

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CONTROLE DO PROCESSO DA IRRIGAÇÃO NO SISTEMA DE ASPERSÃO
CONVENCIONAL EM PALOTINA-PR

JIAM PIRES FRIGO

CASCAVEL – Paraná – Brasil

FEVEREIRO - 2012

JIAM PIRES FRIGO

**CONTROLE DO PROCESSO DA IRRIGAÇÃO NO SISTEMA DE ASPERSÃO
CONVENCIONAL EM PALOTINA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração **Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antônio Vilas Boas

CASCADEL – Paraná - Brasil

FEVEREIRO – 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

F949c Frigo, Jiam Pires
Controle do processo da irrigação no sistema de aspersão convencional em Palotina-PR. / Jiam Pires Frigo — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
43 p. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Antônio Vilas Boas
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Irrigação – Sistema de aspersão convencional. 2. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21. ed. 631.7

ANA MARIA MARTINS ALVES VASCONCELOS ^{1 2 3}.

¹ Revisor de português da monografia em 02-05-2012

² Revisor de inglês da monografia em 02-05-2012

³ Revisor de normas da monografia em 02-05-2012

JIAM PIRES FRIGO

**CONTROLE DO PROCESSO DA IRRIGAÇÃO NO SISTEMA DE ASPERSÃO
CONVENCIONAL EM PALOTINA-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, para aprovação pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antônio Vilas Boas
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR

Prof. Dr. Benedito Martins Gomes
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Eurides Kuster Macedo Junior
Centro de Ciências Agrárias, UNIOESTE

CASCADEL - Paraná - Brasil

FEVEREIRO – 2012

BIOGRAFIA

Brasileiro, nascido no ano de 1982, em Santiago-RS. Graduado (2009) em Engenharia Agrícola pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) *CAMPUS* de Santiago-RS. Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).

*“Algo só é impossível até que alguém
duvide e acabe provando o contrário”.*

Albert Einstein

À minha saudosa avó, Donata, pelos valores a mim ensinados, aos meus pais, Carlos e Terezinha, pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo para conclusão deste trabalho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo incentivo e apoio incondicional, à minha avó (minha segunda mãezinha), aos meus irmãos, Elisandro, Juliana e Jianice Pires Frigo, e a todos os familiares pelo apoio e incentivo aos meus estudos;

À Nandra (minha noiva), pela dedicação, apoio, incentivo e, principalmente, pela compreensão nos momentos de ausência, por não deixar que os sentimentos fossem vencidos pela distância entre os Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, os quais nos separavam;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fornecimento da bolsa de pesquisa;

Ao professor Dr. Márcio Antônio Vilas Boas, pelo apoio, cobranças, orientação, confiança, e pelas longas conversas e histórias contadas, ora como “puxões de orelha”, ora para incentivar ou descontrair o ambiente;

Aos integrantes da banca de aprovação, em especial, os professores Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, Dr. Eurides Kuster Macedo Júnior, pelo tempo dedicado e excelentes contribuições na correção desta dissertação;

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PEGEAGRI), pela possibilidade de realização deste curso;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos transmitidos, em especial aos professores Dr. Silvio César Sampaio, Dr. Benedito Martins Gomes, Dr^a. Simone Damasceno Gomes, Dr. Eloy Lemos de Mello e Dr. Marcio Antônio Vilas Boas, pelos conselhos, incentivo e amizade;

Aos professores e funcionários do Colégio Agrícola Estadual, Adroaldo Augusto Colombo, em Palotina, PR, pela excelente receptividade e apoio durante a realização dos ensaios de irrigação;

A todos os colegas e amigos, que deixo de citar nomes para não cometer injustiças, pois foram muitos e todos tiveram papéis importantes nessa etapa de minha vida;

Aos moradores (família) da república KchoopA, Murilo (Gaveta), Luciano (Soneca), Rodolfo e Michael (Beltrão) pela grande amizade construída;

Finalmente, a todos que possibilitaram a concretização deste trabalho, para conclusão do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

CONTROLE DO PROCESSO DA IRRIGAÇÃO NO SISTEMA DE ASPERSÃO CONVENCIONAL EM PALOTINA-PR

Irrigação por aspersão, método artificial de aplicação de água, supre total ou parcialmente as necessidades hídricas das plantas. Pode ser utilizada em várias culturas, além de ser facilmente adaptada a diferentes tipos de solos e topografias. A irrigação deve ser feita em quantidade e uniformidade satisfatórias, pois é um importante fator a ser considerado na avaliação dos sistemas de irrigação. A maioria das perdas está relacionada com a evaporação direta e arraste pelo vento da água aspergida. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a irrigação noturna e diurna de um sistema por aspersão convencional, utilizando o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), bem como técnicas de controle de qualidade. O experimento foi realizado no Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, em Palotina, PR. Nas irrigações, foram utilizados quatro aspersores Xcel-wobbler, com sistema antideriva nos períodos diurno e noturno. Os parâmetros climáticos foram monitorados durante os ensaios com um anemômetro e um termohigrômetro, ambos digitais e portáteis. O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen foi correlacionado com o índice de capacidade do processo (C_p) e gráficos de controle de Shewhart. Foi possível observar que a irrigação esteve sob controle ao longo do tempo e o melhor desempenho do sistema ocorreu no período noturno. No período entre julho e setembro, o horário a partir das 16 horas mostrou-se como o mais indicado para realizar irrigações por aspersão na localidade de Palotina-PR.

Palavras-Chave: água, vento, coeficiente de Christiansen, Capacidade do processo.

PROCESS CONTROL IN A CONVENTIONAL IRRIGATION SPRINKLER SYSTEM IN PALOTINA-PR

Sprinkler irrigation, an artificial method of water application, supplies the whole or part of water that crops need. It can be used in several crops. Besides, it is easily adapted to different soils and topographies. Irrigation should be carried out according to the right bulk and uniformity, since it is an important factor to be considered when irrigation systems are under evaluation. Most losses are associated to a direct evaporation and wind drift of water. Thus, this study aimed at evaluating daytime and nighttime irrigation of a conventional sprinkler system, using the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC) and quality control techniques. It was carried out at Adroaldo Augusto Colombo, a State Agricultural School in Palotina, Paraná. At the irrigation period, four Xcel-wobbler sprinklers were used, with an anti-drift system during day and nighttime. The weather parameters were recorded during the essays with an anemometer and thermo-hygrometer and both were digital and portable. The Christiansen Uniformity Coefficient was correlated with the process capability index (C_p), and by Shewhart control charts, it was observed that irrigation was under control over time. In sprinkler irrigation, the best performance of the system was registered during the night period. At last, this trial concluded that in Palotina, PR, from July to September, the best period for sprinkler irrigation was up from four o'clock P.M.

Keywords: water, wind, Christiansen coefficient, Process capability.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Irrigação	4
3.2 Irrigação por aspersão	4
3.3 Uniformidade de aplicação de água	5
3.4 Ação do vento, temperatura e umidade relativa	6
3.5 Controle estatístico de Qualidade	7
3.5.1 Gráficos de controle	7
3.5.2 Capacidade do processo	8
4 MATERIAL E MÉTODOS	9
4.1 Local do experimento	9
4.2 Sistema de irrigação avaliado	9
4.2.1 O aspensor	9
4.2.2 Os coletores	10
4.2.3 Instalação dos aspersores	11
4.2.4 Instrumentação dos ensaios	11
4.3 Determinação da Uniformidade de irrigação	12
4.4 Determinação da eficiência do sistema de irrigação por aspersão (<i>Ea</i>)	13
4.5 Análise dos dados	14
4.5.1 Análise descritiva	14
4.5.2 Controle de Qualidade e Capacidade do Processo	14
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	17
5.1 Análise descritiva e inferências clássicas	17
5.1.1 Irrigação diurna	17
5.1.2 Irrigação noturna	21
5.2 Aplicação do Controle Estatístico da Qualidade	26
5.2.1 Gráficos de Controle de Shewhart para medidas individuais	26
5.2.2 Análise da Capacidade do Processo	29
6 CONCLUSÃO	33
7 REFERÊNCIAS	34

ANEXOS.....	37
A-1 DIURNO – Lâminas coletadas nos 30 ensaios.....	38
A-2 NOTURNO – Lâminas coletadas nos 30 ensaios.....	39
A-3 DIURNO - Dados calculados.....	40
A-4 NOTURNO - Dados calculados.....	41
A-5 DIURNO.....	42
A-6 NOTURNO.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Aspersor Xcel-Wobbler utilizado para análise de uniformidade de irrigação diurna e noturna em sistema de irrigação convencional, Palotina, 2011.....	10
Figura 2 Simulação de uniformidade do Xcel-Wobbler HA com bocal M #6, ilustração cedida pela empresa Senninger, 2011.....	10
Figura 3 Copo coletor e proveta para leitura das precipitações.....	11
Figura 4 Croqui do layout do ensaio, coletores e aspersores.....	12
Figura 5 Regressão entre CUC e vento dos ensaios diurnos.....	18
Figura 6 Ensaio com maior lâmina aplicada na irrigação diurna realizada na localidade de Palotina, PR.....	19
Figura 7 Ensaio com menor lâmina aplicada na irrigação diurna realizada na localidade de Palotina, PR.....	19
Figura 8 Dendograma de similaridade entre CUC, CUD e CUE.....	20
Figura 9 Regressão para correlação entre CUC, CUD e CUE.....	21
Figura 10 Ensaio com maior lâmina aplicada na irrigação noturna, realizada na localidade de Palotina, PR.....	23
Figura 11 Ensaio com menor lâmina aplicada na irrigação noturna, realizada na localidade de Palotina, PR.....	23
Figura 12 Dendograma de similaridade entre CUC, CUD e CUE.....	24
Figura 13 Regressão entre CUC, CUD e CUE.....	25
Figura 14 Regressão cúbica entre CUC e vento.....	25
Figura 15 Controle de qualidade para irrigação diurna, considerando: (a) CUC, (b) CUD e (c) CUE.....	26
Figura 16 Controle de qualidade para irrigação noturna, considerando: (a) CUC, (b) CUD e (c) CUE.....	27
Figura 17 Gráfico de controle de Shewhart para CUC noturno x diurno.....	28
Figura 18 Gráfico de controle para CUC e Vento nos períodos diurno e noturno.....	29
Figura 19 Regressão cúbica entre: (a) $CP_i \times E_a$; (b) $CUC \times CP_i$	31
Figura 20 Regressão entre o índice CP_i e vento dos ensaios diurnos.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classificação do Coeficiente de Uniformidade (CUC)	5
Tabela 2 Análise descritiva das variáveis CUC, CUD, CUE, Ea, vento, umidade relativa e temperatura do ar.	17
Tabela 3 Correlação de Pearson para CUC, CUD e CUE.....	20
Tabela 4 Análise descritiva das variáveis CUC, CUD, CUE, Ea, Vento, Umidade relativa e Temperatura do ar.	21
Tabela 5 Relação entre os coeficientes CUC, CUD e CUE das irrigações noturnas.	24
Tabela 6 Índice de capacidade do processo (CP) em relação a variabilidade do CUC, nas irrigações do período diurno e noturno.	30
Tabela 7 Índice de capacidade do processo pelo limite inferior (CPi), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), vento e Eficiência de aspersão (Ea), para diferentes períodos do dia.	30

LISTA DE EQUAÇÕES

CUC	eq. 1	12
CUD	eq. 2	13
CUE	eq. 3	13
Ea	eq. 4	13
PEv + Arraste	eq. 5	13
Ia medida	eq. 6	13
Ia coletada	eq. 7	14
LIC	eq. 8	15
LSC	eq. 9	15
CP	eq. 10	15
CPi	eq. 11	15

1 INTRODUÇÃO

A água, um bem natural que possibilita a vida no Planeta, está a cada dia com menos qualidade, como consequência do aumento da população mundial e da intervenção do homem no ambiente. Os recursos hídricos são cada vez mais afetados negativamente, em quantidade e qualidade, nas reservas disponíveis e na capacidade natural de autodepuração.

A distribuição da água no Mundo é muito desigual e grande parte da população está situada em regiões com carência de água. O Brasil, apesar de possuir uma das maiores reservas de água doce do mundo, o aquífero Guarani, e uma vasta ramificação de rios espalhados pelo País, também tem regiões carentes em água.

A irrigação no Brasil depende de fatores climáticos. No semiárido do Nordeste, a técnica é absolutamente necessária para a realização da agricultura, pois as chuvas são insuficientes para suprir a demanda hídrica das culturas. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a irrigação é considerada complementar, para compensar a irregularidade das chuvas, assim, possibilita de duas a três safras anuais.

O Brasil vem se destacando cada vez mais na produção agrícola mundial, principalmente no setor de grãos. Os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul contribuem com grande parte da produção nacional de grãos, pois contam com solos e clima bastante favoráveis à agricultura.

No passado, a irrigação agrícola foi uma técnica utilizada principalmente para combater a seca. Atualmente, tem sido uma importante estratégia para o aumento da quantidade e qualidade dos alimentos no mundo, além de proporcionar desenvolvimento sustentável no meio rural, gerando empregos e certa estabilidade financeira às famílias, conseqüentemente, há uma redução no êxodo rural.

O novo conceito de irrigação evoluiu de simples aplicação de água na agricultura para um importante instrumento no aumento de produção, produtividade, rentabilidade e diminuição dos riscos de investimento. Porém, dependendo do volume necessário de água, é preciso fazer uso de sistemas de irrigação que possibilitem alta eficiência de uso da água (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2007).

A irrigação por aspersão é um método pelo qual a água é aplicada sobre os solos ou plantas, na forma de chuva artificial. O sistema é bastante utilizado devido à possibilidade de elevada uniformidade de distribuição e por adaptar-se às diversas culturas e solos (ALENCAR, *et al*, 2007). A água é conduzida por condutos fechados que apresentam boa uniformidade de aplicação. O sistema de aspersão convencional caracteriza-se por tubulações móveis de engate rápido ou fixo e enterrado, irrigando normalmente áreas pequenas ou médias (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2007).

O vento, a umidade relativa do ar e a temperatura são parâmetros climáticos que

exercem grande influência na distribuição de água. Ventos com velocidades elevadas proporcionam distribuição pouco eficiente da água na superfície do solo, bem como provocam o desvio das gotas d'água. Baixa umidade relativa e altas temperaturas do ar provocam considerável evaporação durante a operação do sistema, logo, diminuem sua eficiência.

Segundo Playán *et al.*(2006), a combinação dos fatores climáticos complica a avaliação da uniformidade da irrigação. Além disso, a irrigação por aspersão possui alguns cuidados bastante específicos e pertinentes que vão desde a escolha do material para a irrigação até a experiência do profissional que trabalha com o sistema.

Os sistemas de irrigação devem proporcionar aplicação de água uniforme e eficiente, a fim de que satisfaçam às necessidades hídricas para desenvolvimento e rendimento das culturas, bem como minimizem os gastos com energia.

O Governo do Paraná, por meio da COPEL e Secretaria de Agricultura e Abastecimento, lançou o Programa Irrigação Noturna (PIN). O programa é uma linha de crédito que visa fornecer toda instalação elétrica e beneficiar milhares de propriedades rurais com o propósito de diminuir o custo da energia à noite com desconto de até 60% (SEAB, 2010).

Atualmente, os consumidores consideram a qualidade como um aspecto prioritário na aquisição de produtos e serviços. Sendo assim, a melhoria na qualidade e manutenção da irrigação torna-se indispensável, tanto para empresas fornecedoras dos equipamentos como para os produtores.

Para melhorar a qualidade da irrigação, é preciso avaliá-la. O Controle Estatístico de Qualidade e o Índice de Capacidade do Processo são ferramentas que podem ser estudadas para auxiliarem tal procedimento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a irrigação noturna e diurna de um sistema por aspersão convencional, utilizando o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), bem como técnicas de controle de qualidade.

2.2 Objetivos específicos

Determinar a uniformidade de distribuição de água pelo sistema;

Analisar efeitos de vento, temperatura e umidade relativa do ar, na irrigação diurna e noturna;

Determinar, por meio de gráficos de controle, a variabilidade da uniformidade de irrigação;

Comparar e correlacionar o índice de Capacidade do Processo com o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Irrigação

Irrigação é o método artificial de aplicação de água, com a finalidade de suprir total ou suplementarmente as necessidades hídricas das plantas.

O contínuo crescimento da população mundial exige uma agricultura competitiva e tecnificada, que possibilite a produção de alimentos de melhor qualidade e maior quantidade (BERNARDO; SOARES e MANTOVANI, 2008). Gonçalves *et al.* (2006) comentam que o aumento da renda demanda a expansão das áreas de produção agrícola, que podem ser atendidas por meio da ocupação de áreas não cultivadas e aumento da produtividade, através da adoção de tecnologias, como a irrigação.

Segundo Mantovani *et al.* (2007), a agricultura irrigada é uma importante estratégia utilizada para otimização da produção mundial de alimentos, pois proporciona desenvolvimento sustentável no campo bem como gera empregos e renda de forma estável. Atualmente, mais da metade da população mundial é dependente da produção das áreas irrigadas para sua alimentação.

Existem vários métodos de irrigação, dentre eles destaca-se a irrigação por aspersão como um método em que a água é aspergida sobre as plantas ou na subcopa, simulando uma precipitação natural (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI. 2009).

3.2 Irrigação por aspersão

O método pode ser utilizado em várias culturas além de ser facilmente adaptado aos diferentes tipos de solos e terrenos declivosos (MAROUELLI; SILVA; SILVA. 2008).

