

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CLEWERTON FREDERICO SCHERAIBER

**ADAPTAÇÃO METODOLÓGICA PARA A ESTIMATIVA E CARACTERIZAÇÃO
DAS RELAÇÕES HÍDRICAS COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO AGRÍCOLA**

CURITIBA

2012

CLEWERTON FREDERICO SCHERAIBER

**ADAPTAÇÃO METODOLÓGICA PARA A ESTIMATIVA E CARACTERIZAÇÃO
DAS RELAÇÕES HÍDRICAS COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Solo e Ambiente, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Robson André Armino

CURITIBA

2012



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIA DO SOLO

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **CLEWERTON FREDERICO SCHERAIBER**, sob o título: **"Adaptação metodológica para estimativa e caracterização das relações hídricas como suporte ao planejamento agrícola"**, requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Solo e Ambiente, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Solo e Ambiente"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 18 de maio de 2012.

Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, Presidente

Prof. Dr. Sandro José Briski, Iº. Examinador

Prof. Dr. Volnei Pauletti, IIº. Examinador

Prof. Dr. Robson André Armindo, IIIº. Examinador

DEDICATÓRIA

A minha Família, em especial meus pais, Aderaldo E. Scheraiber e Maria de Lourdes M. Scheraiber, os maiores incentivadores e porto seguro desta caminhada. E a minha avó Maria (*in memoriam*), com o seu exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus pela vida e as conquistas realizadas, em especial este novo passo.
- Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de cursar o mestrado.
- Ao orientador, Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, pela oportunidade, mesmo sem conhecer meu trabalho apostou na minha capacidade. A sua amizade contribuiu em muito tanto no meu caminho acadêmico quanto na vida pessoal e profissional. A sua paciência mineira e contribuição durante todo o processo de construção do meu aprendizado no mestrado e na elaboração da dissertação.
- Ao Instituto Tecnológico (SIMEPAR) pela disponibilização das informações, viabilizando a elaboração do trabalho de dissertação.
- Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo conhecimento e experiência compartilhada.
- Aos meus colegas da turma de 2010 pelas contribuições ao longo dos dois anos que estivemos compartilhando experiências.
- Aos meus novos amigos Andressa e Emerson, pelos conselhos e contribuições nos momentos mais difíceis deste trajeto.
- A empresa Pöyry Silviconsult e aos meus colegas e amigos de empresa, pela disponibilização do tempo e apoio necessário a realização do mestrado. Em especial minha amiga Marina pela ajuda no inglês. Ao Altamir e Gisele pelo apoio em toda a trajetória do mestrado.
- Ao pessoal do Geoprocessamento da Pöyry Silviconsult, Gabriel e Rodrigo.
- Aos professores do curso de Geografia da Universidade Tuiuti, em especial ao Prof. Dr. Sandro José Briski e Prof^a. Msc. Venina Prates, pelo apoio e contribuição nesta jornada.
- Aos meus familiares, por compreenderem a minha ausência durante estes dois anos, especialmente aos meus pais Aderaldo e Lourdes que apoiaram e incentivaram, principalmente nos momentos mais difíceis.
- A todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	5
2.1 Estimativa do balanço hídrico.....	5
2.2 Dados climáticos, localização e caracterização da área de estudo.....	5
2.3 Estimativa da evapotranspiração de referência (<i>ET_o</i>)	6
2.4 Preenchimento de falhas	6
2.5 Evapotranspiração da cultura (<i>ET_c</i>).....	7
2.6 Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) e armazenamento da água no solo (<i>ARM</i>).....	7
2.7 Construção de cenários	8
2.8 Índice de satisfação das necessidades de água (<i>ISNA</i>).....	8
2.8.1 <i>ISNA</i> - Soja	9
2.8.2 <i>ISNA</i> – Algodão Herbáceo	9
2.9 Distribuições de frequência e probabilidade das componentes do balanço hídrico	10
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1. Precipitação (<i>P</i>) e Evapotranspiração de referência (<i>ET_o</i>).....	12
3.2 Evapotranspiração da cultura (<i>ET_c</i>).....	14
3.3 Armazenamento de água no solo (<i>Arm</i>).....	15
3.4 Alteração do armazenamento da água no solo (<i>Alt</i>)	16
3.5 Evapotranspiração real (<i>ER</i>)	17
3.6 Deficiência hídrica (<i>Def</i>)	19
3.7 Excedente hídrico (<i>Exc</i>).....	20
3.8 Necessidade de irrigação (<i>I</i>).....	21
3.9 Cenários envolvendo cultivos agrícolas	22
3.9.1 Cenário para a cultura da soja	22
3.9.2 Cenário para a cultura do algodão herbáceo	28
4 CONCLUSÕES	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
5 LITERATURA CITADA	34
APÊNDICE 01 – Distribuição de frequência e probabilidade dos valores decendiais da <i>ET_o</i> e <i>P</i> (mm decênio ⁻¹) e valores médios de temperatura do ar (°C), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR.....	39

