elevados, porem na ordem de 50 a 60% menores.

Com base nos dados obtidos é possível afirmar que o mapa de produtividade obtido com receptor de GPS e sinal diferencial via satélite foi reproduzido com até 86% de correlação utilizando-se um receptor de GPS sem correção diferencial e tratamento específico dos dados com duas etapas de interpolação. O custo direto de obtenção de mapas de produtividade com essa técnica pode ser reduzido em até 60% em relação aos valores de mercado.