São vários os tipos utilizados de irrigação por aspersão, dentre eles cabe ressaltar o sistema convencional, pois é o mais utilizado em pequenas e médias propriedades, com vários aspersores que funcionam ao mesmo tempo em uma mesma linha lateral (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI. 2009). Na região de Palotina, PR, o sistema convencional de aspersão é utilizado em pequenas propriedades, principalmente no cultivo de hortaliças, já para grandes culturas, em propriedades maiores, é utilizado o sistema de pivô.

Segundo Biscaro (2009), um sistema de irrigação por aspersão convencional é composto, em geral, por aspersores, acessórios, tubulações (linhas laterais, linhas de derivação, linha principal, linha de recalque, linha de sucção) e conjunto motobomba.

Os sistemas de aspersão convencional são classificados como portátil, semiportátil e fixo, diferenciando-se pelo manejo do sistema no campo. No sistema convencional portátil,

os componentes são deslocados ao longo da área a ser irrigada, o custo inicial é menor, mas requer grande quantidade de mão de obra para as mudanças de posições dentro da área. O sistema fixo aumenta o custo do sistema, mas reduz consideravelmente o uso da mão de obra e permite automatizar o sistema. No sistema semiportátil, as linhas laterais e os aspersores são deslocados dentro da área, enquanto os demais componentes do sistema permanecem fixos (MAROUELLI; SILVA; SILVA. 2008).

Atualmente, a irrigação envolve produtividade e rentabilidade, com eficiência no uso da água, energia, insumos e respeito ao meio ambiente. Baseando-se nesses conceitos, as melhorias nos sistemas modernos de irrigação foram grandes, mas a falta de manejo adequado pode levar tudo a perder, seja pela aplicação de água em excesso ou pela sua falta, antes ou depois do momento adequado em cada fase da cultura (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2007). Sendo assim, deve-se atentar para a uniformidade de distribuição da água, pois é um dos fatores de considerável influência na avaliação da eficiência dos sistemas de irrigação.

3.3 Uniformidade de aplicação de água

A uniformidade de aplicação de água é um importante fator a ser considerado na avaliação dos sistemas de irrigação por aspersão (FARIA *et al.*, 2009).

Os primeiros trabalhos que caracterizaram a uniformidade de aplicação de água por um sistema de irrigação com aspersores rotativos foram propostos por Christiansen, em 1942. Foram considerados os efeitos da pressão de serviço, espaçamento, rotação e velocidade do vento sobre a distribuição da água. Estabeleceu-se, então, o parâmetro conhecido como Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), utilizado até hoje.

O método de Christiansen (CUC) é uma das maneiras mais utilizadas para se medir o coeficiente de uniformidade, o qual expressa a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo em relação à lâmina média aplicada em cada aspersor, por meio de medidas de dispersão expressas na forma adimensional (BERNARDO; SOARES e MANTOVANI, 2008).

Keller (2009) propôs a seguinte classificação para CUC, ao estipular o valor mínimo aceitável para irrigação por aspersão, conforme Tabela 1.

Tabela 1 Classificação do Coeficiente de Uniformidade (CUC)

Classes	Uniformidade (%)
Excelente	> 90
Bom	85 - 90
Mínimo	> 78
Inaceitável	< 78

Fonte: Sprinkle and Trickle Irrigation. KELLER, J. (p. 43, 2009). OBS: CU < 78 aceitável apenas para água residuária

A irrigação desuniforme resulta em área super ou subirrigada, de modo que um sistema com baixa uniformidade de distribuição teria que aplicar mais água na área irrigada; o excesso de água diminui a porosidade do solo e pode reduzir ou causar variabilidade na produção.

A uniformidade de aplicação de água por um sistema de irrigação por aspersão é influenciada não apenas pelas características do sistema, mas também pelas condições climáticas e, principalmente, pela ação do vento (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2007).

3.4 Ação do vento, temperatura e umidade relativa

Nos sistemas de irrigação por aspersão, as perdas de água estão relacionadas principalmente com a evaporação direta e arraste da água aspergida pelo vento. Tarjuelo *et al.*(2000), em estudo realizado em Albacete, Espanha, concluíram que as perdas por evaporação e arraste no período da irrigação foram afetadas por um grande número de fatores diretos (fatores climáticos) e indiretos (pressão, bocais dos aspersores, etc.), que influenciaram a queda da uniformidade de aplicação.

As perdas por evaporação direta são menos drásticas e, segundo Mantovani *et al.* (2007), atingem valores máximos na ordem de 5% nos sistemas de aspersão, em regiões com alta evaporação e presença de ventos que trocam o ar úmido da área irrigada pelo ar seco das áreas externas a irrigação. A irrigação por aspersão é influenciada principalmente pela ação dos ventos (OLIVEIRA, COLOMBO, FARIA, 2009), que provocam a diminuição da uniformidade de aplicação de água pelo arraste das gotas (deriva) e carregam gotículas para fora da área irrigada. Quanto maior for a altura atingida pelo jato de aplicação de água e menor o tamanho das gotas, maior será a quantidade de água perdida (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETTI, 2007).

Playán *et al.*(2005), em Zaragoza, Espanha, ao avaliarem os efeitos do vento na irrigação por aspersão durante períodos diurno e noturno, chegaram a perdas de água em torno de 15,4% durante o dia e 8,5 % durante a noite. Os autores concluíram que as perdas por vento e evaporação são bastante relevantes na irrigação por aspersão, em regiões de ventos fortes, como o local estudado.

Azevedo *et al.*(2000), ao avaliarem diversos fatores sobre a uniformidade de aplicação de água de sistemas convencionais de aspersão, equipados com canhões hidráulicos, concluíram que a velocidade do vento foi o fator que mais influenciou a uniformidade, seguido pela pressão de operação do aspersor. Segundo Dechmi *et al.*(2003), os agricultores devem ter muito cuidado no momento da irrigação, pois ventos acima de $2,1\text{ms}^{-1}$ resultaram em aplicações de água irregular, levando a perdas consideráveis no

rendimento da irrigação com aplicações excessivas de água.

Montazar e Sadeghi (2008), em trabalho realizado no campo com sistema de aspersão equipado com aspersores de impacto, na localidade de Varamin, Irã, verificaram que os parâmetros climáticos (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa) não apresentaram resultados consideráveis quando relacionados à uniformidade de aplicação da água pelos aspersores. Segundo os autores, as mudanças nos coeficientes de uniformidade decorreram das variações das pressões de serviço do sistema de aspersão.

Para Tarjuelo *et al.*(1999), as maiores velocidades de vento implicam em variações no coeficiente de uniformidade, mas a uniformidade da irrigação é menos afetada pela velocidade do vento quando comparada com altas pressões de serviço do sistema.

3.5 Controle estatístico de qualidade

A busca pela melhoria na qualidade de produtos e serviços oferecidos deve ser contínua, concentrada em atitudes que permitam reconhecer problemas e executar ações corretivas. O controle estatístico de qualidade busca atender às expectativas do consumidor. Ele é obtido com a aplicação da ferramenta Controle Estatístico do Processo (CEP), que procura manter variáveis dentro de limites ou padrões pré-estabelecidos.

O CEP é um conjunto de ferramentas para monitoramento da qualidade a fim de que determinado processo se comporte adequadamente, o qual permite tomada de decisões e conclusões, baseadas em dados obtidos anteriormente. Tais dados são chamados de variáveis de entrada e podem ser controláveis, como pressão e vazão, ou não controláveis, como fatores ambientais. A variável de saída é uma medida de qualidade do processo e pode ser mais bem visualizada com os chamados gráficos de controle (MONTGOMERY, 2009).

3.5.1 Gráficos de controle

A utilização dos gráficos estatísticos de controle foi formalmente proposta por Walter Shewhart, em 1920, o qual desenvolveu e aplicou gráficos de controle em operários com pouca instrução (MONTGOMERY, 2009). O gráfico de controle é uma importante técnica para detectar se falta controle em um processo e seu uso sistemático é um importante modo de detectar e reduzir a variabilidade dos produtos (VILAS BOAS, 2005).

O gráfico de controle é uma das principais técnicas do controle estatístico do processo, pois plota as médias das medidas de uma característica de qualidade em amostras do processo em relação ao tempo ou número de amostras. O típico gráfico de

controle possui uma linha central (LC) e limites superior e inferior (LSC e LIC), os quais são obtidos a partir de algumas considerações estatísticas. É uma técnica de monitoramento muito útil, quando fontes não usuais de variabilidade estão presentes (variabilidade de pressão de serviço e perda de carga). Quando as médias amostrais estão plotadas fora dos limites de controle, é um sinal de que investigações do processo devem ser feitas e ações corretivas devem ser tomadas para amenizar fontes não usuais de variabilidade.

O gráfico de controle de Shewhart é uma regra de decisão estatística, tomada com base nas observações de um processo para determinar se a característica de qualidade desejada desviou-se de seu valor alvo ao longo do tempo (MONTGOMERY, 2009).

3.5.2 Capacidade do processo

As técnicas estatísticas podem ser úteis em todo o ciclo da irrigação, inclusive no desenvolvimento de atividades como a montagem do sistema, para quantificar e analisar a variabilidade do processo, em relação às exigências ou especificações do sistema. Também podem auxiliar o desenvolvimento da atividade, eliminando ou reduzindo as causas de variabilidade. Tais atividades recebem o nome de Análise da Capacidade do Processo.

A análise da capacidade de um processo é um estudo de engenharia de qualidade, cujas técnicas de controle estatístico de qualidade foram desenvolvidas para avaliar a variabilidade ao longo do tempo (ciclo) do processo. A análise da capacidade de um processo é uma parte vital de um programa de melhoria da qualidade.

O índice de Capacidade de um Processo é um parâmetro adimensional que indiretamente mede o quanto um processo consegue atender às especificações, assim, quanto maior é seu valor, melhor o processo atende às exigências (MONTGOMERY, 2009).

Em experimento realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em Cascavel, PR, foi diagnosticado que o índice de capacidade do processo mostrou-se capaz de indicar se a irrigação pode ser mantida sob controle, ou seja, se é capaz de manter níveis aceitáveis de uniformidade de aplicação de água (JUSTI *et al.*, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, localizado na linha 5.000; saída para Assis Chateaubriand; rodovia PR 364; zona rural da cidade de Palotina, PR, cujas coordenadas geográficas são 24° 20' 51" de latitude Sul e 53° 45' 14" de longitude Oeste e altitude de aproximadamente 365 m. O período de realização dos testes foi de julho a setembro de 2011.

4.2 Sistema de irrigação avaliado

O sistema de irrigação constituiu-se dos seguintes componentes: bomba Schneider modelo BC-91 SSC, 1 cv de potência, vazão de 2,7 a 7,5 m³h⁻¹, pressão de 120 a 260 kPa; linha adutora 90 m de mangueira preta de polietileno de 1"; duas linhas laterais de PVC para irrigação de 1", da marca comercial AMANCO, espaçadas de 6 m entre si; e conjunto de quatro aspersores com tubos de subida 3/4".

4.2.1 O aspersor

Os aspersores avaliados são da marca SENNINGER, modelo Xcel-Wobbler HA 3/4" M#6 (Figura 1) que, conforme catálogo do fabricante, maximiza a superfície de cobertura. Seu desenho produz um rendimento suave e estável, baixa deriva por vento e perdas por evaporação reduzidas. Sua instalação em campo seguiu as recomendações da NBR ISO 7749-2 (ABNT, 2000). Trabalhavam a uma pressão de serviço de 172 kPa (25 psi - 1,72 bar - 17,5 mca - 1,75 kgf cm⁻²), vazão 0,08 Ls⁻¹ (288 L h⁻¹), raio de alcance 7,01 m, altura do tubo de subida 1,0 m, e para o espaçamento de 6 x 6 m.



Figura 1 Aspersor Xcel-Wobbler utilizado para análise de uniformidade de irrigação diurna e noturna em sistema de irrigação convencional. Palotina, 2011

O sistema pode apresentar coeficiente de uniformidade entre 80% a 90%, conforme simulações realizadas pela empresa (Figura 2).

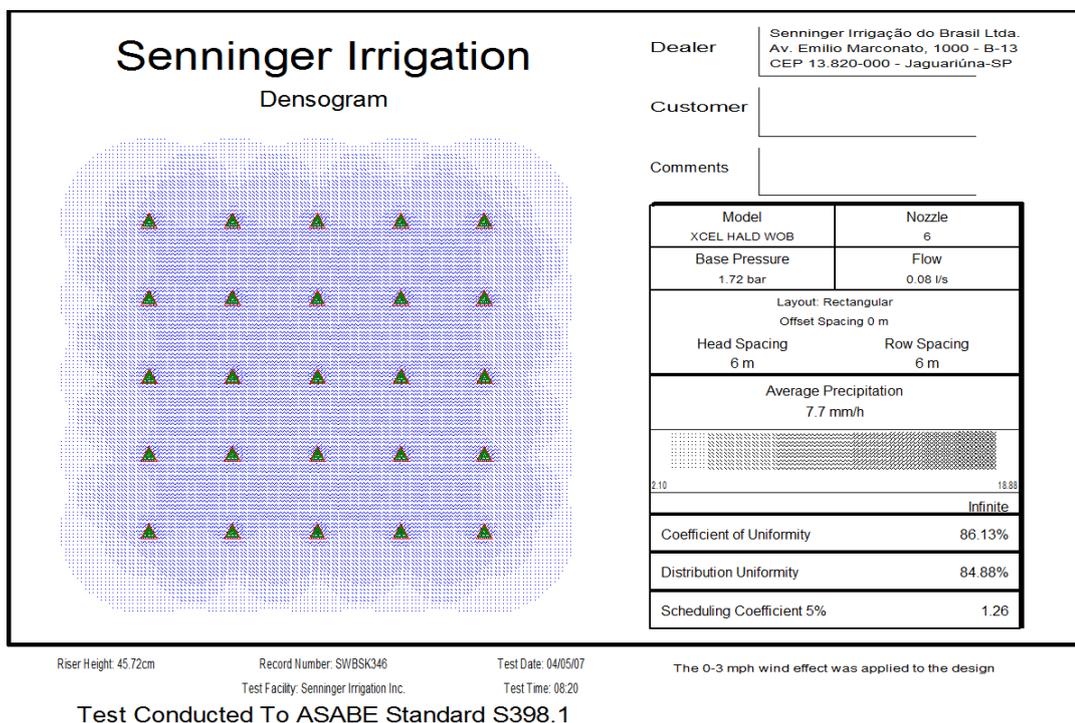


Figura 2 Simulação de uniformidade do Xcel-Wobbler HA com bocal M #6, ilustração cedida pela empresa Senninger, 2011.

4.2.2 Os coletores

Foram utilizados coletores da marca Fabrimar (Figura 3), destinados aos ensaios de uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão. Os coletores para coleta da água possuem diâmetro de 0,08 m, altura de 0,077 m e geram uma capacidade de 0,00038 m³ de volume. Os coletores foram encaixados em hastes de alumínio (varetas cilíndricas), para que fossem fincadas ao solo e sustentar as canecas coletoras, a fim de mantê-las a 0,50 m de altura do solo.

O espaçamento entre os coletores foi de um metro, de acordo com as recomendações da NBR ISO 7749-2 (ABNT, 2000). Para coleta dos dados nos coletores, foi utilizada uma proveta graduada de 100 ml.



Figura 3 Copo coletor e proveta para leitura das precipitações

4.2.3 Instalação dos aspersores

Assim como os demais procedimentos, a instalação dos aspersores em campo seguiu as recomendações da NBR ISO 7749-2 (ABNT, 2000).

4.2.4 Instrumentação dos ensaios

Para atender às recomendações da NBR ISO 7749-2 (ABNT, 2000), a pressão de serviço no experimento foi controlada com o auxílio de manômetros do tipo bourdon, modelo vertical com glicerina, marca comercial HIDROBOMBAS e escala de pressão até 10kgfcm^{-1} (980 kPa – 9,67 atm – 100 mca), instalados na saída da motobomba e no início de cada linha lateral. A velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas *in loco*, com um anemômetro, modelo AD-250, marca INSTRUTHERM, escala em ms^{-1} e um termo-higrômetro, modelo THDL-400, marca INSTRUTHERM, ambos digital e portátil.

O tempo de irrigação para cada ensaio foi de uma hora, conforme recomendação NBR ISO 7749-2 (ABNT, 2000), tanto para o período diurno quanto para o noturno. Para todos os ensaios, a pressão de serviço foi monitorada e adequada às especificações dos aspersores.

Para os ensaios, foi utilizada a disposição dos sistemas de irrigação por aspersão mais comumente encontrada nas propriedades rurais, que fazem uso de emissores linearmente instalados em linhas laterais, dispostos em uma forma quadrada.

Os procedimentos de ensaios foram definidos de acordo com a NBR ISO 7749-2 (ABNT, 2000), que recomenda colocar os coletores a distâncias idênticas ao longo do raio, com ponto de origem no local em que o aspersor é montado (Figura 4).