APÊNDICE 02 – Distribuição de frequência dos valores decendiais ETc (mm decêncio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR.	41
APÊNDICE 03 – Distribuição de frequência dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (mm decêncio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p de 0,3, 0,5 e 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.	43
APÊNDICE 04– Distribuição de frequência dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (mm decêncio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p de 0,3, 0,5 e 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.	59
APÊNDICE 05 – Distribuição de frequência dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (mm decêncio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p de 0,3, 0,5 e 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.	75
APÊNDICE 06 – Distribuição de frequência dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (mm decêncio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p de 0,3, 0,5 e 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.	94
APÊNDICE 07 – Probabilidade dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (%), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 e 60 mm; fração p de 0,3, 0,5 e 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.	113
APÊNDICE 08 – Interpolação dos períodos de plantio e estádios de desenvolvimento da soja com as distribuições de frequência dos valores decendiais da Def e Exc (mm decêncio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm e 60 mm; fração p de 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.	118
APÊNDICE 09 – Interpolação dos períodos de plantio e estádios de desenvolvimento da soja com as distribuições de frequência dos valores decendiais do ISNA, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm e 60 mm; fração p de 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.	127
APÊNDICE 10 – Interpolação dos períodos de plantio e estádios de desenvolvimento do algodão com as distribuições de frequência dos valores decendiais da Def e Exc (mm decêncio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm e 60 mm; fração p de 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.	132
APÊNDICE 11 – Interpolação dos períodos de plantio e estádios de desenvolvimento do algodão com as distribuições de frequência dos valores decendiais da ISNA, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm e 60 mm; fração p de 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.	137
APÊNDICE 12 – Valores Prováveis de P , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR.	140
APÊNDICE 13 – Valores Prováveis para I , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm.	142
APÊNDICE 14 – Valores Prováveis para Def , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR considerando: CAD de 20 mm.	144
APÊNDICE 15 – Valores Prováveis para Exc , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm.	146

APÊNDICE 16 – Valores Prováveis para <i>I</i> , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 60 mm.	148
APÊNDICE 17 – Valores Prováveis para <i>Def</i> , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 60 mm.....	150
APÊNDICE 18 – Valores Prováveis para <i>Exc</i> , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 60 mm.....	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Duração dos estádios fenológicos dos cultivares da cultura da soja, com diferentes ciclos e seus respectivos coeficientes de cultivo (<i>kc</i>).....	9
Tabela 2. Duração dos estádios fenológicos dos cultivares da cultura do algodão, com diferentes ciclos e seus respectivos coeficientes de cultivo (<i>kc</i>).....	10
Tabela 3. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais de <i>P</i> (mm decêndio ⁻¹) e <i>ET_o</i> (mm decêndio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR.....	13
Tabela 4. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da <i>ET_c</i> (mm decêndio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando valores de <i>kc</i> igual a 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.....	15
Tabela 5. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais do <i>Arm</i> (mm decêndio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 20 mm e 60 mm; fração <i>p</i> de 0,3, 0,5 e 0,7; <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.....	16
Tabela 6. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da <i>Alt</i> (mm decêndio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> de 0,3, 0,5 e 0,7; <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.....	17
Tabela 7. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da <i>ER</i> (mm decêndio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> de 0,3, 0,5 e 0,7; <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.....	18
Tabela 8. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da <i>Def</i> (mm decêndio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> de 0,3, 0,5 e 0,7; <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.....	19
Tabela 9. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais do <i>Exc</i> (mm decêndio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> de 0,3, 0,5 e 0,7; <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.....	21
Tabela 10. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da irrigação (<i>I</i> : mm decêndio ⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> de 0,3, 0,5 e 0,7; e, <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.....	22
Tabela 11. Probabilidade de ocorrência dos valores de ISNA e nível de risco hídrico para a cultura da soja, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> 0,5; e, <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.....	25
Tabela 12. Probabilidade de ocorrência dos valores de ISNA para a cultura da soja, por estágio de desenvolvimento, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: período de 110 dias; <i>CAD</i> de 20 mm; fração <i>p</i> 0,3; e, <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.....	26
Tabela 13. Probabilidade de ocorrência dos valores de ISNA para a cultura da soja, por estágio de desenvolvimento, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: período de 140 dias; <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> 0,3; e, <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.....	27
Tabela 14. Probabilidade de ocorrência dos valores de ISNA e nível de risco hídrico para a cultura do algodão herbáceo, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> 0,7; e, <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.....	30
Tabela 15. Probabilidade de ocorrência dos valores de ISNA para a cultura do algodão herbáceo, por estágio de desenvolvimento, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: período de 140 dias; <i>CAD</i> de 20 e 60 mm; fração <i>p</i> 0,7; e, <i>kc</i> de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.....	30

ADAPTAÇÃO METODOLÓGICA PARA A ESTIMATIVA E CARACTERIZAÇÃO DAS RELAÇÕES HÍDRICAS COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO AGRÍCOLA¹

Autor: Clewerson Frederico Scheraiber

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Robson André Armindo

RESUMO

A partir de valores diários de precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_0), considerando diferentes capacidades de água disponível no solo (20 e 60 mm), coeficientes de cultura (0,45, 0,75, 0,85 e 1,10) e frações p (0,30, 0,50 e 0,70), teve-se como objetivo no presente trabalho calcular as componentes do balanço hídrico (Arm - armazenamento, Alt - alteração, ER - evapotranspiração real, I - irrigação, Def - deficiência e Exc - excedente), bem como analisar a tendência e probabilidade das mesmas, formando uma matriz que dê suporte à caracterização hídrica e ao planejamento agrícola, nas diversas condições de cultivo, na região de Ponta Grossa. Considerando uma série de dados climáticos de 14 anos, as componentes diárias do balanço hídrico foram agrupadas em períodos decendiais, estabelecendo-se: distribuições de frequência; análise da tendência e dispersão dos dados; distribuição de probabilidade de melhor ajuste; probabilidade a 75%; e, cálculo do Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) nos estádios de desenvolvimento para os ciclos da safra de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias). Os cálculos foram realizados com rotinas de programação desenvolvidas para essa finalidade. A determinação da distribuição de probabilidade de melhor ajuste aos dados foi realizada considerando o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, aplicado a cinco distribuições de probabilidade. As análises de simulação realizadas permitiram quantificar e caracterizar como ocorreram as relações hídricas para as condições de desenvolvimento de culturas. Os cenários criados como referência, indicaram valores de deficiência hídrica e ISNA favoráveis à soja e algodão. Entretanto, para cultura de algodão ocorreram restrições devido à baixa temperatura e elevada umidade relativa nos dois primeiros estádios de desenvolvimento da cultura.