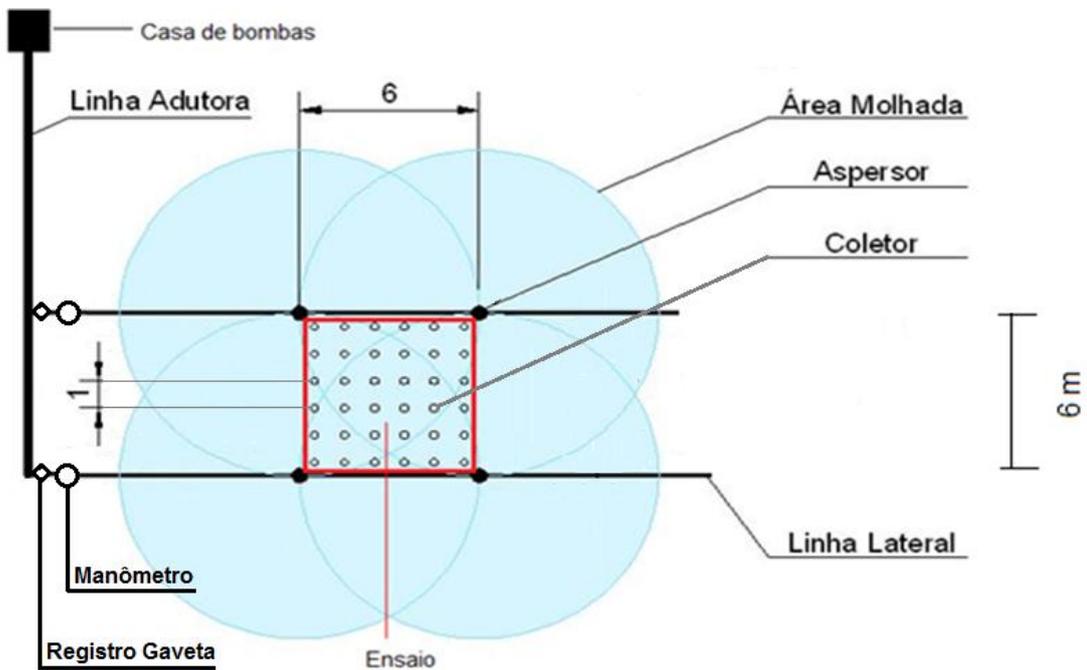


Figura 4 Croqui do layout do ensaio, coletores e aspersores.

4.3 Determinação da uniformidade de irrigação

Para avaliação do sistema foram calculados os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) eq.(1), de Distribuição (CUD) eq.(2) e de Uniformidade Estatístico (CUE) eq.(3).

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}}\right) 100 \quad \text{eq. 1}$$

Em que:

CUC : Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, (%);

x_i : Precipitação no coletor de ordem i , (mm);

\bar{x} : Média aritmética das precipitações, (mm);

n : Número de coletores na área experimental.

$$CUD = \frac{\bar{x}_{25}}{\bar{x}} 100 \quad \text{eq. 2}$$

Em que:

CUD : Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, (%);

\bar{x}_{25} : Valor médio de 25% das menores precipitações coletadas, (mm);

\bar{x} : Média aritmética considerando todas as precipitações, (mm);

$$CUE = \left(1 - \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)\bar{x}^2}} \right) 100 \quad \text{eq. 3}$$

Em que:

CUE : Coeficiente de Uniformidade Estatístico, (%);

x_i : Precipitação no coletor de ordem i, (mm);

\bar{x} : Média aritmética das precipitações, (mm);

n : Número de coletores na área experimental.

4.4 Determinação da eficiência do sistema de irrigação por aspersão (Ea)

A eficiência de irrigação leva em consideração as perdas por evaporação e arraste pelo vento. Seu cálculo foi determinado pelas seguintes equações:

$$Ea = E1E2 \quad \text{eq. 4}$$

Em que:

Ea: Eficiência de aplicação (%);

E1: Eficiência de aplicação \cong CUC (%);

E2: Eficiência durante aplicação = $1 - P_{Ev+Arraste}$ (%).

$$P_{Ev+Arraste} = 100 \left(\frac{Ia_{medida} - Ia_{coletada}}{Ia_{medida}} \right) \quad \text{eq. 5}$$

Em que:

($P_{Ev+Arraste}$): Perdas por evaporação e arraste pelo vento (%);

Ia_{medida} : Intensidade de aplicação do aspersor (mm h^{-1});

$Ia_{coletada}$: Intensidade recebida pelos copos coletores (mm h^{-1}).

$$Ia_{medida} = t \left(\frac{Qa}{A} \right) \quad \text{eq. 6}$$

Em que:

Ia_{medida} : Intensidade de aplicação medida ($mm\ s^{-1}$);

t: Tempo de duração do ensaio (s);

Qa : Vazão do aspersor ($L\ s^{-1}$);

A: Área delimitada do ensaio (m^2).

$$Ia_{coletada} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i|}{n} \quad \text{eq. 7}$$

Em que:

$Ia_{coletada}$: Intensidade média coletada (mm);

$\sum_{i=1}^n |X_i|$: Somatório da medida em cada coletor (mm);

n: Número de coletores na área de ensaio.

4.5 Análise dos dados

4.5.1 Análise descritiva

As estatísticas e métodos utilizados nas análises foram: Diagrama de dispersão, medidas de posição, medidas de dispersão e medidas de formas.

Foram aplicados testes de normalidade de Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov, análises de regressão linear e cúbica, bem como a confecção de mapas temáticos de superfície. Para as análises estatísticas e a confecção dos mapas, foram utilizados os programas Minitab (*Licensing 16.1.1-Language English*) e Surfer (*Licensing 10.0.500-Language English*) respectivamente.

4.5.2 Controle de qualidade e capacidade do processo

O gráfico de Controle de Shewhart individual foi utilizado para avaliar se as irrigações testadas ficaram em conformidade com as especificações do projeto bem como seu comportamento ao longo do tempo.

Os limites inferior e superior dos gráficos de Controle de Shewhart para medidas individuais foram calculados a partir das equações 8 e 9, respectivamente.

$$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad \text{eq. 8}$$

$$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad \text{eq. 9}$$

Em que:

LIC : Limite inferior de controle;

LSC : Limite superior de controle;

\bar{x} : Média dos dados;

\overline{MR} : Média da amplitude móvel dos dados;

d_2 : Constante quando usada uma amplitude móvel de $n=2$ observações ($d_2 = 1,128$) (MONTGOMERY, 2009).

Para a avaliação da Capacidade do Processo, utilizou-se a metodologia proposta por Montgomery (2009), em que se calcula o Índice de Capacidade (C_p), considerando o processo estável e que a variável de interesse apresente distribuição próxima da normal.

O índice de capacidade do processo é expresso pela equação 10:

$$C_p = \frac{LSC-LIC}{6\sigma} \quad \text{eq. 10}$$

Em que:

C_p : Índice de capacidade do processo;

LSC : Limite superior de controle;

LIC : Limite inferior de controle;

σ : Desvio padrão populacional da variável em estudo, como é geralmente desconhecido, é comumente substituído por uma estimativa, tipicamente utilizado o desvio padrão amostral s .

O C_{pi} (Capacidade do Processo pelo Limite inferior) é dado pela equação 11.

$$C_{pi} = \frac{\bar{x}-LIC}{3\sigma} \quad \text{eq. 11}$$

Em que:

C_{pi} : Índice de capacidade do processo pelo limite inferior;

\bar{x} : Média dos dados;

LIC : Limite inferior de controle;

σ : Desvio padrão populacional da variável em estudo, como é geralmente

desconhecido, é comumente substituído por uma estimativa, tipicamente utilizado o desvio padrão amostral s .

Segundo Montgomery (2009), para processos novos e Especificações Unilaterais, a classificação do processo se faz da seguinte forma: $C_{Pi} \geq 1,60$, o processo é capaz ou adequado segundo as especificações; $1 \leq C_{Pi} < 1,60$, o processo é aceitável; $C_{Pi} < 1$, o processo é incapaz ou inadequado. A definição de C_p assume implicitamente que o processo está centrado no valor nominal da especificação. Se o processo não estiver centrado, sua capacidade real será menor do que a indicada por C_{Pi} .

As variáveis climáticas sofrem oscilações durante o dia e a noite. Assim, neste trabalho foi realizada uma investigação do comportamento do sistema de irrigação por aspersão convencional quando os períodos das irrigações são estratificados por horários. Portanto, no período de coleta do experimento (28/07/2011 a 20/09/2011), os 60 ensaios foram classificados como noturno e diurno. As irrigações realizadas entre 20h e 6h foram consideradas em período noturno, o período diurno, em virtude de uma maior variabilidade dos fatores climáticos, foi dividido em três horários: das 6h às 12h; das 12h às 16h e das 16h às 20h.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Nas Tabelas A1 a A6 do Anexo, encontram-se os dados e resultados das análises realizadas neste trabalho.

5.1 Análise descritiva e inferências clássicas

5.1.1 Irrigação diurna

Na Tabela 2 apresenta-se a estatística descritiva, em que foram calculados a média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo para Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), Eficiência dos Aspersores (Ea), velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar. Na Tabela 2 também consta o p-valor referente aos testes de normalidade de Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov, todos a 5% de significância. Observa-se que todas as variáveis apresentaram distribuição normal em pelo menos um dos testes, com exceção da temperatura que já era esperado, pois dependendo do dia, as variáveis climáticas podem sofrer variações considerando desde as primeiras horas do dia até o final de tarde.

Tabela 2 Análise descritiva das variáveis CUC, CUD, CUE, Ea, vento, umidade relativa e temperatura do ar.

Análise de 30 ensaios	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	Ea (%)	Vento (m s ⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)
Norma para os coeficientes	78,00	65,00	78,00	-	-	-	-
Máximo	92,24	88,64	88,97	86,62	4,30	79,40	33,70
Mínimo	74,60	56,58	68,46	28,31	0,00	20,80	11,00
Média	86,67	78,84	82,92	62,67	2,18	48,05	26,04
Desvio Padrão	4,64	7,30	5,02	16,70	1,26	18,46	6,06
Variância	21,51	53,24	25,20	278,76	1,58	340,79	36,70
Coeficiente de Variação	5,35	9,26	6,05	26,64	57,50	38,42	23,26
Teste de Normalidade p-valor							
Anderson-Darling	0,012	0,199*	0,052*	0,054*	0,126*	0,074*	0,005
Ryan Joiner	0,024	0,047	0,034	0,100*	0,100*	0,100*	0,010
Kolmogorov-Smirnov	0,108*	0,150*	0,092*	0,042	0,087*	0,150*	0,048

* Não rejeita a 5% de significância

Na Tabela 2, observando os valores de desvio padrão e variância pode-se observar que houve certa dispersão dos dados em algumas variáveis. O coeficiente de variação (CV), que vai de um mínimo de 5,4% a um máximo de 57,5%, indica que os dados vão de uma variação baixa a muito alta. De acordo com Pimentel Gomes (2000), os coeficientes de variação comumente obtidos nos experimentos de campo podem ser considerados baixos, se inferiores a 10%; médios, quando de 10 a 20%; considerados elevados, quando variam de 20 a 30% e muito altos, se superiores a 30%.

Justi *et al.*(2010), em um estudo de controle de qualidade em irrigação por aspersão em Cascavel, PR, observaram em uma análise de regressão linear ($R^2 = 83,6\%$) que houve tendência do CUC diminuir com o aumento da velocidade do vento, consequentemente, pode-se comprovar que um parâmetro aumenta em função do decréscimo do outro.

Neste trabalho também foi obtida uma correlação negativa entre CUC e velocidade do vento, ou seja, o CUC diminuiu à medida que a velocidade do vento aumentou.

Nas análises do presente trabalho foi encontrado um coeficiente de determinação $R^2 = 66,0\%$, mas quando testado o método de regressão cúbica, obteve-se um coeficiente de determinação $R^2 = 70,6\%$ (Figura 5), concordando com Yacoubi *et al.*(2010), que a melhor regressão entre CUC e velocidade de vento foi obtida com polinômios de terceiro grau.

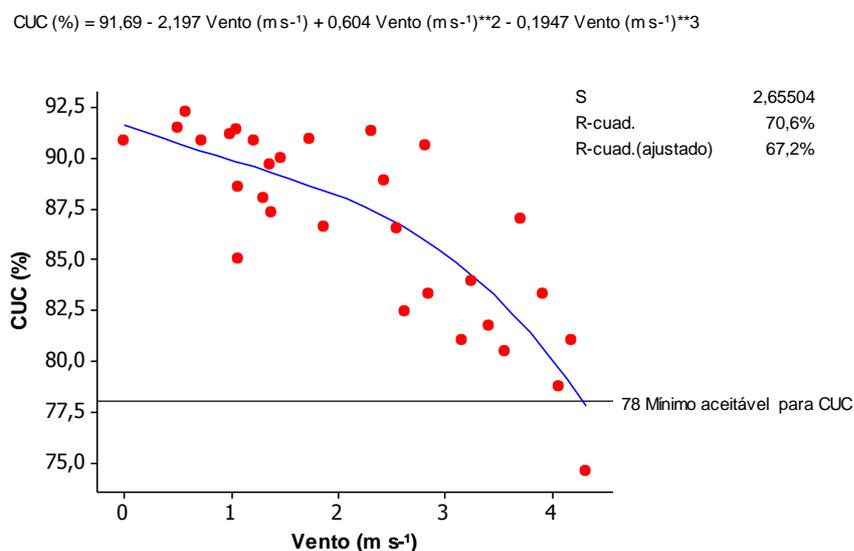


Figura 5 Regressão entre CUC e vento dos ensaios diurnos.

Os valores médios para CUC, CUD e CUE foram 86,7%, 78,8% e 82,8%, respectivamente; todos acima dos valores considerados mínimos em aspersão, conforme Keller e Bliesner (2009). A velocidade média do vento foi de $2,2 \text{ m s}^{-1}$, mas chegou a valores máximos de $4,3 \text{ m s}^{-1}$.

Nas irrigações diurnas, verificou-se que os valores máximos de CUC (92,2%), CUD (88,6%) e CUE (89,0%) ocorreram quando a velocidade do vento esteve abaixo de $1,0 \text{ m s}^{-1}$. Os valores mínimos para CUC (74,6%), CUD (56,6%) e CUE (68,5%) foram constatados quando houve ventos próximos de $4,3 \text{ m s}^{-1}$.

As constatações evidenciam que o vento é uma das variáveis climáticas que mais influencia na irrigação por aspersão, conforme verificado por Oliveira, *et al.*(2009).

Yacoubi *et al.*(2010) obtiveram em estudo na região da Tunísia, com a pressão estável em 300 kPa, os menores valores de CUC (65%) quando a velocidade do vento ficou acima de $4,0 \text{ m s}^{-1}$. Os maiores valores de CUC (81%) ocorreram quando o vento estava próximo de $1,7 \text{ m s}^{-1}$.

Nas irrigações diurnas deste experimento, o efeito da velocidade do vento pode ser visualizado pelas Figuras 6 e 7.

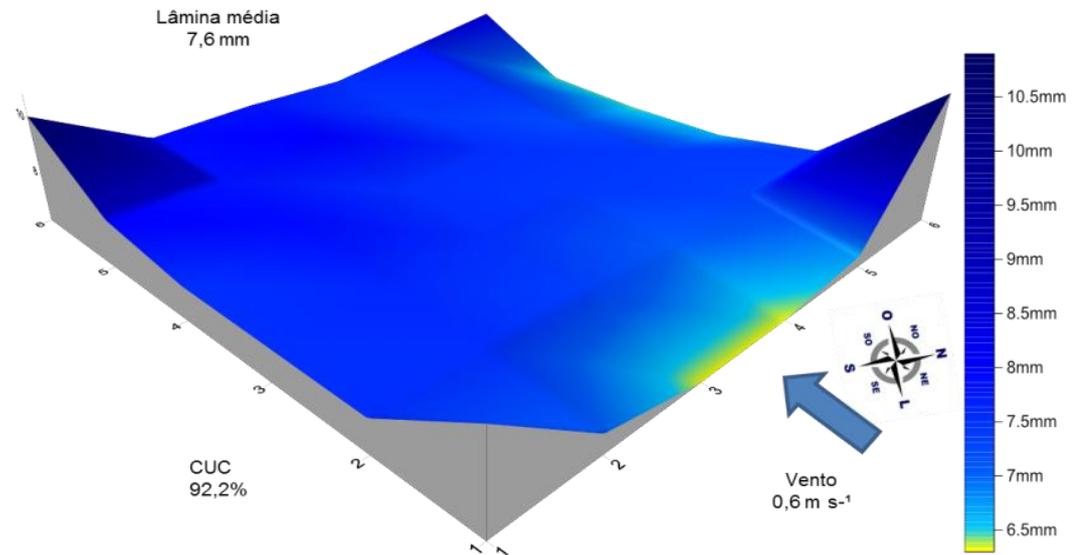


Figura 6 Ensaio com maior lâmina aplicada na irrigação diurna realizada na localidade de Palotina, PR.