Palavras Chaves: Balanço Hídrico, Componentes hídricas, Deficiência, ISNA.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (160 p.) Maio, 2012.

ADJUSTMENT METHODOLOGY FOR ESTIMATING AND CHARACTERIZATION OF WATER RELATIONS IN SUPPORT TO AGRICULTURAL PLANNING²

Author: Clewerson Frederico Scheraiber

Advisor: Teach. Doc. Jorge Luiz Moretti de Souza

Co-Advisor: Teach. Doc. Robson André Armindo

ABSTRACT

As the adoption of daily values of precipitation (P) and reference evapotranspiration (ET_0); different capabilities of water availability in soil (20 and 60 mm); crop coefficients (0.45, 0.75, 0.85 and 1.10) and p fractions (0.30, 0.50 and 0.70), this current project's objective is to calculate the water balance components tendency (Arm - soil moisture storage, Alt - change in soil moisture storage, ER - actual evapotranspiration, I - irrigation, Def - deficit and Exc - surplus) and also analyze their tendencies and probability curves. These analysis founded a matrix which supports the hydric characterization and the agricultural planning in different crops in the region of Ponta Grossa. As the adoption of a 14 years a climatic data base, the daily values of the water balances components were grouped in 10 days periods, settling: frequency distributions; trend analysis; data dissemination; adjustment of the best probability distribution, as 75% probability; calculation of the Index Satisfaction of Water Requirements (ISNA) in the development stages for soybean crop cycles (110 and 140 days) and cotton crops cycles (140 days). All the involved calculations were performed through adequate programming routines developed for the specific purpose. The determination of the adjusted probability distribution was performed through the goodness-of-fit test of Kolmogorov-Smirnov, which was applied to five probability distributions. The performed analyzes provided the possibility of quantifying and characterizing the hydric dynamics for different conditions of crop development in the studied region. The scenarios created as a reference indicated water deficit values and ISNA favorable to soybeans and cotton crops. However, there were restrictions for cotton crops due to low temperature and high relative humidity in its first two development stages in the municipality of Ponta Grossa, PR.

Key Words: Water Balance, Hidric Components, Deficiency, ISNA.

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (160 p.) May, 2012.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma importante atividade econômica e a oscilação e quebra na produção, decorrentes de fenômenos meteorológicos (estiagem e excedentes pluviométricos), geram efeitos negativos que alcançam diversas partes da economia dos municípios. A compreensão da disponibilidade e limitação hídrica auxilia no planejamento para uma agricultura racional e menos sujeita às adversidades climáticas (Leivas et al., 2005). Dessa forma, o planejamento da atividade agrícola é cada vez mais necessário, minimizando os riscos e potencializando a exploração dos recursos naturais por meio da identificação das variações climáticas (Santos et al., 2010).

Estudos envolvendo balanço hídrico, o qual compreende o somatório das quantidades de água que entram e saem de um volume de solo em um intervalo de tempo (Reichardt & Timm, 2004), tornou-se uma alternativa importante e essencial ao planejamento da necessidade e disponibilidade do recurso hídrico em diversas situações (Santos, 2010). Análises complementares tentando extrair maiores informações das séries de valores das componentes dos balanços hídricos, envolvendo distribuição de frequência e probabilidades, também têm ganhado destaque e importância no cenário do planejamento agrícola, como mostram diversos estudos relacionados à temática (Kerkides et al., 1996; Caramori et al., 2001; Fietz et al., 2001; Leivas et al., 2005; Souza & Frizzone, 2007a; Souza & Gomes, 2007; Souza & Gomes, 2008; Santos et al., 2010).

O monitoramento da água no solo pode ser realizado com uma série de modelos matemático-estatísticos que possibilitam a contabilização das entradas e saídas de água no solo. O mais conhecido e citado modelo para o cálculo do balanço hídrico para finalidade agrícola foi descrito por Thornthwaite & Mather (1955), o qual tem sido utilizado por diversos autores, empregando a metodologia original ou adaptada (Kerkides et al., 1996; Caramori et al., 2001; Fietz et al., 2001; Leivas et al., 2005; Souza & Frizzone, 2007; Souza & Gomes, 2007; Souza & Gomes, 2008; Santos et al., 2010).

Pereira et al. (1997) descreve que o modelo proposto por Thornthwaite & Mather (1955) possibilita o monitoramento das entradas e saídas de água no solo de forma eficiente, indicando os períodos prováveis de excedentes e deficiência hídricas, ideal para trabalhos de macro escala. Entretanto, devido à simplificação, alguns trabalhos necessitam modificações, uma vez que originalmente o modelo trabalha com médias mensais de temperatura e precipitação (Varejão, 2005). Diversos autores têm realizado adaptações na metodologia, utilizando dados diários ou agrupamentos menores (semana, decêndio e quinzena), descartando valores médios para algumas componentes do balanço hídrico (Wrege et al., 1999; Fietz et al., 2001; Nied et al., 2005; Souza & Gomes, 2007; Araújo et al., 2009).

Adaptações e variações no balanço hídrico são necessárias devido aos cultivos agrícolas possuírem sistemas radiculares, estádios de desenvolvimento e solos que promovem variação contínua da capacidade de água disponível no solo (*CAD*) (Ometo, 1981; Pereira et al., 1997). Cardoso (2005) destaca a importância da abrangência da estimativa do balanço hídrico, de modo a serem respeitadas as variações de cultura, solo e clima.

Utilizando a metodologia proposta por Thornthwaite & Mather (1955), Souza (2008) desenvolveu um modelo denominado “*MORETTI* – Módulo: Balanço hídrico sequencial (Periodicidade: 1, 5, 7, 10 15 e 30 dias), Versão 1.0”. O modelo consiste em um balanço hídrico sequencial, que necessita de dados de precipitação (*P*), evapotranspiração de referencia (*ET_o*), coeficiente de cultivo (*kc*), fração água disponível (*p*) e capacidade de água disponível no solo (*CAD*). Empregando valores pré-definidos de *CAD*, a metodologia permite estimar as componentes do balanço hídrico (*ET_c* – evapotranspiração da cultura, *Arm* – armazenamento, *ER* – evapotranspiração real, *Def* – deficiência hídrica, *Exc* – excedente hídrico e *I* – irrigação) sem a necessidade de medidas diretas do solo. O modelo de Souza (2008) foi extraído e melhorado a partir do modelo original realizado por Souza (2001) e Souza (2005), sendo inúmeros os trabalhos realizados com o seu auxílio (Souza & Frizzone, 2003a; Souza & Frizzone, 2003b; Souza & Frizzone, 2007; Souza & Gomes, 2007; Souza & Trentin, 2007; Souza & Gomes, 2008; Araújo et al., 2009).

A utilização de modelos para a estimativa das componentes do balanço hídrico, semelhantes ao apresentado por Souza (2001), tem contribuído para a realização de diversos trabalhos, voltados ao planejamento agrícola, seja para estimativa de custos (Souza & Frizzone, 2003a e Souza & Frizzone, 2003b), delimitação de períodos críticos para culturas nas safras (Cunha et al., 2001, Fietz & Urchei, 2002; Feivas et al., 2005; Araújo et al., 2009)

ou zoneamentos agrícolas (Cunha et al., 2001; Andrade Junior et al. 2006a; Andrade Junior et al., 2009).

Como suporte à estimativa dos valores resultantes do balanço hídrico, estudos referentes às distribuições de frequência e probabilidade, também fornecem informações em um tempo futuro (Leivas et al., 2005). Dessa forma, proporciona-se a delimitação de períodos e definição para as melhores épocas de plantio e exploração dos recursos naturais (Wrege et al., 1999; Caramori et al., 2001; Fietz et al., 2001; Nied et al., 2005).

Aliado a determinação das componentes hídricas e do estudo probabilístico das mesmas, a utilização de índices que possibilitem indicar o impacto das disponibilidades hídricas impostas pelas condições climáticas à cultura, tem contribuído para a identificação de períodos favoráveis às atividades agrícolas de uma região. Pezzopane et al. (2010) considera que o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA) é um importante indicador na definição do grau e risco de satisfação hídrica da cultura. Basicamente, o índice considera a relação entre a *ER* e a *ETc* do local em estudo, e tem como indicadores graus de satisfação hídrica estabelecidos como favorável, intermediária ou desfavorável à cultura.

Buscando a delimitação da disponibilidade de água e os prejuízos que a sua restrição pode causar na cultura e na safra, autores como Mundstock & Thomas (2005), Araújo et al. (2009) e Cunha (2001) buscaram delimitar com o ISNA períodos de maior sensibilidade na cultura de soja. Os resultados apontaram que os estádios de desenvolvimento I e III podem ser considerados os mais importantes e frágeis a condições de não satisfação hídrica da planta, devido à alta necessidade de água, desenvolvimento das folhas primárias e trifoliadas, assim como o início da floração e desenvolvimento dos grãos. Portanto, a deficiência hídrica nos períodos de desenvolvimento dos estádios I e III pode resultar em aborto de flores, óvulos e legumes, o que resulta na diminuição do tamanho, vigor e quantidade de grãos. Andrade Junior et al. (2006a) também utilizaram e aplicaram o ISNA como suporte ao zoneamento da cultura de algodão herbáceo.

A variação dos valores da capacidade de armazenamento de água no solo (*CAD*), coeficiente de cultivo (*kc*) e fração *p*, possibilitam compor um grande número de cenários, o que contribui para a cálculo das tendências e probabilidades das componentes do balanço hídrico em diversas culturas, estádios de desenvolvimento e solos, sendo uma matriz para análise de diversas culturas. A determinação da probabilidade para valores das componentes do balanço hídrico para uma série de anos, quando interpolados aos períodos de safra,

possibilita a delimitação das tendências e períodos com maior ou menor deficiência e excedente hídrico.

Considerando diferentes capacidades de água disponível no solo, coeficientes de cultura e frações p , teve-se como objetivo no presente trabalho calcular as componentes do balanço hídrico, bem como analisar a tendência e probabilidade das mesmas, formando uma matriz que dê suporte à caracterização hídrica e ao planejamento agrícola, nas diversas condições de cultivo, na região de Ponta Grossa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Estimativa do balanço hídrico

As estimativas das componentes do balanço hídrico (ET_c – evapotranspiração da cultura, Arm – armazenamento de água no solo, ER – evapotranspiração real, Def – deficiência hídrica, Exc – excedente hídrico e I – irrigação) foram realizadas com o programa desenvolvido por Souza (2008), denominado “*MORETTI* – Módulo: Balanço hídrico sequencial (Periodicidade: 1, 5, 7, 10 15 e 30 dias), Versão 1.0” (Souza, 2008). Os dados de entrada necessários foram: precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET_o), coeficiente de cultivo (kc), fração água disponível (p) e capacidade de água disponível no solo (CAD).

Os dados de ET_o e P foram trabalhados com periodicidade diária, possibilitando estimar para o mesmo período os valores de ARM , ER , DEF , EXC e I .

2.2 Dados climáticos, localização e caracterização da área de estudo

Os dados climáticos utilizados foram coletados na estação climatológica automática do SIMEPAR, localizada no município de Ponta Grossa, com coordenadas $25^{\circ} 12' 59''$ S de latitude, $50^{\circ} 01' 59''$ O de longitude e altitude de 885 m. A série utilizada possui 14 anos (1997-2010), sendo constituída de dados diários de temperatura média, máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento (a dois metros de altura).