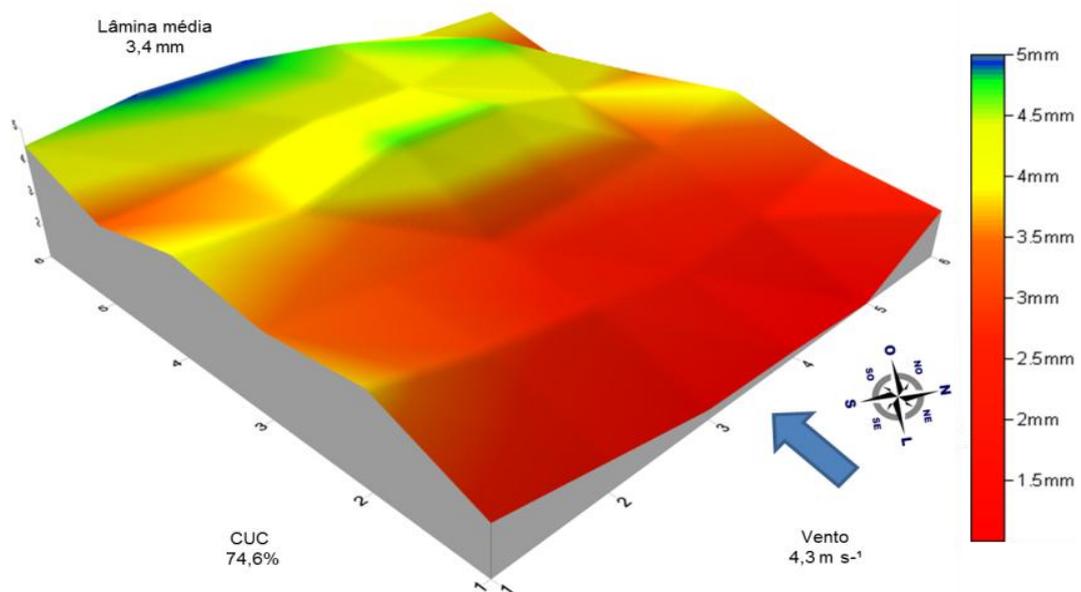


Figura 7 Ensaio com menor lâmina aplicada na irrigação diurna realizada na localidade de Palotina, PR.

Quando a velocidade do vento atingiu valores menores que 1 m s^{-1} , a lâmina média de irrigação nos coletores foi de 7,6 mm (Figura 6), muito próxima da lâmina simulada pela empresa fornecedora dos aspersores que é de 7,7 mm (Figura 2). Quando houve ventos acima de 4 m s^{-1} , a lâmina de irrigação diminuiu aproximadamente 45%, cuja média foi de 3,4 mm (Figura 7).

Em relação ao CUC, quando a velocidade do vento se elevou de $0,6 \text{ m s}^{-1}$ para $4,3 \text{ m s}^{-1}$, ocorreu uma queda de 17,6%, cujo resultado foi o decréscimo dos valores de CUC

de 92,2% para 74,6%. Estes valores estão abaixo do limite mínimo indicado por Keller e Bliesner (2009) para irrigação por aspersão (CUC > 78%).

Na Figura 8, pode ser observado que os coeficientes CUC e CUE são similares em aproximadamente 97,92%. Quando os dois coeficientes foram comparados com o CUD, verificou-se a relação de 97,77% de similaridade, ou seja, alta correlação positiva.

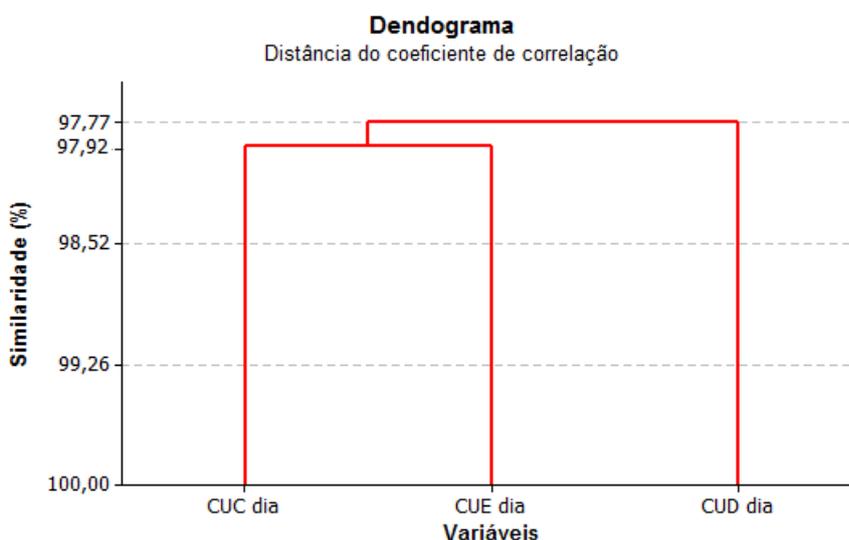


Figura 8 Dendograma de similaridade entre CUC, CUD e CUE

Foi possível observar tal semelhança pela correlação de Pearson (Tabela 3), em que foi obtido um índice de correlação forte ($r > 0,90$), com nível de significância de 5%.

Tabela 3 Correlação de Pearson para CUC, CUD e CUE.

Correlação de Pearson p-valor		
	CUC (%)	CUD (%)
CUD (%)	0,955 *	
CUE (%)	0,958 *	0,925 *

* Significativo a 5%

A relação entre os coeficientes CUC, CUD e CUE também foi observada neste experimento, pois um parâmetro aumenta em função do outro.

Foi testada a regressão linear, obtendo coeficientes de determinação $R^2 = 91,3\%$ entre CUC e CUD, para CUC e CUE $R^2 = 91,8\%$, os quais podem ser observados na Figura 9.

Bernardo (2008) afirma a existência de uma relação entre as três equações CUC, CUD e CUE, que normalmente são usadas para avaliação da irrigação por aspersão.

No presente trabalho, a relação encontrada pode ser obtida conforme as expressões: $CUD (\%) = - 51,45 + 1,503 CUC (\%)$ e $CUE (\%) = - 6,979 + 1,037 CUC (\%)$.

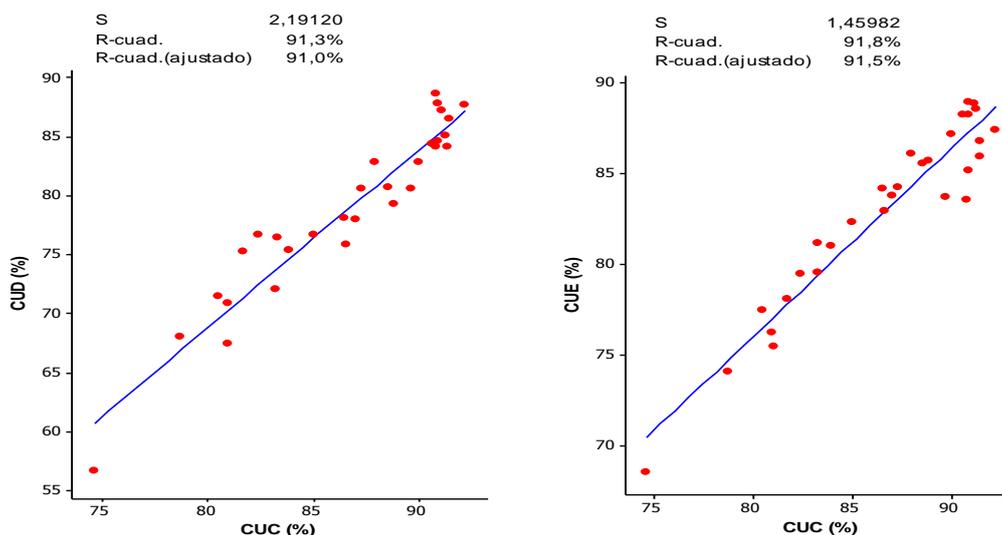


Figura 9 Regressão para correlação entre CUC, CUD e CUE.

5.1.2 Irrigação noturna

Na Tabela 4, apresenta-se a estatística descritiva, em que foram calculados a média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, valores de máximo e mínimo para Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), Eficiência dos aspersores (Ea), velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar. Na Tabela 4 também consta o p-valor referente aos testes de Normalidade de Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov, todos a 5% de significância.

Tabela 4 Análise descritiva das variáveis CUC, CUD, CUE, Ea, Vento, Umidade relativa e Temperatura do ar

Análises	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	Ea (%)	Vento (m.s ⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Temperatura (°C)
Padrão para os coeficientes	78,00	65,00	78,00
Mínimo	86,32	76,99	83,44	67,49	0,00	33,83	13,60
Máximo	93,73	90,69	89,82	88,80	2,47	90,02	27,62
Média	90,55	85,13	86,54	81,18	0,91	64,91	20,55
Desvio Padrão	1,56	3,07	1,40	4,61	0,64	14,17	3,38
Variância	2,42	9,45	1,95	21,21	0,41	200,70	11,44
Coeficiente de Variação	1,72	3,61	1,61	5,67	69,80	21,82	16,46
Teste de Normalidade p-valor							
Anderson-Darling	0,362*	0,294*	0,007	0,395*	0,165*	0,913*	0,402*
Ryan Joiner	0,100*	0,100*	0,037	0,100*	0,100*	0,100*	0,100*
Kolmogorov-Smirnov	0,150*	0,150*	0,032	0,150*	0,150*	0,150*	0,150*

* Não rejeita a 5% de significância

Todas as variáveis apresentaram distribuição normal em pelo menos um dos testes,

com exceção do CUE (Tabela 4). Ao serem observados os desvios padrão e as variâncias amostrais, pode-se perceber a pequena variabilidade dos dados na irrigação noturna, exceto para umidade relativa do ar, a qual apresentou maior dispersão dos dados quando comparada às demais variáveis.

O coeficiente de variação (CV) mínimo foi de 1,6% a um máximo de 14,2%, indicando que os dados vão de baixa a média variação, de acordo com a classificação de Pimentel Gomes (2000).

Os valores médios de CUC, CUD e CUE foram 90,6%, 85,1% e 86,5%, respectivamente. Em média, os valores ficaram bem acima dos considerados mínimos em aspersão, conforme Keller e Bliesner (2009) sugerem. A velocidade média do vento foi de $0,9 \text{ m s}^{-1}$, todavia, os valores máximos chegaram a $2,5 \text{ m s}^{-1}$.

Playán *et al.* (2005), em estudo realizado em uma região de ventos fortes, em Zaragoza, Espanha, avaliaram os efeitos de vento em irrigação por aspersão durante os períodos diurno e noturno, e concluíram que as perdas durante as irrigações noturnas são bem menores quando comparadas às irrigações no período diurno.

Nas irrigações noturnas, verificou-se que os valores máximos de CUC (93,7%), CUD (90,7%) e CUE (89,8%) ocorreram quando a velocidade do vento esteve abaixo de $1,0 \text{ m s}^{-1}$. Os valores mínimos para CUC (74,6%), CUD (56,6%) e CUE (68,5%) foram constatados quando a velocidade do vento esteve muito próxima de $0,0 \text{ m s}^{-1}$.

O valor mínimo para E_a (67,5%), obtido nas irrigações noturnas, aproxima-se do valor médio do mesmo parâmetro analisado nas irrigações do período diurno, E_a (62,7%).

As constatações proporcionam a possibilidade de caracterizar o comportamento do vento durante o trabalho realizado, o qual se apresentou com maior incidência no período diurno, velocidade média ($2,2 \text{ m s}^{-1}$). Porém, no período noturno, a velocidade média do vento foi de $0,9 \text{ m s}^{-1}$.

O efeito da velocidade do vento nas irrigações noturnas para este experimento pode ser visualizado nas Figuras 10 e 11, as quais apresentam o comportamento da lâmina de água aplicada em função da velocidade e da direção do vento.

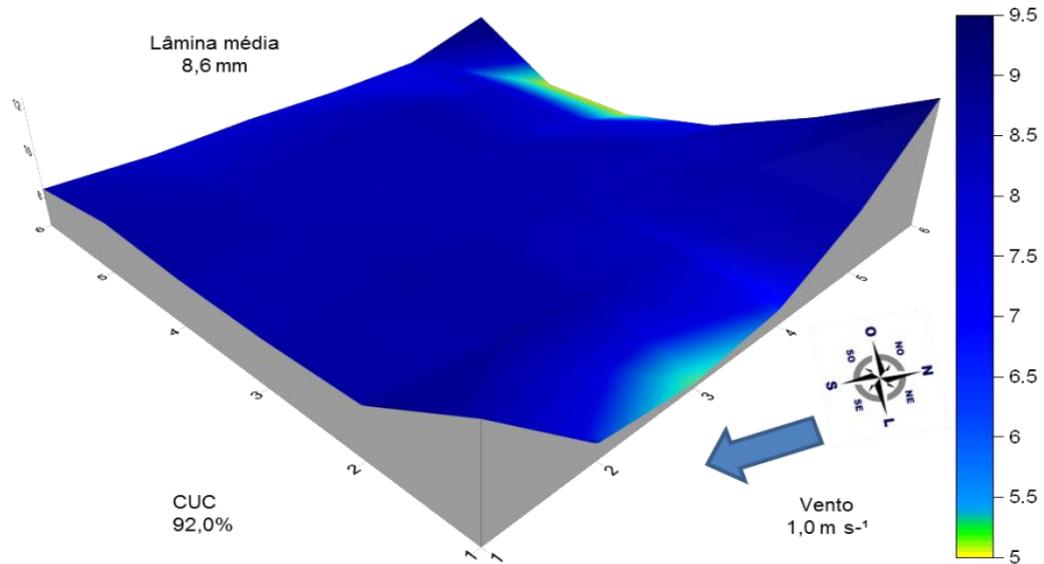


Figura 10 Ensaio com maior lâmina aplicada na irrigação noturna, realizada na localidade de Palotina, PR.

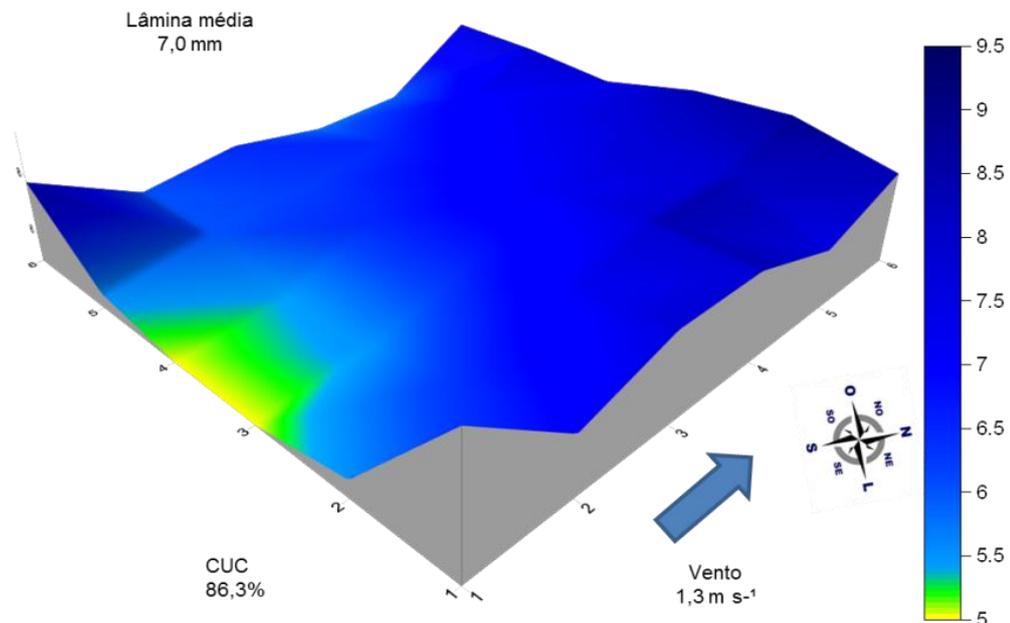


Figura 11 Ensaio com menor lâmina aplicada na irrigação noturna, realizada na localidade de Palotina, PR.

Quando a velocidade do vento atingiu valores menores que 1 m s^{-1} , a lâmina média de irrigação nos coletores foi de 8,6 mm, superior à lâmina simulada pela empresa fornecedora dos aspersores, que foi de 7,7 mm (Figura 10).

Para CUC, ocorreu uma queda de 5,7% quando a velocidade do vento se elevou de $1,0 \text{ m s}^{-1}$ para $1,3 \text{ m s}^{-1}$, o qual passou de 92,0% para 86,3%. Ainda assim, o valor ficou acima de 78%, limite mínimo indicado por Keller e Bliesner (2009) para irrigação por aspersão.

Na Figura 12, pode ser observado que os coeficientes CUC e CUD são semelhantes

em aproximadamente 95,03%. Quando os dois coeficientes foram comparados com o CUE verificou-se que houve uma relação de 89,29% de similaridade, considerada alta correlação positiva.

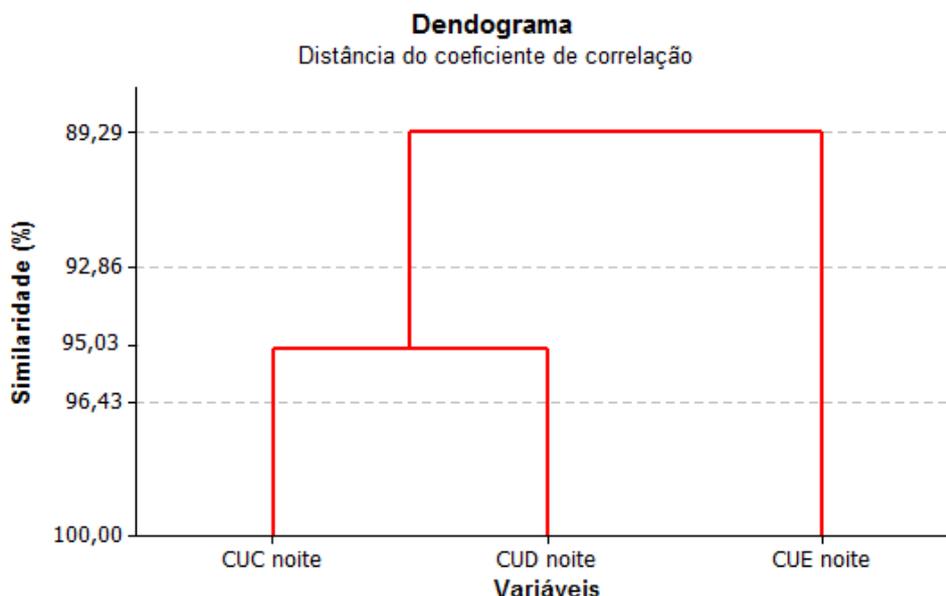


Figura 12 Dendograma de similaridade entre CUC, CUD e CUE.