Localizado no segundo planalto paranaense (Figura 2.1), o município de Ponta Grossa possui clima Cfb com verões temperados e temperaturas médias abaixo de 22° . Mesotérmico, o inverno e verão são bem definidos (verões frescos e invernos frios). Nos meses mais frios ocorrem geadas severas e frequentes. As chuvas ocorrem em quase todos os meses, caracterizando clima úmido com inexistência de estação seca bem definida e, no mês mais quente, a temperatura média é inferior a 22°C (Caviglione et al., 2000).



Figura 1 – Localização do município de Ponta Grossa – PR

2.3 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência diária (ET_o) foi estimada em planilhas eletrônicas, empregado o método de Penman-Monteith parametrizada pela FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Allen et al., 1998), conforme expressão:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma_{psy} \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma_{psy} \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

Sendo: ET_o – evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n – radiação líquida na superfície ($\text{MJ m}^2 \text{d}^{-1}$); G – balanço do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); γ_{psy} – constante psicométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T – temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura (m s^{-1}); e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); e_a – pressão atual do vapor (kPa).

2.4 Preenchimento de falhas

O preenchimento das falhas de P e ET_o da série, para realização do balanço hídrico diário, foi realizado da seguinte forma:

- Precipitação: Falhas com apenas um dia foram consideradas como precipitação zero. Em falhas com período maior que um dia, considerou-se o mesmo período do ano anterior. Somente quatro períodos contendo falhas maiores que um dia foram encontrados na série;
- Evapotranspiração: Foi criado um ano com valores diários médios da série utilizada (14 anos). Assim, os dias que apresentavam falhas foram preenchidos pelos respectivos valores médios do ano hipotético.

2.5 Evapotranspiração da cultura (ET_c)

Os valores de evapotranspiração da cultura (ET_c) foram calculados no programa balanço hídrico utilizado a equação:

$$ET_c = ET_o \cdot kc$$

Sendo: ET_c – evapotranspiração da cultura ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); ET_o – evapotranspiração de referência ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); kc – coeficiente de cultivo (adimensional).

Como o coeficiente de cultura (kc) está relacionado ao estágio de desenvolvimento da planta, para envolver um grande número de culturas realizou-se uma adaptação da tabela apresentada por Doorembos & Kassam (1994) e Allen et. al. (1998), obtendo-se uma média dos valores de kc de todas as culturas por estágio de desenvolvimento, de modo a resultar nos seguintes valores por estádios:

- Estádio I ($kc = 0,45$): emergência até 10% da cobertura da superfície do solo (CSS);
- Estádio II ($kc = 0,75$): 10% da CSS até 80% da CSS;
- Estádio III ($kc = 1,10$): 80% da CSS até 100% da CSS (inclusive com frutos);
- Estádio IV ($kc = 0,85$): maturação fisiológica e colheita.

2.6 Capacidade de água disponível (CAD) e armazenamento da água no solo (ARM)

Baseando-se nas informações de Souza & Gomes (2007) e Araújo et al. (2009), foram utilizados os valores de CAD de 20 mm e 60 mm, cujo intervalo engloba as condições mais encontradas no município de Ponta Grossa, Paraná.

Para a estimativa do armazenamento de água no solo e/ou “negativo acumulado”, foi utilizada a equação Co-senoidal proposta por Rijtema & Aboukhaled (1975). Para o cálculo, o programa balanço hídrico considera as seguintes condições:

– Se $CAD (1 - p) < ARM \leq CAD$, ou seja, zona úmida, então

$$ARM = CAD - L$$

– Senão, se $0 < ARM \leq CAD (1-p)$, ou seja, na zona seca, então

$$ARM = (1 - p) \cdot CAD \cdot \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \arctg \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{|L| - CAD \cdot p}{(1 - p) \cdot CAD} \right) \right] \right\}$$

Sendo: CAD – capacidade de água disponível (mm), ARM – armazenamento de água do solo (mm); L – valor do negativo acumulado no decêndio (mm); p – fração água disponível no solo para uma determinada cultura (adimensional).

Como somente uma fração da capacidade de água disponível no solo (CAD) pode ser retirada pelas culturas, seguindo as sugestões de valores de fração p propostos por Allen et al. (1998) para diversas culturas, utilizou-se os valores médios de fração p iguais a 0,3, 0,5 e 0,7 para representar os grupos de cultura “verduras e legumes”, “frutas e forrageiras” e “grãos e algodão”, respectivamente.

2.7 Construção de cenários

As variações dos valores de CAD , kc e fração p resultaram em 48 cenários diferentes para o balanço hídrico diário para a região de Ponta Grossa. Após as análises, os valores diários das componentes do balanço hídrico foram agrupados em decêndios, o que totalizou 518 observações nos 14 anos da série. Um ponto a ser considerado refere-se ao 37º decêndio de cada ano, que diferente dos demais, possui somente cinco ou seis dias (anos bissextos).

2.8 Índice de satisfação das necessidades de água (ISNA)

Para definir o risco em relação aos valores de Def no município, foi utilizado o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA).

$$ISNA = \frac{\sum_{i=1}^n ER_i}{\sum_{i=1}^n ETc_i}$$

Sendo: ISNA – Índice de Satisfação das Necessidades de Água (adimensional); ER_i – evapotranspiração real no i -ésimo período (mm período⁻¹); ETc_i – Evapotranspiração da cultura no i -ésimo período (mm período⁻¹); n – período (número de dias dos estádios I, II, III, IV ou do período total).