Foi possível observar tal semelhança pela correlação de Pearson (Tabela 5), em que foi obtido um índice de correlação forte ($r > 0,90$) com nível de significância de 5% quando correlacionados os seguintes coeficientes: CUC e CUD, e CUC e CUE ($r > 60$).

Tabela 5 Relação entre os coeficientes CUC, CUD e CUE para as irrigações noturnas.

Correlação de Pearson p-valor		
	CUC (%)	CUD (%)
CUD (%)	0,901 *	
CUE (%)	0,786 *	0,634 *

* Significativo a 5%

A relação entre os coeficientes CUC, CUD e CUE foi observada nas irrigações noturnas deste experimento, pois um parâmetro aumenta em função do outro.

Foi testada regressão linear, obtendo coeficiente de determinação $R^2 = 81,1\%$ entre CUC e CUD, para CUC e CUE, $R^2 = 61,8\%$, os quais podem ser observados na Figura 13.

No presente trabalho, a relação encontrada pode ser obtida conforme as expressões: $CUD (\%) = - 75,90 + 1,778 CUC (\%)$ e $CUE (\%) = 22,74 + 0,7045 CUC (\%)$.

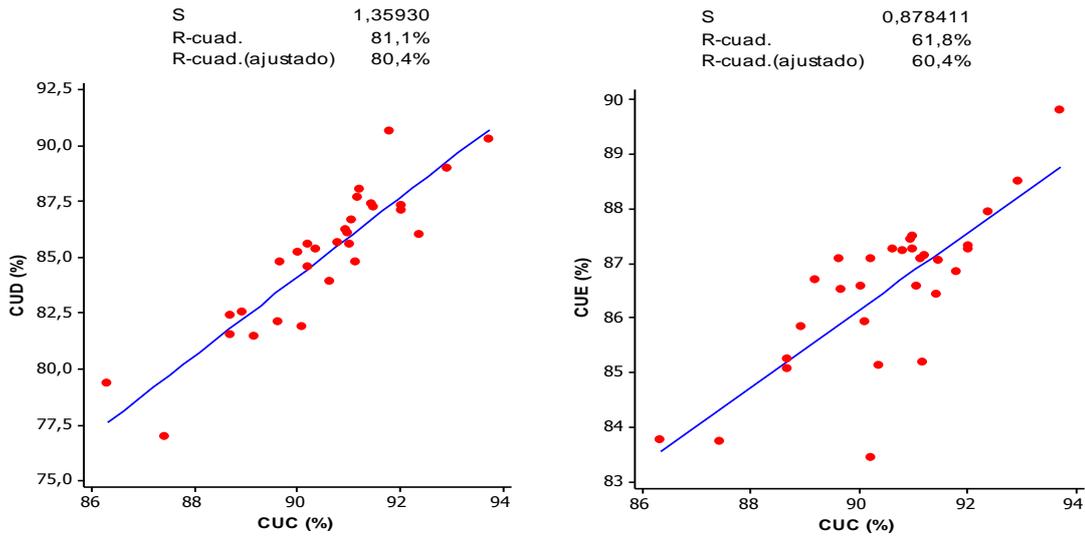


Figura 13 Regressão entre CUC, CUD e CUE.

Yacoubi *et al.*(2010) relatam que a melhor regressão entre CUC e a velocidade do vento é obtida com polinômios de terceiro grau. Nas irrigações do período noturno não foi encontrado tal resultado, pois por regressão cúbica, apenas 39,7 % da variação de CUC são explicados pela ação do vento, conforme Figura 14.

$$CUC (\%) = 91,88 + 0,057 \text{ Vento (m s-1)} - 2,742 \text{ Vento (m s-1)**2} + 0,9774 \text{ Vento (m s-1)**3.}$$

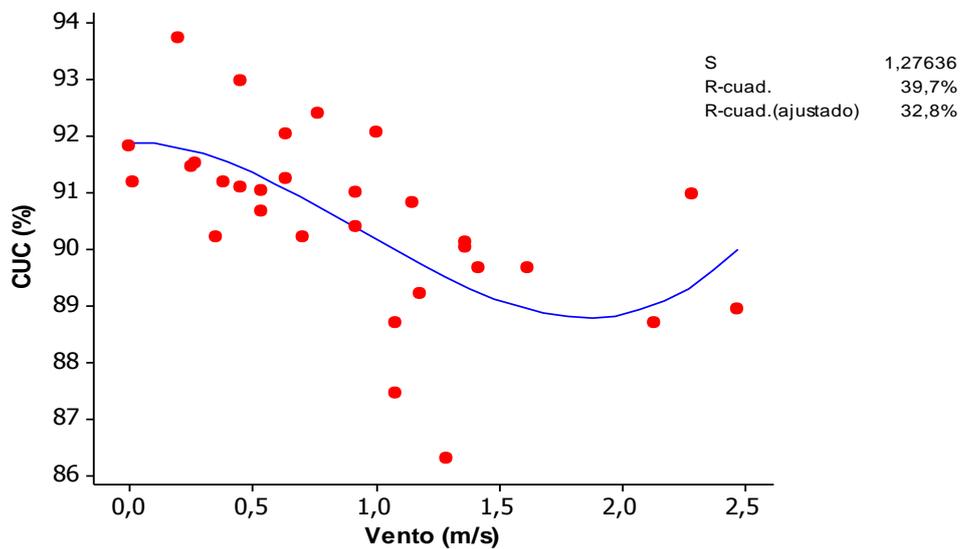


Figura 14 Regressão cúbica entre CUC e vento.

5.2 Aplicação do controle estatístico da qualidade

5.2.1 Gráficos de controle de Shewhart para medidas individuais

Na Figura 15 foi apresentada a tendência do sistema de irrigação ao longo de 30 ensaios no período diurno. Observou-se que todos os ensaios apresentaram CUC, CUD e CUE, dentro dos limites de controle, com exceção do ensaio 22 (CUC 74,6%, CUD 56,58% e CUE 68,46%), que apresentou valores fora dos limites inferiores calculados para todos os coeficientes (CUC 76,8%, CUD 62,86% e CUE 71,99%), bem como menor que o limite mínimo indicado por Keller e Bliesner (2009), para a irrigação por aspersão (CUC > 78,0% e CUD > 65,0%).

Para Figura 15 c, os ensaios 22 e 23 ficaram plotados fora do limite inferior mínimo aceitável para irrigação por aspersão segundo Wilcox e Swailes (1947), citados por Rocha *et al.* (1999) (CUE > 75%). Assim, evidencia-se o efeito das variáveis climáticas sobre os coeficientes de avaliação da irrigação por aspersão.

O motivo dos ensaios apresentarem resultados abaixo dos limites indicados como mínimos pode ser atribuído a diversos fatores, como a presença de variáveis climáticas, principalmente a velocidade do vento. No ensaio 22, foi observado o valor mais elevado para velocidade do vento no experimento ($4,3 \text{ m s}^{-1}$), comprovando a influência do vento na irrigação por aspersão convencional.

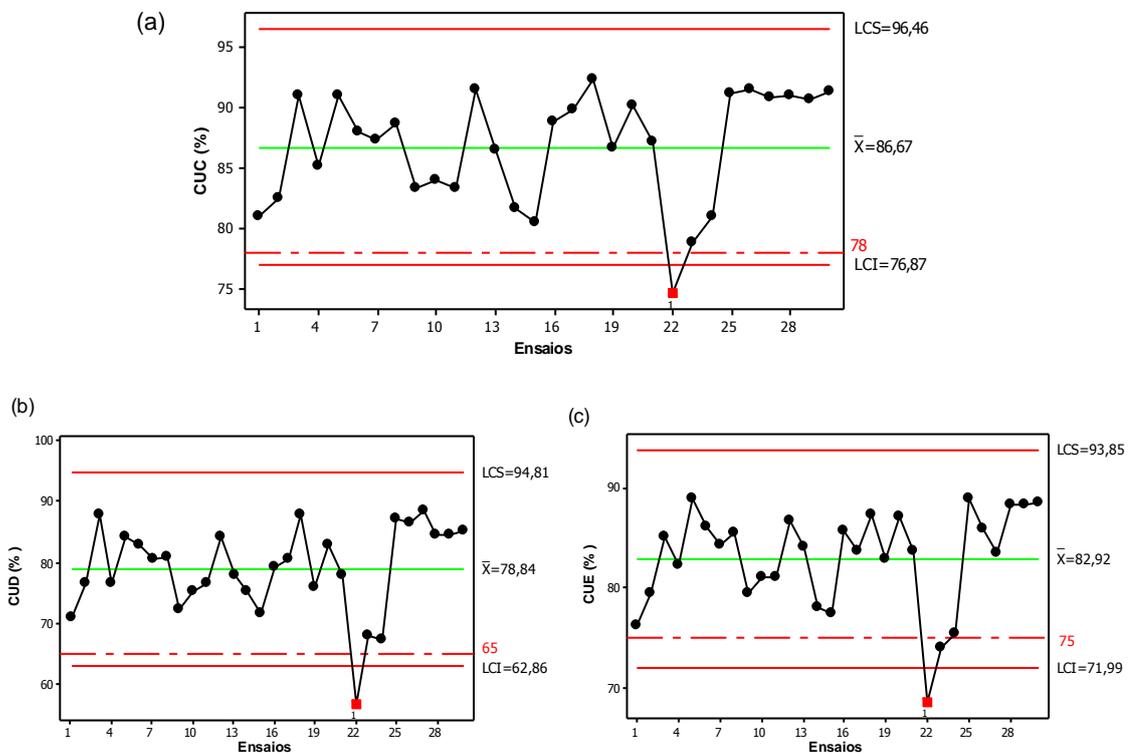


Figura 15 Controle de qualidade para irrigação diurna, considerando: (a) CUC, (b) CUD e (c) CUE.

Na Figura 16, observa-se a tendência do sistema de irrigação ao longo de 30 ensaios no período noturno. Observou-se que todos os ensaios apresentaram CUC, CUD e CUE, dentro dos limites de controle, com exceção do ensaio 3 (CUC 86,3%) e do ensaio 13 (CUE 89,8%), que apresentaram valores fora dos limites calculados (limite inferior de CUC = 86,37%, limite superior de CUE= 89,74%). Mas, todos os ensaios apresentaram valores maiores que o limite mínimo indicado por Keller e Bliesner (2009) para irrigação por aspersão (CUC > 78,0% e CUD > 65,0%).

Montgomery (2009) comenta casos em que os pontos se apresentam fora dos limites em gráficos de controle. Isto são evidências de que variações estão ocorrendo e precisam ser estudadas. Essas variações no controle da irrigação poderão ser resultado de mudanças climáticas, como: velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, bem como alguma variação no sistema de irrigação, como oscilação na pressão de serviço dos aspersores durante o funcionamento.

Valores acima do limite superior de controle devem ser considerados aceitáveis, pois quanto maiores os valores dos coeficientes de avaliação melhor será a irrigação. Portanto, os gráficos de controle para os coeficientes CUC, CUD e CUE devem ser interpretados com base no limite inferior de controle.

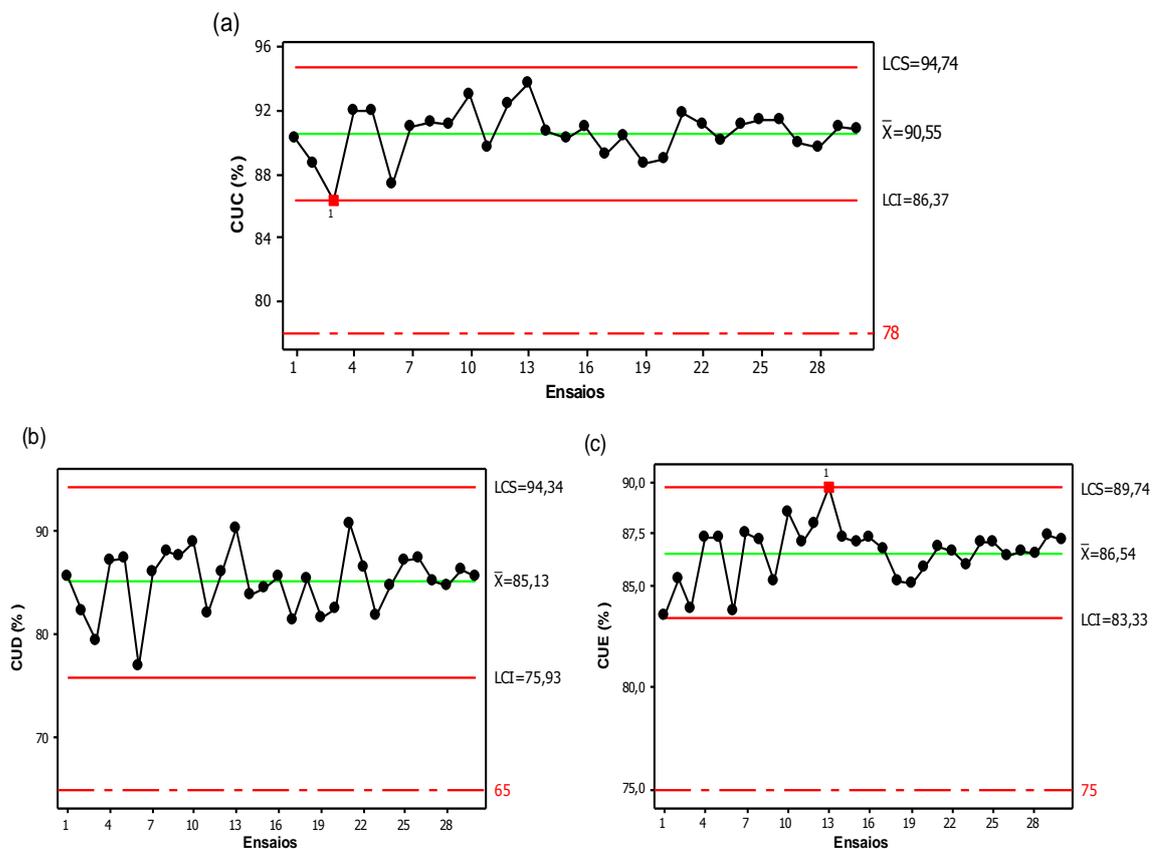


Figura 16 Controle de qualidade para irrigação noturna, considerando: (a) CUC, (b) CUD e (c) CUE.

Na Figura 17 pode ser observada a tendência do sistema de irrigação ao longo de 60 ensaios, dos quais 30 irrigações ocorrem no período noturno e 30 irrigações no período diurno, mantendo as mesmas condições de pressão de serviço dos aspersores. Percebe-se que, em todos os ensaios do período noturno, não ocorreu ponto fora dos limites de controle.

Nas irrigações noturnas, o CUC foi maior que o mínimo aceitável para irrigação por aspersão (CUC > 78%), bem como acima do mínimo aceitável para culturas que possuem sistema de raiz superficial (CUC > 85%), conforme Keller e Bliesner (2009).

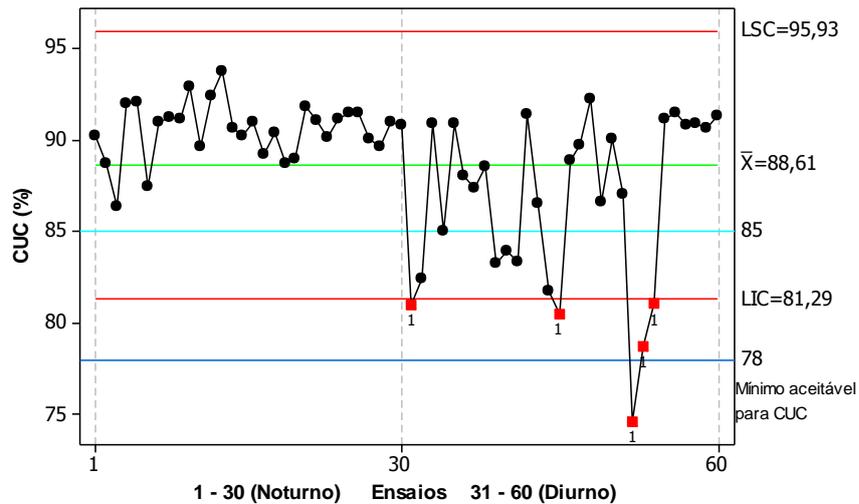


Figura 17 Gráfico de controle de Shewhart para CUC noturno x diurno.

Pode-se perceber que a velocidade do vento influenciou tanto nas irrigações diurna quanto noturna, e que o vento teve influência diferenciada entre o dia e a noite (Figura 18).

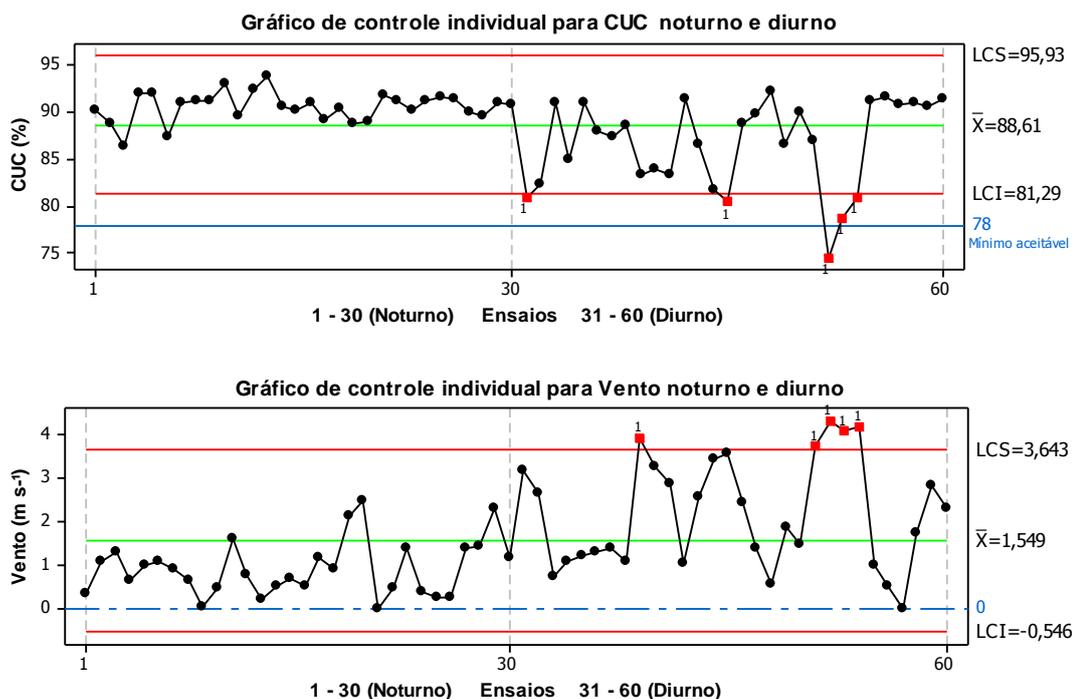


Figura 18 Gráfico de controle para CUC e vento nos períodos diurno e noturno.

Na Figura 18, é possível observar visualmente a correlação negativa entre CUC e o vento nas irrigações. No período noturno, houve ventos de menor intensidade e menor variação na velocidade, os quais proporcionaram melhores resultados para o CUC. Todavia, no período diurno a velocidade do vento aumentou bem como sua variabilidade ao longo do tempo, ocorrendo valores de CUC (74,6%) abaixo do limite inferior de controle.

5.2.2 Análise da capacidade do processo

Na Tabela 6 são apresentados os valores do índice de capacidade do processo (C_p), ao longo de 30 irrigações diurnas e 30 irrigações noturnas.

Nas irrigações, a informação do fabricante foi fixada como valor médio, para o cálculo de C_p , na pressão utilizada de 172 KPa (Lâmina média = 7,7 mm h⁻¹). Para o limite inferior, foi adotado o valor da lâmina de 3,6 mm h⁻¹, coletada no ensaio cujo CUC foi de 78,7%, por ser o resultado mais aproximado do mínimo aceitável em irrigação por aspersão (78%).

Os índices de capacidade do processo indicam a relação entre a variabilidade do coeficiente de uniformidade e C_p . Para valores elevados de CUC, observou-se que diminui o desvio padrão da lâmina de irrigação.

O sistema de irrigação foi caracterizado como novo, pois os testes compreendem sua primeira utilização no campo. A capacidade do processo (C_p) mostrou-se incapaz ou

inaceitável perante as irrigações diurnas ($C_p = 0,623$). Nas irrigações noturnas, o processo apresentou valor bem superior em relação ao indicado como crítico na literatura, sendo classificado como capaz ou adequado ($C_p = 2,688$). Na Tabela 6, observa-se que quanto menor foi a variabilidade da uniformidade da irrigação (CUC), maior foi o índice da capacidade do processo (C_p). Justi *et al.* (2010) também obtiveram resultado semelhante em seu experimento.

Tabela 6 Índice de capacidade do processo (C_p) em relação à variabilidade do CUC, nas irrigações do período diurno e noturno.

	CUC (%)	C_p
DIURNO	74,6 - 92,2	0,623
NOTURNO	86,3 - 93,7	2,688

Em irrigação por aspersão há um valor mínimo aceitável para os coeficientes de avaliação das irrigações, em que o mais utilizado é o CUC, sendo assim, foi calculado o índice de capacidade do processo pelo limite inferior (C_{pi}).

A informação do fabricante do aspersor foi considerada como valor médio para ambas as irrigações (diurna e noturna), na pressão utilizada de 172 KPa (Lâmina média $7,7 \text{ mm h}^{-1}$) e como limite inferior, o valor da lâmina de $3,6 \text{ mm h}^{-1}$, coletada no ensaio cujo CUC foi de 78,7%, por ser o resultado mais aproximado do mínimo aceitável em irrigação por aspersão ($CUC > 78\%$).

Na Tabela 7, pode ser observado que o maior índice de capacidade do processo ($C_{pi} = 3,605$) foi obtido nas irrigações do período noturno, sendo mais do que suficiente para caracterizar a irrigação noturna como um processo capaz e adequado ($C_{pi} > 1,60$). Nas irrigações diurnas, o processo demonstrou-se capaz e adequado ($C_{pi} = 2,247$) apenas no horário após as 16 horas, o qual apresentou valor maior que o mínimo ($C_{pi} > 1,60$) proposto na literatura para processos novos (MONTGOMERY, 2009).

Os valores de CUC apresentaram menor variação quando comparados com resultados de vento e E_a (Tabela 7), mesmo que o vento seja a variável climática que mais tem influência na irrigação por aspersão (OLIVEIRA, COLOMBO, FARIA, 2009).

Tabela 7 Índice de capacidade do processo pelo limite inferior (C_{pi}), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), vento e Eficiência de aspersão (E_a), para diferentes períodos do dia.

Períodos	CUC (%)	Vento (m s^{-1})	E_a (%)	C_{pi}
06h às 12h	88,4	1,7	67,3	1,285
12h às 16h	82,9	3,1	49,6	1,111
16h às 20h	90,2	1,3	77,3	2,247
20h às 06h	90,6	0,9	81,2	3,605

Neste caso, os valores de C_{Pi} parecem possuir relação com a eficiência de aspersão (Ea) e, para investigar melhor os resultados, foi verificada a relação entre as variáveis por regressão.

Para isso, foi calculado um C_{Pi} para irrigação noturna e outro para diurna, considerando como média o valor da lâmina média obtida em cada ensaio, e como limite inferior o valor da lâmina de $3,6 \text{ mm h}^{-1}$, coletada no ensaio cujo CUC foi de 78,7%, por ser o resultado mais aproximado do mínimo aceitável em irrigação por aspersão ($CUC > 78\%$).

Na Figura 19, pode ser observada a correlação positiva entre a eficiência de aspersão (Ea) e os valores de CUC e C_{Pi} .

Para Capacidade do processo (C_{Pi}) e Eficiência de aspersão (Ea), foi obtido o índice de correlação $R^2 = 94,0\%$.

O índice de correlação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e a eficiência Ea foi de $R^2 = 87,7\%$.

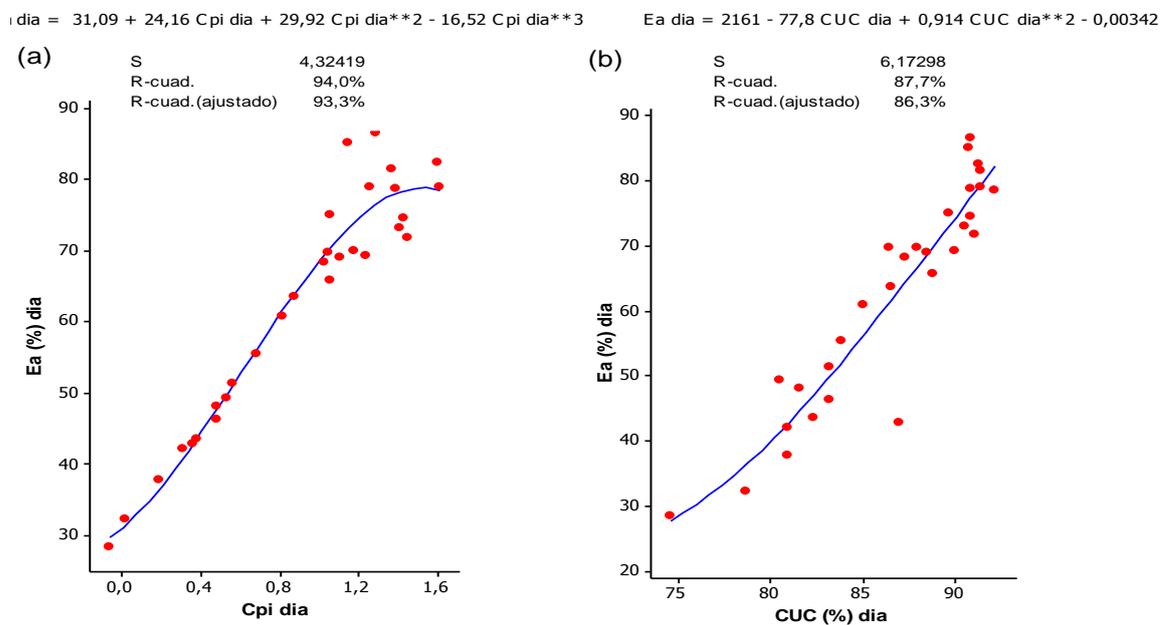


Figura 19 Regressão cúbica entre: (a) C_{Pi} x Ea ; (b) CUC x C_{Pi}

Zapata *et al.* (2007) verificaram que o vento tem forte influência sobre o desempenho da irrigação, pois diminui a uniformidade, ou seja, os valores de CUC.

No presente trabalho foi verificada a correlação negativa entre CUC e vento por regressão cúbica, cujo índice de correlação foi de $R^2 = 70,6\%$ nas irrigações diurnas.

Tendo em vista que o índice C_{Pi} tem comportamento muito semelhante ao CUC, foram testadas também uma regressão com polinômio de terceiro grau para C_{Pi} e a velocidade do vento, na qual obteve-se um coeficiente de determinação $R^2 = 70,5\%$ (Figura 20).

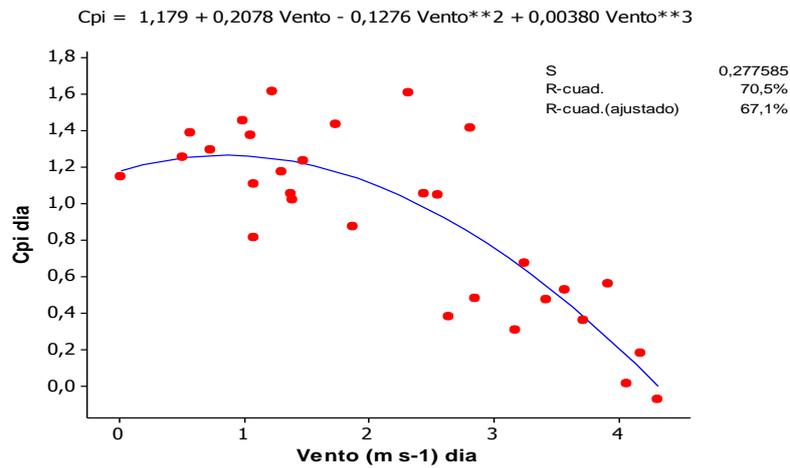


Figura 20 Regressão entre o índice C_{p1} e o vento dos ensaios diurnos.

Neste experimento, assim como Justi *et al.*(2010), na avaliação de irrigação por aspersão, o controle estatístico de qualidade mostrou-se uma ferramenta viável e adequada.

Zhou *et al.* (2008), Reis *et al.* (2011) e Albiero *et al.* (2012) também comprovaram a eficiência da técnica e recomendaram sua utilização para as mais diversas áreas.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos no experimento, pode-se concluir que:

O sistema de aspersão convencional apresentou boa uniformidade nas irrigações diurnas, todavia, no período noturno, tal sistema pode ser considerado como excelente na classificação de Keller (2009).

Durante o período diurno, as variáveis climáticas apresentaram maior variabilidade, conseqüentemente, ocorreu uma grande amplitude entre os valores de mínimo e máximo, bem como para o coeficiente de variação, haja vista os dados apresentarem uma variação desde baixa até muito elevada, segundo a classificação de Pimentel Gomes (2000).

Nas irrigações noturnas, as variáveis climáticas apresentaram menor variabilidade, logo, conferiram os melhores resultados na uniformidade de irrigação.

A velocidade do vento foi o fator que mais influenciou na eficiência de aplicação dos aspersores.

O uso dos gráficos individuais de controle de Shewhart possibilitou afirmar que na irrigação noturna obteve-se menor variabilidade nos dados, quando comparados ao período diurno e isso resultou em maior eficiência na irrigação.

Neste experimento, pode ser observado que na localidade de Palotina, PR, com irrigação a partir das 16 horas, o sistema de irrigação por aspersão teve melhor desempenho.

O aumento do índice de capacidade do processo foi diretamente proporcional ao aumento do coeficiente de uniformidade de Christiansen.

O índice C_{pi} mostrou-se capaz de indicar a qualidade da irrigação por aspersão e apresentou grande similaridade com o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), o qual, desde 1942, é parâmetro incontestável de eficiência da irrigação, mas sugere-se mais estudo sobre o assunto, com, por exemplo, novos ensaios a fim de aumentar o banco de dados para novas análises e utilização das ferramentas de controle de qualidade na irrigação.

7 REFERÊNCIAS

- ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. da; MILAN, M.; MONTEIRO, L. A. de; MION, R. L. Avaliação da distribuição de sementes por uma semeadora de anel interno rotativo utilizando média móvel exponencial. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v.43, n.1, p.86-95, Jan/Mar., 2012.
- ALENCAR, A. B. de, CUNHA, F. F. da, RAMOS, M. M., SOARES, A. A., PIZZILOLO, T. A. de, OLIVEIRA, R. A. de, Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por mini aspersão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.15, n.2, p.109-118, Abr/jun., 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de irrigação agrícola - Aspersores rotativos. Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio**. NBR ISSO 7749-2, Rio de Janeiro, JAN. 2000, 6p.
- AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R., Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.4,n.2, p. 152 - 154, 2000.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª ed. Viçosa: editora UFV, 2008. 625 p.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados, MS: editora UFGD, 2009. 134 p.
- DECHMI, F.; PLAYÁN, E.; CAVERO, J.; FACI, J. M.; MARTÍNEZ-COB, A.; Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*). **Irrigation science**. v.22, p. 67 – 77, 2003.
- FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. E. F.; PRADO, G.; Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p. 19 - 27, jan/mar.2009.
- GONÇALVES, R. A. B.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M.; SOUZA, L. O. C. de, Diagnóstico da aplicação de águas residuárias da suinocultura na cafeicultura irrigada: avaliação da uniformidade de aplicação de água. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 402 - 414, jul – set. 2006.
- JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.264-270, mar/abr.2010.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D.; **Sprinkle and Trickle Irrigation**. Chapman-Hall, Publishers,1990, Utah State University, Copyright to 2009. 314p.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F.; **Irrigação princípios e métodos**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. 358p.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F.; **Irrigação princípios e métodos**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355p.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. da; **Irrigação por aspersão em hortaliças**. 2 ed. rev. atual. ampl. Brasília, DF: Embrapa informação tecnológica, 2008. 150p.

MONTAZAR, A.; SADEGHI, M., Effects of applied water and sprinkler irrigation uniformity on alfalfa growth and hay yield. **Agricultural Water Management**. v. 95, p. 279 – 287, 2008.

MONTGOMERY, D.C.; **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. Tradução Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores; Revisão técnica Luiz da Costa Laurencel. – 4 ed., reimpr.- Rio de Janeiro: LTC, 2009. 513p.

OLIVEIRA, H. E. F.; COLOMBO, A.; FARIA, L. C.; Modelagem dos efeitos do vento sobre as dimensões do alcance do jato de um canhão hidráulico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.13, p. 818 - 824, 2009.

PIMENTEL GOMES; **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2000. 477p.

PLAYÁN, E.; ZAPATA, N.; FACI, J. M.; TOLOSA, D.; LACUEVA, J. L.; PELEGRÍN, J.; SALVADOR, R.; SÁNCHEZ, I.; LAFITA, A.; Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. **Agricultural Water Management**. v.84, p. 89 – 100, 2006.

PLAYÁN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J. M.; ZAPATA, N.; MARTÍNEZ-COB, A.; SÁNCHEZ, I.; Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. **Agricultural Water Management**. v. 76, p. 139 – 159, 2005.

ROCHA, E. M. de M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. da S.; CASTRO, P. T. de; Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.154-160, 1999.

REIS, C. F. dos; VILAS BOAS, M. A.; MERCANTE, E.; HERMES, E.; REISDORFER, M. Avaliação da qualidade da água para irrigação em Salto do Lontra – PR. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.1, p. 069 – 078, jan/mar. 2011.

SECRETARIA DO ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO, PIN- Programa de Irrigação Noturna. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=66>>. Acessado em: 08 de fevereiro de 2010.

TARJUELO, J.M.; MONTERO, J.; HONRUBIA, F.T.; ORTIZ, J.J.; ORTEGA, J.F.; Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. **Agricultural Water Management**. v.40, p. 315 – 331, 1999.

TARJUELO, J.M.; ORTEGA, J.F.; MONTERO, J.; JUAN, J.A. de; Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. **Agricultural Water Management**. v. 43, p. 263 – 284, 2000.

VILAS BOAS, E. B. B. Estudo da qualidade da matéria-prima de uma fábrica de ração para frangos de corte utilizando cartas de controle e técnicas taguchi de custo mínimo. 2005. 2 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo – PR, 2005.