A partir das informações geradas (Apêndices 2 a 6) e baseando-se nas informações do IBGE (2010), que traz as principais culturas e área cultivada no município de Ponto Grossa, entre os anos de 1997 a 2010 (14 anos), dois cenários contendo as culturas da soja e algodão herbáceo foram montados. A escolha da soja deveu-se a importância e área cultivada no município nos últimos 14 anos. O algodão herbáceo não é cultivado no município e foi utilizado propositalmente como exemplo, para verificar como seria o seu comportamento no local.

2.8.1 ISNA - Soja

Para a classificação do ISNA da cultura da soja foi utilizada a metodologia proposta por Farias et al. (2001) e Cunha et al. (2001), que consideram as seguintes classes: favorável ($ER/ETc \geq 0,65$), intermediária ($0,55 \leq ER/ETc < 0,65$) e desfavorável ($ER/ETc < 0,55$).

Na estimativa do ISNA para soja foram utilizados os dados referentes aos períodos de semeadura realizados pela Fundação ABC (Araújo et al., 2009), no município de Ponta Grossa. Para isso foram sobrepostos os valores decendiais de *Def* e ISNA com os ciclos da safra e seus respectivos estádios de desenvolvimento. Foram analisados ciclos de 110 e 140 dias, com início no terceiro decêndio de novembro (decêndio 33). Os períodos foram uma adaptação de Costa (1996); Farias et al. (2001) e Araújo et al. (2009) (Tabela 1).

Tabela 1. Duração dos estádios fenológicos dos cultivares de soja, com seus respectivos ciclos e coeficientes de cultivo (*kc*).

Especificação	Estádios fenológicos			
	S-V1/V2 (Decêndio 33)	V2-R1 (Decêndio 34-36)	R1-R6/R7 (Decêndio 37-03)	R7-R9 (Decêndio 04-06)
110 dias	10	30	40	30
140 dias	20	40	50	30
<i>kc</i>	0,45	0,75	1,10	0,85

S: semeadura; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

2.8.2 ISNA – Algodão Herbáceo

Para a classificação dos valores ideais de ISNA para a cultura do algodão herbáceo foi utilizada a metodologia de Andrade Junior et al. (2006a), que considera as seguintes classes: favorável ($ER/ETc \geq 0,55$), intermediária ($0,35 \leq ER/ETc < 0,55$) e desfavorável ($ER/ETc < 0,35$).

Devido a inexistência de cultivo de algodão no município de Ponta Grossa, em dados fornecidos pelo IBGE (2010), foram utilizadas informações referentes aos períodos médios de cultivo do algodão no Estado do Paraná. O período de safra utilizado para simulação no município foi a média das quatro últimas safras (07/08, 08/09, 09/10 e 10/11), disponibilizadas pelo Plano de Safras do Paraná (SEAB, 2011). A delimitação do período de safra possibilitou a sobreposição dos valores decendiais de *Def*, *Exc* e ISNA com os ciclos da safra e seus respectivos estádios de desenvolvimento.

Foi analisado um ciclo de 140 dias com quatro estádios de desenvolvimento, com seus respectivos valores de *kc* (Tabela 02), conforme apresentado por Andrade Junior et al. (2006a). O início da safra ocorreu no primeiro decêndio de outubro (decêndio 28), conforme o plano de safra para o algodão no Estado do Paraná.

Tabela 2. Duração dos estádios fenológicos dos cultivares do algodão, com seus respectivos ciclos e coeficientes de cultivo (*kc*).

Especificação	Estádios fenológicos														
	I				II				III				IV		
Decêndios do ciclo de 140 dias	28	29	20	31	32	33	34	35	36	37	01	02	03	04	
<i>kc</i>	0,40	0,50	0,71	0,94	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,00	0,90	0,80	0,71	0,71	

I. Da emergência ao surgimento do primeiro botão; II. Do surgimento do primeiro botão à abertura da primeira flor; III. Do surgimento da primeira flor à abertura do primeiro capulho; IV. Da abertura do primeiro capulho a completa maturação das maçãs (Andrade Junior et al., 2006a)

Juntamente com os resultados de ISNA, foi analisada a temperatura média e precipitação anual por estágio de desenvolvimento. Foi considerado como temperatura média ideal valores entre 20°C e 30°C. As demais temperaturas foram classificadas como não ideais ao cultivo, classificação estabelecida conforme estudos realizados por Wrege et al. (2000), Neto et al. (2001), EMBRAPA (2003a), EMBRAPA (2003b), Andrade Junior et al. (2006a), Andrade Junior et al. (2006b) e Andrade Junior et al. (2009). Precipitações abaixo de 1.500 mm anuais foram consideradas ideais para a cultura do algodão, conforme estabelecido por EMBRAPA (2003a) e EMBRAPA (2003b).

2.9 Distribuições de frequência e probabilidade das componentes do balanço hídrico

Os parâmetros estatísticos de frequência e probabilidade das componentes do balanço hídrico foram determinados em um programa denominado “Moretti – Módulo: Distribuição de frequência e teste de aderência, versão 2.0” (Souza, 2008), juntamente com rotinas em planilhas eletrônicas desenvolvidas especificamente para essa finalidade.

Os valores decendiais das componentes do balanço hídrico (*ETo*, *P*, *ARM*, *ER*, *DEF*, *EXC* e *I*) foram ajustados às distribuições de probabilidade Gama, Normal, Exponencial, Triangular e Uniforme, com a finalidade de obter os parâmetros estatísticos da distribuição de melhor ajuste, utilizando o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

O teste de Kolmogorov-Smirnov avalia por meio de um valor D_{max} , o ajuste entre a distribuição de frequência acumulada teórica $F'(x)$ e outra, $F(x)$, proveniente dos dados amostrados.

$$D_{max} = \text{Max } |F(x) - F'(x)|$$

Sendo: D_{max} o valor crítico para a estatística de Kolmogorov-Smirnov; $F(x)$ a função de distribuição de probabilidade teórica; $F'(x)$ a função de distribuição de probabilidade observada

Para a condição “ D_{max} calculado < D_{max} tabelado”, aceita-se a hipótese de que os valores da amostra ajustam-se à distribuição de probabilidade, ao nível de 5% de significância. Caso contrário, a hipótese é rejeitada.