YACOUBI, S.; ZAIANI, K.; ZAPATA, N.; ZAIRI, A.; SLATNI, A.; SALVADOR, R.; PLAYÁN, E. Day and night time sprinkler irrigated tomato: Irrigation performance and crop yield. **Biosystems Engineering**, v. 107, July 2010, p. 25-35.

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E.; Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, Ottawa, v.27, n.11, p.565-583, 1947.

ZAPATA, N.; PLAYÁN, E; MARTINEZ-COB, A.; SANCHEZ, I.; FACI, J. M.; LECINA. S. From

on-farm solid-set sprinkler irrigation design to collective irrigation network design in windy areas. **Agricultural Water Management**, v. 87, p. 187 – 199, 2007.

ZHOU, W.; BECK, B. F.; PETTIT, A. J.; WANG, J. Application of water quality control charts to spring monitoring in karst terranes. **Environmental geology**. Heidelberg, v.53, n. 6, p. 1311-1321, 2008.

ANEXOS

A-1 DIURNO – Lâminas coletadas nos 30 ensaios

Coletor	Lâmina (mm) / Ensaios																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	5,0	5,0	14,0	8,0	8,5	8,0	9,5	9,0	6,0	6,5	5,0	10,0	9,0	7,4	6,0	7,4	9,5	10,1	8,4	8,7	4,8	4,5	5,2	5,5	9,2	10,0	11,8	9,3	9,1	10,1
2	6,0	6,0	8,0	4,5	6,5	5,5	5,7	7,4	6,3	6,5	5,2	9,0	7,2	7,0	7,1	7,5	8,4	7,9	8,5	7,5	5,5	5,0	5,3	6,0	7,5	8,0	8,4	6,0	6,0	6,6
3	6,0	6,1	7,5	4,6	6,0	6,0	5,5	6,5	6,2	6,8	5,8	8,5	7,7	7,5	7,5	7,6	8,2	7,8	7,8	7,9	5,6	5,0	5,6	5,5	7,2	7,6	8,1	5,7	5,6	6,4
4	6,3	6,3	7,0	4,3	6,2	5,0	5,8	7,5	5,8	7,5	6,0	8,4	8,1	7,0	7,6	7,7	7,7	7,5	7,2	7,7	5,3	4,6	4,6	5,5	6,6	7,6	8,1	5,7	5,5	6,0
5	6,5	6,0	7,8	5,0	6,6	5,5	5,5	7,5	7,0	7,8	6,2	8,0	8,0	7,3	7,7	7,5	7,5	7,8	7,1	7,2	4,5	4,0	4,4	5,2	6,7	7,5	8,1	6,1	6,0	6,6
6	6,5	6,0	10,5	7,0	8,0	8,2	8,4	7,4	7,2	7,1	6,6	7,5	8,3	5,7	6,5	7,0	7,3	8,1	7,5	7,6	5,5	4,0	4,5	5,0	7,8	8,3	8,5	8,5	8,0	8,5
7	3,5	4,5	8,0	5,5	7,8	7,0	8,2	5,8	4,6	4,5	4,1	8,0	5,5	5,0	5,5	6,3	7,6	8,0	6,5	5,8	3,5	3,4	4,5	5,1	8,0	8,0	8,5	7,4	7,1	8,2
8	4,6	5,1	8,1	6,0	7,9	6,5	7,5	7,0	5,3	5,8	5,3	8,5	6,0	6,5	7,4	6,5	7,6	7,8	7,0	6,7	3,8	3,6	4,0	4,6	7,6	7,6	8,4	7,2	7,0	7,9
9	4,7	5,1	8,0	5,0	7,5	6,6	7,0	6,5	5,8	6,4	6,0	8,2	6,5	6,5	7,0	7,0	7,8	8,0	6,9	7,4	4,8	4,1	4,3	5,0	7,5	7,6	8,1	6,8	6,4	7,2
10	5,0	5,0	8,0	6,0	6,5	7,0	6,7	7,2	5,9	7,1	6,2	8,0	7,8	6,4	6,6	7,3	7,4	7,4	7,0	7,5	4,8	4,1	4,1	5,1	7,2	7,5	8,0	7,0	6,4	7,4
11	5,5	5,6	8,5	6,0	6,4	7,0	6,6	7,9	7,4	7,4	6,4	8,0	8,8	6,0	6,8	7,3	7,6	7,5	7,4	7,5	5,0	4,8	4,0	4,9	7,0	7,1	8,1	6,7	6,5	7,4
12	6,0	5,4	8,8	5,5	6,8	6,5	6,2	7,5	7,5	6,6	6,0	7,5	8,8	6,1	6,5	6,7	7,0	6,4	7,4	7,6	3,5	3,0	3,0	4,0	6,3	6,0	7,0	6,6	6,1	7,4
13	3,0	4,3	7,0	7,0	8,0	7,5	7,3	5,4	3,3	4,4	4,0	8,0	5,3	4,8	5,5	6,8	7,5	7,5	7,0	5,0	3,5	4,0	4,8	4,8	7,7	7,5	7,9	7,6	7,5	8,4
14	4,5	4,5	8,0	6,5	8,5	6,5	7,2	5,9	4,2	7,6	4,2	8,0	5,8	5,0	6,0	6,6	7,3	7,9	7,1	6,2	4,0	3,8	4,5	5,2	7,8	7,6	8,2	8,0	7,5	8,4
15	4,0	5,5	8,0	6,0	8,0	7,5	6,5	6,4	5,9	6,8	5,5	8,1	7,1	5,5	6,0	7,5	7,7	7,5	6,7	7,0	4,2	4,7	4,5	4,3	6,5	7,0	7,8	7,6	7,2	8,4
16	4,2	4,1	8,4	5,0	7,0	6,4	6,0	7,5	6,3	6,5	5,5	8,0	8,3	5,3	5,8	7,0	7,6	7,5	6,7	7,8	4,0	4,6	4,0	4,0	7,5	7,2	7,5	7,0	7,0	8,1
17	5,5	4,9	8,6	5,0	7,5	6,5	5,5	8,2	6,5	6,8	5,8	7,9	8,6	5,0	6,3	7,2	7,5	7,2	7,2	7,0	4,1	3,9	3,0	3,8	7,1	7,0	7,6	7,0	7,0	7,7
18	5,5	4,9	8,3	5,0	7,7	6,0	5,0	8,5	6,5	7,2	5,7	7,0	8,6	5,0	5,7	6,9	6,7	6,4	7,3	7,6	4,2	3,6	3,8	4,0	6,3	5,9	6,9	6,4	6,5	7,2
19	4,0	3,7	7,2	5,5	8,0	8,0	7,7	4,9	4,0	4,1	3,8	8,0	5,5	5,0	4,5	6,8	8,3	7,5	7,2	5,0	4,6	3,5	3,7	3,8	7,2	7,9	8,0	7,6	7,5	8,3
20	4,0	4,0	8,0	7,0	8,3	7,5	7,0	5,4	4,3	4,6	4,5	8,0	6,0	4,2	4,1	7,0	7,6	7,6	7,5	6,9	5,0	3,2	3,2	4,0	7,3	7,7	8,5	7,8	8,0	8,6
21	4,5	4,0	8,5	6,6	8,1	7,3	7,1	6,7	5,5	5,8	5,4	8,0	7,0	4,4	4,5	6,5	7,7	7,5	6,4	7,2	4,6	2,9	3,1	3,6	6,8	7,7	8,0	7,8	7,6	8,4
22	4,0	3,8	8,5	7,0	8,4	6,3	6,7	7,3	6,0	5,8	5,2	8,0	7,5	4,4	4,4	6,3	7,5	7,4	6,4	6,7	4,3	3,0	3,5	3,2	6,2	6,3	7,7	7,6	7,5	8,5
23	4,5	3,8	8,8	6,8	7,7	6,3	6,3	8,0	6,4	6,1	5,5	7,9	8,0	4,7	4,6	6,4	7,0	7,4	6,0	6,8	4,5	3,3	2,5	4,3	5,8	7,2	7,6	7,2	7,2	8,1
24	5,0	3,8	8,4	6,2	6,5	6,2	5,2	8,2	6,2	6,0	5,5	7,5	8,0	4,5	5,5	6,7	7,5	6,6	5,8	7,5	4,6	4,0	3,0	4,5	6,9	6,3	7,1	6,1	6,0	6,8
25	4,3	4,5	7,5	6,7	8,5	8,0	7,6	4,5	3,2	4,0	3,5	9,0	5,0	4,5	4,0	5,6	8,0	7,5	6,0	4,8	4,8	3,8	3,5	4,2	7,0	8,2	8,6	7,3	7,5	8,0
26	4,0	4,3	8,0	7,4	8,3	8,0	7,5	5,9	3,6	4,6	3,6	8,0	5,6	4,4	4,5	6,6	7,5	7,5	6,5	6,5	5,0	3,0	3,7	3,9	6,7	8,2	8,8	7,7	8,0	8,5
27	3,7	4,0	8,5	7,3	8,7	8,2	7,6	6,5	4,4	5,7	4,0	7,1	7,0	4,1	5,0	5,8	6,6	7,3	5,3	6,8	4,2	2,5	3,0	3,0	6,5	8,0	8,5	7,6	7,6	8,5
28	3,7	3,5	9,0	7,5	8,5	7,5	6,8	7,2	5,3	5,7	4,7	7,0	7,8	4,2	4,4	5,0	6,1	7,0	5,2	6,7	4,2	2,0	2,9	3,9	6,4	7,5	8,1	7,9	7,7	8,5
29	4,5	3,7	9,4	6,8	7,3	6,2	6,2	7,2	5,5	4,7	4,2	7,0	7,8	4,0	4,0	5,1	6,4	7,3	4,5	6,4	4,2	2,3	2,5	3,0	6,0	7,6	7,6	7,1	7,5	8,4
30	5,0	5,0	9,0	6,0	7,0	6,0	6,2	7,2	4,0	5,0	4,0	8,5	7,9	5,1	4,4	5,9	7,5	7,4	5,0	7,0	5,0	3,0	3,0	4,3	6,2	7,0	7,6	6,2	6,5	7,4
31	6,5	6,8	9,0	8,0	9,2	8,5	9,3	8,0	6,1	6,0	4,3	11,0	7,6	5,8	5,2	8,1	10,6	9,8	7,5	7,9	4,5	2,5	3,5	3,9	8,5	9,7	11,2	9,2	8,6	10,4
32	3,0	3,7	7,5	7,0	8,6	8,6	8,4	6,5	4,8	5,0	4,3	7,3	5,7	4,0	4,2	5,6	6,5	7,0	5,5	6,2	3,3	1,9	1,9	2,3	6,5	7,6	8,4	8,0	8,4	9,0
33	3,0	3,5	7,5	8,5	8,3	8,2	7,6	7,3	4,9	4,6	3,5	5,6	6,5	3,5	3,9	5,1	5,0	6,3	5,5	6,5	3,3	1,3	2,0	2,5	5,8	7,4	8,0	7,5	7,3	8,5
34	2,5	3,2	8,0	8,0	8,0	8,4	7,7	6,7	4,9	4,5	4,7	5,6	6,7	3,5	3,8	4,5	4,6	6,3	3,8	5,7	2,8	1,2	2,0	1,8	6,0	7,3	7,6	7,6	7,7	8,4
35	3,0	3,5	9,0	7,0	8,2	7,5	7,3	6,2	5,0	4,5	3,5	6,0	6,4	3,6	3,8	4,4	5,0	6,7	4,0	6,0	2,9	1,0	2,5	2,0	6,8	8,0	7,6	7,5	7,5	8,4
36	4,6	6,0	11,0	8,0	9,1	8,5	8,1	7,0	5,8	5,4	4,3	9,5	7,0	6,0	3,8	7,9	10,4	10,9	6,4	6,4	4,7	2,5	3,5	3,9	8,2	11,9	14,2	8,3	8,0	8,9

A-2 NOTURNO – Lâminas coletadas nos 30 ensaios

Coletor	Lâmina (mm) / Ensaios																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	13,9	11,0	9,5	11,0	11,5	11,0	9,1	10,0	10,5	11,5	9,6	10,2	11,4	10,0	10,2	10,4	9,5	11,4	11,0	10,0	10,5	11,0	10,5	10,3	11,0	11,5	11,0	11,6	11,6	11,6
2	7,5	6,8	5,6	8,0	9,0	9,4	8,5	9,0	8,7	7,5	7,5	8,3	8,5	7,5	8,0	7,7	6,6	8,8	8,0	7,5	7,2	7,4	9,0	8,5	8,2	8,0	7,0	7,2	7,1	7,5
3	7,0	6,2	5,0	8,0	8,8	8,4	7,6	8,5	8,8	6,8	6,0	8,0	8,2	7,4	7,5	7,2	6,0	8,7	7,7	6,4	7,2	6,3	8,6	8,5	7,6	7,5	6,0	6,3	6,5	6,5
4	7,0	6,2	5,0	8,0	8,8	8,1	7,3	7,5	8,8	6,5	5,8	7,5	8,1	7,4	7,0	6,7	5,6	8,6	8,0	7,5	7,2	6,4	7,0	8,0	7,3	7,1	6,2	6,5	6,5	6,5
5	7,0	7,0	5,5	8,0	9,0	8,0	7,5	7,9	8,1	7,0	6,0	7,7	8,8	8,5	7,5	8,0	5,8	8,6	7,1	7,0	8,0	7,1	7,1	8,0	8,4	8,3	6,9	7,1	7,4	7,5
6	9,5	9,0	7,8	8,0	8,5	8,0	6,5	7,5	8,6	10,0	8,6	7,5	9,5	9,5	9,4	10,2	8,8	9,0	8,0	7,3	12,0	11,0	8,0	7,5	9,5	10,5	10,0	10,5	10,5	11,2
7	7,3	8,6	7,0	7,0	7,5	8,3	7,5	7,2	8,5	8,9	7,7	8,0	8,4	8,7	8,9	8,5	8,2	7,0	6,4	6,1	9,0	11,0	7,1	8,6	8,4	8,6	8,5	8,7	9,2	9,1
8	7,6	8,0	6,4	8,0	8,5	8,5	8,0	8,0	8,5	8,5	8,4	7,6	8,3	8,5	8,2	8,0	8,6	8,0	7,6	7,5	8,4	8,6	9,0	8,4	8,6	8,5	7,9	8,5	8,6	8,6
9	7,5	7,5	5,5	8,0	9,0	8,1	7,5	7,8	8,2	8,0	6,7	7,5	8,4	8,2	8,0	8,0	6,5	9,0	7,0	7,0	8,2	8,0	8,5	7,5	8,1	8,2	7,3	7,5	7,5	8,0
10	8,0	7,0	5,4	7,9	8,6	7,5	7,2	7,7	8,0	7,9	6,1	7,6	8,0	7,4	7,5	7,4	6,6	8,6	8,4	7,6	8,0	8,0	8,3	7,6	7,5	8,0	7,0	7,1	7,0	7,0
11	8,0	6,8	6,0	8,4	8,5	7,9	8,3	7,9	8,0	7,4	6,3	7,2	7,9	7,3	7,2	7,2	6,6	8,5	8,9	7,5	8,3	8,1	8,5	7,8	7,5	7,6	7,2	7,3	7,5	7,7
12	8,0	7,3	6,0	7,3	8,2	7,5	8,2	7,5	6,8	7,6	7,2	5,5	6,7	6,1	6,1	6,7	7,1	8,0	9,0	8,5	8,0	8,9	8,6	7,0	6,5	7,0	7,2	8,0	8,2	8,1
13	6,5	8,0	8,0	7,0	7,0	7,5	7,0	7,0	8,2	8,0	8,4	7,5	7,9	7,9	8,6	8,3	8,2	6,5	6,0	5,6	8,0	8,1	6,4	8,1	8,0	8,0	8,0	9,0	8,6	9,4
14	7,5	8,0	7,3	7,8	8,4	7,5	7,1	8,2	8,5	8,0	9,3	7,2	8,2	8,2	8,6	8,3	8,4	7,7	6,0	6,9	8,4	8,5	7,0	8,1	8,1	8,1	8,3	8,8	8,8	9,1
15	7,9	7,6	6,5	7,8	8,5	7,8	6,8	7,2	8,0	8,0	8,1	7,3	8,0	8,0	8,0	7,9	8,0	8,4	6,5	5,9	7,9	8,5	8,1	7,6	7,6	7,6	8,0	8,5	8,1	8,6
16	8,0	7,2	6,5	7,6	8,5	7,0	7,0	7,3	7,5	7,9	8,0	7,4	7,9	7,6	7,6	7,4	8,0	8,0	8,0	7,4	8,0	8,5	8,5	7,1	7,5	7,6	7,2	8,0	8,0	8,0
17	8,5	6,5	6,2	7,8	8,6	7,7	7,5	7,6	7,6	7,7	7,6	7,0	7,8	6,8	7,0	7,4	7,1	8,0	8,4	7,9	8,1	8,5	8,4	8,0	7,6	7,6	7,2	7,6	7,5	7,8
18	8,0	6,0	6,4	7,2	8,2	7,9	7,6	7,7	7,0	7,0	7,1	5,5	6,6	5,5	6,0	6,1	7,0	8,1	8,5	8,6	7,5	8,2	8,8	7,0	6,1	6,6	6,5	7,2	7,2	7,5
19	6,5	7,6	8,0	7,6	7,5	8,1	8,0	7,0	8,2	7,8	7,5	7,6	8,1	8,0	8,4	8,5	7,0	7,0	6,0	5,8	8,0	7,3	6,0	8,2	8,0	8,2	8,4	8,9	8,5	8,6
20	7,6	8,4	8,0	7,8	8,2	7,6	7,1	7,5	8,6	8,2	8,5	7,6	7,9	8,0	8,5	8,5	8,6	7,5	6,0	6,0	8,0	8,5	6,4	8,4	8,0	8,2	8,5	9,3	8,4	9,1
21	8,0	7,6	7,4	7,6	8,5	7,4	7,0	7,4	8,2	7,8	8,4	7,6	8,0	8,2	7,8	8,0	8,3	8,0	6,5	6,0	7,7	8,0	7,8	8,2	7,8	7,7	8,0	8,6	8,4	8,7
22	8,0	7,4	7,0	7,8	8,5	7,3	7,7	7,8	7,8	8,0	8,5	7,8	8,2	8,2	7,8	8,0	8,0	7,5	7,1	6,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,8	8,0	7,6	8,0	8,3
23	8,5	7,0	6,5	7,7	8,6	7,9	8,1	8,3	7,6	8,0	8,4	7,3	8,2	7,5	7,2	7,6	8,0	7,8	8,0	7,6	8,4	8,6	8,4	8,0	8,0	8,2	7,0	7,5	7,6	8,0
24	8,5	5,5	5,8	7,0	8,0	8,2	8,0	8,2	7,1	7,4	7,3	5,7	6,9	5,5	5,6	6,0	7,5	7,8	8,2	8,0	8,0	8,4	8,5	7,1	6,3	7,0	6,0	7,0	6,9	7,2
25	6,5	8,5	7,0	9,4	9,5	9,7	9,3	9,0	9,0	7,8	7,3	7,8	8,2	8,5	8,4	8,5	7,6	8,7	6,6	6,0	8,3	7,9	6,5	9,0	8,5	8,7	8,3	9,0	8,6	8,5
26	7,7	9,0	8,0	8,0	9,5	8,6	8,2	8,4	9,0	8,1	8,4	7,5	8,4	8,6	8,4	8,6	9,0	8,5	6,5	6,4	8,3	8,5	6,7	8,0	8,3	8,7	8,5	9,0	8,7	9,1
27	7,8	8,3	7,9	7,5	8,5	7,1	7,0	7,4	8,6	8,0	8,5	7,5	8,4	8,5	7,9	8,1	9,0	8,0	7,0	6,5	8,1	8,1	8,0	8,0	8,3	8,5	8,0	8,5	8,4	8,5
28	8,0	7,8	7,5	7,6	8,0	5,5	7,0	7,5	7,9	8,0	8,5	7,2	8,5	8,3	7,5	8,1	8,1	7,6	7,5	6,6	8,3	8,1	8,2	7,6	8,3	8,5	7,5	8,3	8,0	8,1
29	8,6	7,8	7,0	7,5	8,1	7,5	7,2	8,1	8,0	8,3	8,7	7,5	8,0	7,4	7,3	7,6	8,5	7,0	8,0	7,5	8,6	9,0	8,7	8,0	8,1	8,5	7,6	8,2	7,9	8,4
30	9,0	6,4	5,9	7,4	8,0	7,5	8,0	8,1	8,3	7,9	8,4	6,6	7,5	6,4	6,4	6,5	8,4	8,3	8,2	8,1	8,0	8,8	8,8	9,0	7,0	7,3	7,0	7,5	7,4	7,6
31	9,0	9,9	8,1	10,5	12,5	7,8	10,5	12,0	10,5	9,5	9,8	9,3	9,8	9,8	8,7	9,1	10,0	13,0	10,5	9,5	11,6	11,0	12,0	9,8	11,0	12,0	9,4	9,6	9,5	9,8
32	7,0	9,0	8,8	8,4	10,0	11,0	7,6	9,0	8,0	7,6	8,1	7,2	8,5	8,9	7,3	7,8	8,7	9,2	7,8	7,4	8,1	8,5	9,0	6,5	7,6	8,3	9,0	9,3	9,0	9,3
33	7,0	8,4	8,5	6,7	7,9	7,6	6,0	7,0	7,5	7,4	8,1	6,7	8,0	8,3	7,0	7,3	8,3	7,6	8,1	7,3	8,0	8,0	8,5	5,9	7,6	8,2	7,7	8,0	8,0	8,1
34	7,5	8,0	7,7	6,0	6,8	6,6	5,6	6,4	7,5	7,2	8,1	6,3	8,0	7,8	7,0	7,5	8,2	6,5	8,2	7,6	8,1	8,3	8,0	6,1	7,4	8,2	7,7	8,3	8,1	8,5
35	8,0	8,1	7,9	6,0	6,8	5,0	5,8	6,5	7,5	8,0	9,0	7,8	8,5	7,8	7,9	8,0	8,5	6,6	8,5	8,2	8,6	9,0	8,0	6,6	7,7	8,4	7,7	8,5	8,1	8,5
36	10,8	9,3	7,9	9,5	9,1	5,5	8,3	9,0	14,0	9,3	9,1	8,7	9,5	8,7	10,0	10,4	9,0	8,5	7,9	8,0	11,0	10,4	9,0	10,9	10,0	10,0	8,5	9,1	9,2	9,5

A-3 DIURNO - Dados calculados

Ensaios	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	Vento (m/s)	Umid ar (%)	Temp (C°)	la med (mm/h)	la colet (mm/h)	Pe+arraste (%)	E1 = CUC	E2 (%)	Ea (%)	Li	Ls
1	81,0	70,8	76,2	3,2	29,1	32,1	8,9	4,6	48,2	81,0	51,8	42,0	2,547	6,681
2	82,4	76,6	79,5	2,6	31,0	30,3	8,9	4,7	47,2	82,4	52,8	43,5	3,010	6,384
3	90,9	87,8	85,1	0,7	72,6	24,4	8,9	8,5	4,7	90,9	95,3	86,6	6,277	10,684
4	85,0	76,6	82,3	1,1	76,7	11,0	8,9	6,4	28,5	85,0	71,5	60,8	4,224	8,510
5	90,9	84,1	89,0	1,2	63,9	12,3	8,9	7,7	13,2	90,9	86,8	78,9	6,023	9,427
6	88,0	82,9	86,1	1,3	52,2	18,3	8,9	7,1	20,6	88,0	79,4	69,9	4,962	9,172
7	87,3	80,5	84,3	1,4	40,0	28,4	8,9	7,0	21,8	87,3	78,2	68,3	4,782	9,129
8	88,6	80,7	85,5	1,1	76,7	11,0	8,9	6,9	22,0	88,6	78,0	69,0	4,492	9,386
9	83,3	72,1	79,5	3,9	44,7	26,0	8,9	5,5	38,3	83,3	61,7	51,4	3,103	7,875
10	83,9	75,3	81,0	3,3	39,0	28,2	8,9	5,9	34,0	83,9	66,0	55,4	3,661	8,083
11	83,3	76,4	81,1	2,9	37,4	28,3	8,9	4,9	44,4	83,3	55,6	46,3	3,204	6,685
12	91,4	84,2	86,8	1,1	55,2	24,8	8,9	7,9	10,9	91,4	89,1	81,5	6,072	9,795
13	86,5	78,0	84,1	2,6	61,6	23,2	8,9	7,2	19,4	86,5	80,6	69,8	4,777	9,579
14	81,7	75,2	78,0	3,4	33,9	30,6	8,9	5,2	41,0	81,7	59,0	48,2	3,925	6,569
15	80,5	71,4	77,4	3,6	33,8	31,0	8,9	5,4	38,8	80,5	61,2	49,3	4,141	7,059
16	88,9	79,3	85,7	2,4	27,5	30,5	8,9	6,6	26,0	88,9	74,0	65,8	4,998	8,174
17	89,7	80,5	83,7	1,4	31,4	30,2	8,9	7,4	16,4	89,7	83,6	75,0	5,286	9,587
18	92,2	87,7	87,4	0,6	44,4	26,4	8,9	7,6	14,7	92,2	85,3	78,7	5,844	9,339
19	86,6	75,9	82,9	1,9	36,5	28,2	8,9	6,5	26,6	86,6	73,4	63,6	5,044	8,023
20	90,0	82,9	87,2	1,5	54,8	22,8	8,9	6,9	23,0	90,0	77,0	69,3	4,626	9,079
21	87,0	77,9	83,8	3,7	30,8	26,8	8,9	4,4	51,0	87,0	49,0	42,7	3,080	5,648
22	74,6	56,6	68,5	4,3	22,8	31,9	8,9	3,4	62,0	74,6	38,0	28,3	2,101	4,654
23	78,7	68,0	74,0	4,1	20,8	33,7	8,9	3,6	59,1	78,7	40,9	32,2	2,357	4,926
24	81,0	67,4	75,4	4,2	22,4	32,7	8,9	4,2	53,3	81,0	46,7	37,8	2,742	5,569
25	91,1	87,2	88,9	1,0	73,2	22,8	8,9	7,0	21,3	91,1	78,7	71,8	5,261	8,756
26	91,5	86,5	85,9	0,5	60,0	30,1	8,9	7,7	13,7	91,5	86,3	79,0	5,576	9,785
27	90,8	88,6	83,5	0,0	70,9	27,3	8,9	8,3	6,3	90,8	93,7	85,1	6,193	10,479
28	90,9	84,5	88,2	1,7	54,8	28,9	8,9	7,3	18,0	90,9	82,0	74,5	5,456	9,133
29	90,6	84,3	88,3	2,8	64,1	26,7	8,9	7,2	19,3	90,6	80,7	73,1	5,486	8,875
30	91,3	85,1	88,5	2,3	79,4	22,7	8,9	8,0	9,6	91,3	90,4	82,5	6,370	9,713

A-4 NOTURNO - Dados calculados

Ensaio	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	Vento (m/s)	Umidade do ar (%)	Temp (C°)	la med (mm/h)	la colet (mm/h)	Pe+arraste (%)	E1 = CUC	E2 (%)	Ea (%)	Li	Ls
1	90,2	85,6	83,4	0,4	78,0	22,2	8,9	8,0	9,9	90,2	90,1	81,3	5,717	10,322
2	88,7	82,4	85,2	1,1	76,3	19,1	8,9	7,7	13,0	88,7	87,0	77,2	5,378	10,105
3	86,3	79,4	83,8	1,3	82,1	17,9	8,9	7,0	21,8	86,3	78,2	67,5	4,937	8,980
4	92,0	87,1	87,3	0,6	62,5	18,7	8,9	7,9	11,7	92,0	88,3	81,2	5,857	9,854
5	92,0	87,4	87,3	1,0	67,4	19,0	8,9	8,6	3,5	92,0	96,5	88,8	6,458	10,714
6	87,5	77,0	83,7	1,1	46,8	23,8	8,9	7,8	12,0	87,5	88,0	77,0	6,456	10,544
7	91,0	86,1	87,5	0,9	54,8	22,0	8,9	7,6	14,9	91,0	85,1	77,4	5,581	9,563
8	91,2	88,1	87,2	0,6	62,5	18,7	8,9	7,9	10,7	91,2	89,3	81,5	5,972	9,923
9	91,2	87,7	85,2	0,0	70,2	27,6	8,9	8,4	5,9	91,2	94,1	85,8	6,364	10,391
10	92,9	89,0	88,5	0,5	33,8	19,7	8,9	8,0	10,0	92,9	90,0	83,7	6,297	9,731
11	89,7	82,1	87,1	1,6	54,7	13,6	8,9	7,9	11,0	89,7	89,0	79,8	6,055	9,778
12	92,4	86,1	87,9	0,8	47,1	22,5	8,9	7,5	16,3	92,4	83,7	77,3	5,391	9,509
13	93,7	90,3	89,8	0,2	58,6	17,7	8,9	8,3	7,2	93,7	92,8	86,9	6,561	9,950
14	90,6	84,0	87,3	0,5	64,0	17,4	8,9	7,9	11,1	90,6	88,9	80,6	5,642	10,186
15	90,2	84,6	87,1	0,7	48,7	24,6	8,9	7,8	12,5	90,2	87,5	79,0	5,418	10,160
16	91,0	85,6	87,3	0,5	61,4	21,3	8,9	7,9	10,9	91,0	89,1	81,1	5,529	10,332
17	89,2	81,5	86,7	1,2	70,4	18,9	8,9	7,9	11,6	89,2	88,4	78,9	6,099	9,640
18	90,4	85,4	85,1	0,9	47,6	22,3	8,9	8,2	7,6	90,4	92,4	83,5	5,783	10,661
19	88,7	81,6	85,1	2,1	58,8	18,0	8,9	7,7	13,5	88,7	86,5	76,7	5,364	10,030
20	88,9	82,5	85,8	2,5	72,4	16,7	8,9	7,2	18,6	88,9	81,4	72,4	4,810	9,673
21	91,8	90,7	86,9	0,0	65,9	24,1	8,9	8,4	5,4	91,8	94,6	86,8	6,281	10,552
22	91,1	86,7	86,6	0,5	73,9	22,2	8,9	8,5	4,3	91,1	95,7	87,1	6,356	10,672
23	90,1	81,9	85,9	1,4	79,2	21,7	8,9	8,2	8,3	90,1	91,7	82,7	5,816	10,512
24	91,2	84,8	87,1	0,4	45,3	26,6	8,9	8,0	10,5	91,2	89,5	81,6	5,903	10,036
25	91,5	87,3	87,1	0,3	55,1	25,1	8,9	8,0	9,7	91,5	90,3	82,6	5,678	10,389
26	91,5	87,4	86,4	0,3	65,2	23,4	8,9	8,3	6,7	91,5	93,3	85,3	5,940	10,666
27	90,0	85,2	86,6	1,4	82,2	22,0	8,9	7,8	12,7	90,0	87,3	78,6	5,591	9,953
28	89,7	84,8	86,5	1,4	85,2	17,7	8,9	8,3	7,0	89,7	93,0	83,4	6,051	10,504
29	91,0	86,2	87,4	2,3	87,6	16,6	8,9	8,2	8,1	91,0	91,9	83,6	6,144	10,217
30	90,8	85,7	87,2	1,2	90,0	15,6	8,9	8,4	5,3	90,8	94,7	86,0	6,067	10,794

A-5 DIURNO

Ensaio	Lâmina média (mm)	Desv.Pad.	C.V (%)	Val.Mín	Val.Máx
1	4,6	1,09	23,81	2,5	6,5
2	4,7	0,96	20,54	3,2	6,8
3	8,5	1,26	14,87	7,0	14,0
4	6,4	1,13	17,73	4,3	8,5
5	7,7	0,85	11,03	6,0	9,2
6	7,1	0,98	13,91	5,0	8,6
7	7,0	1,10	15,75	5,0	9,5
8	6,9	1,00	14,47	4,5	9,0
9	5,5	1,12	20,47	3,2	7,5
10	5,9	1,12	19,01	4,0	7,8
11	4,9	0,93	18,89	3,5	6,6
12	7,9	1,05	13,24	5,6	11,0
13	7,2	1,14	15,86	5,0	9,0
14	5,2	1,15	21,97	3,5	7,5
15	5,6	1,26	23,04	3,8	7,7
16	6,6	0,94	14,30	4,4	8,1
17	7,4	1,21	16,30	4,6	10,6
18	7,6	0,96	12,64	6,3	10,9
19	6,5	1,12	17,09	3,8	8,5
20	6,9	0,88	12,82	4,8	8,7
21	4,4	0,71	16,24	2,8	5,6
22	3,4	1,07	31,54	1,0	5,0
23	3,6	0,95	26,00	1,9	5,6
24	4,2	1,02	24,56	1,8	6,0
25	7,0	0,78	11,13	5,8	9,2
26	7,7	1,08	14,10	5,9	11,9
27	8,3	1,37	16,47	6,9	14,2
28	7,3	0,86	11,77	5,7	9,3
29	7,2	0,84	11,74	5,5	9,1
30	8,0	0,92	11,47	6,0	10,4

A-6 NOTURNO

Ensaio	Lâmina média (mm)	Desv.Pad	C.V. (%)	Val.Mín	Val.Máx
1	8,0	1,3	16,6	6,5	13,9
2	7,7	1,1	14,8	5,5	11,0
3	7,0	1,1	16,2	5,0	9,5
4	7,9	1,0	12,7	6,0	11,0
5	8,6	1,1	12,7	6,8	12,5
6	8,5	1,2	14,2	5,0	11,0
7	7,6	0,9	12,5	5,6	10,5
8	7,9	1,0	12,8	6,4	12,0
9	8,4	1,2	14,8	6,8	14,0
10	8,0	0,9	11,5	6,5	11,5
11	7,9	1,0	12,9	5,8	9,8
12	7,5	0,9	12,1	5,5	10,2
13	8,3	0,8	10,2	6,6	11,4
14	7,9	1,0	12,7	5,5	10,0
15	7,8	1,0	12,9	5,6	10,2
16	7,9	1,0	12,7	6,0	10,4
17	7,9	1,0	13,3	5,6	10,0
18	8,2	1,2	14,9	6,5	13,0
19	7,7	1,1	14,9	6,0	11,0
20	7,2	1,0	14,2	5,6	10,0
21	8,4	1,1	13,1	7,2	12,0
22	8,5	1,1	13,4	6,3	11,0
23	8,2	1,1	14,1	6,0	12,0
24	8,0	1,0	12,9	5,9	10,9
25	8,0	1,0	12,9	6,1	11,0
26	8,3	1,1	13,6	6,6	12,0
27	7,8	1,0	13,4	6,0	11,0
28	8,3	1,1	13,0	6,3	11,6
29	8,2	1,0	12,6	6,5	11,6
30	8,4	1,1	12,8	6,5	11,6