O valor de D_{max} tabelado foi estimado utilizando as seguintes equações, conforme recomendações de Assis et al. (1996) e Souza (2001):

Para $N < 16$

$$D_{max} = 0,971 - 0,2388 \text{ Ln } N$$

Para $N \geq 16$

$$D_{max} = \frac{1,37}{\sqrt{N}}$$

Sendo: D_{max} – valor crítico D_{max} da estatística de Kolmogorov-Smirnov; N – número de elementos da amostra (adimensional).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a apresentação dos resultados, foram organizados apêndices contendo todas as figuras e tabelas produzidas e utilizadas na discussão do trabalho. Nos apêndices, as tabelas e figuras trazem no início a letra “A” (indicando apêndice), seguido do número do apêndice e da ilustração (ex. Figura A1-1).

3.1. Precipitação (P) e Evapotranspiração de referência (ET_o)

Na Figura 2 encontram-se apresentados os valores trimestrais de precipitações da série estudada (1997 a 2010) e as Normais Climatológicas (1961 a 2010) (FORTES, 2011). Os dados indicaram tendência similar entre elas, mostrando que os valores encontrados na série estudada ficaram entre os limites superior e inferior da faixa normal da maioria dos trimestres, conforme os dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (Figura 2). Observou-se que os dados da série estudada nos trimestres de jan-fev-mar, fev-mar-abr e dez-jan-fev ficaram abaixo do limite inferior da faixa normal, e acima do limite superior no trimestre móvel de jul-ago-set (Figura 2). Nos demais trimestres analisados, observou-se que a precipitação da série estudada (1997-2010) acompanhou a série estabelecida pelo INMET (1961-2010).

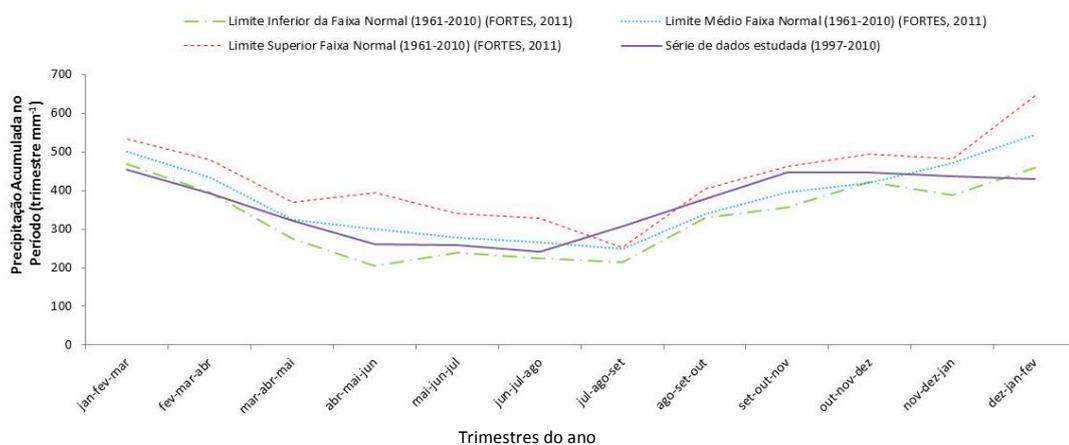


Figura 2 – Precipitação mensal ocorrida entre 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, e valores médios apresentados nas Normais Climatológicas para o mesmo local.

O regime pluviométrico em Ponta Grossa, conforme série estuda, indicou uniformidade na distribuição durante o ano, com precipitações frequentes, contribuindo para a reposição de água no solo, o que poderá ser observado nos resultados referentes à deficiência e excedente hídrico. Em torno de 67,7% da precipitação do município ficaram abaixo de 50 mm decêndio⁻¹, ocorrendo menor concentração entre os decêndios 13 e 26 (maio e setembro) (Tabela 3 e Figura A1-1). Nos decêndios 1 ao 13 (janeiro a abril) e 27 ao 37 (outubro a dezembro) ocorreu aumento da precipitação (> 50 mm decêndio⁻¹) (Figura A1-1). A ocorrência de decêndios sem precipitação no município de Ponta Grossa têm 10,32% de probabilidade, o que caracteriza um regime pluviométrico uniforme.

Tabela 3. Probabilidade de ocorrência dos valores decenciais de P (mm decêndio⁻¹) e ET_o (mm decêndio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR.

----- Intervalos de classe (mm decêndio ⁻¹) -----		Probabilidade (%)
Limite inferior	Limite superior	
Precipitação (P)		
0**	50	67,76
50	101	25,29
101	151	5,79
151	202	0,97
202	252	0,19

Evapotranspiração de referência (ET_o)		
9	16	22,59
16	23	17,57
23	29	20,66
29	36	30,50
36	43	8,49

** Probabilidade de não ocorrer precipitação nos decêndios: $P(P = 0) = 10,32\%$

Os valores de ET_o no município apresentaram três períodos bem definidos (Figura A1-1). O primeiro período ficou compreendido entre os decêndios 1 a 7 (janeiro e fevereiro) e 31 a 36 (novembro e dezembro), sendo caracterizado por maiores valores de ET_o (29 a 42 mm decêndio⁻¹). O segundo período apresentou decréscimo da ET_o (16 a 29 mm decêndio⁻¹) entre os decêndios 8 a 12 (março e abril) e 23 a 30 (setembro e outubro). O terceiro período compreendeu os decêndios 13 a 22 (maio a agosto), sendo encontrados os menores valores de ET_o (9 a 16 mm decêndio⁻¹). Os períodos e valores de ET_o são semelhantes aos encontrados por Souza & Gomes (2008) no município de Ponta Grossa.

Na Figura 3 encontram-se dispostos os dados de P e ET_o decencial do ano de 2004, como exemplo do período entre 1997 a 2010 que foi analisado. A partir dos valores de $P < ET_o$ diário os valores de P e ET_o decencial do período entre 1997 a 2010 foram contabilizados, resultando em uma probabilidade de ocorrer $P < ET_o$ decencial de 43%. O

resultado indica que, dependendo da capacidade de água disponível no solo (CAD) e da cultura, problemas com deficiência podem ocorrer, mesmo havendo certa uniformidade da precipitação no local. Assim, quando a precipitação não supre a quantidade de água evapotranspirada, parte da água armazenada no solo começa a ser utilizada. No balanço hídrico utilizado, as saídas e entradas de água no solo são contabilizadas e indicadas na “alteração” (ALT). Valores de armazenamento de água no solo abaixo da água disponível ($AD = CAD \cdot p$) influencia diretamente nos valores de ER , ficando abaixo da ETc (Reichert, 1990).

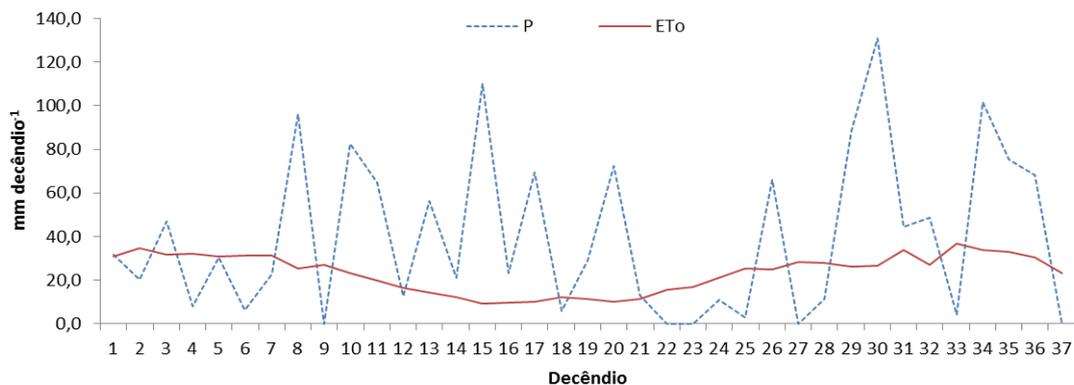


Figura 3 – Precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ETo) decendial ocorrida no ano de 2004, em Ponta Grossa-PR

3.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Para a ETc , considerando valores de kc de 0,45 e kc de 1,10, foram encontrados dois e três períodos bem definidos de ocorrência, respectivamente, conforme pode ser observado nos Figura A2-1.

Para o kc de 0,45 um período ficou bem identificado entre os decêndios 1 ao 9 e 25 ao 37, apresentando ETc entre 12 a 21 mm decêndio^{-1} . Outro período ficou bem identificado entre os decêndios 10 a 24, apresentando ETc entre 4 e 12 mm decêndio^{-1} .

Elevando-se os valores de kc para 1,10, observou-se a formação de três períodos distintos para ETc (Figura A2-1). Um período ficou delimitado entre os decêndios 1 a 4 e 29 a 37. As ETc do período foram elevadas, ficando compreendidas entre 29 e 46 mm decêndio^{-1} . Um segundo período está delimitado pelos decêndios 4 a 12 e 23 a 28, apresentando ETc entre 21 e 38 mm decêndio^{-1} . Um terceiro período ficou delimitado entre os decêndios 13 e 22, apresentando ETc entre 4 e 21 mm decêndio^{-1} , sendo os menores da série estudada.

As probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da ETc estão dispostos na Tabela 4. Os resultados evidenciaram para kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10, valores de ETc

inferiores a 21, 38, 38 e 47 mm decêndio⁻¹, com 100% de probabilidade, respectivamente. A Tabela 4 é interessante, pois permite obter valores prováveis da *ETc* para vários intervalos de classe, inclusive estimativas para probabilidade a 75% de ocorrência, limite muito utilizado para projetar e planejar projetos agrícolas (Sampaio et al., 2000 e Soccol et al., 2009).

Tabela 4. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da *ETc* (mm decêndio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando valores de *kc* igual a 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência da <i>ETc</i> (%) -----			
Limite Inferior	Limite Superior	<i>kc</i> = 0,45	<i>kc</i> = 0,75	<i>kc</i> = 0,85	<i>kc</i> = 1,10
4	13	57,9	25,5	18,3	3,9
13	21	42,1	32,8	33,2	27,8
21	30	0,0	39,8	38,0	22,6
30	38	0,0	1,9	10,4	34,2
38	47	0,0	0,0	0,0	11,6

3.3 Armazenamento de água no solo (*Arm*)

Diferentemente da *ETo* e *ETc*, o *Arm* não apresentou períodos bem definidos durante os anos e decêndios. Existe uma irregularidade na distribuição dos valores tanto para o balanço hídrico sem irrigação (Figuras A3-1 a A3-3 e A4-1 a A4-3), quanto irrigado (Figuras A5-4 a A5-6 e A6-4 a A6-6). Os resultados obtidos revelaram que as entradas e saídas de água ocorrem aleatoriamente no sistema água-solo-planta, dificultando ou impedindo a obtenção de algum tipo de padrão.

Considerando as *CADs* de 20 e 60 mm verificou-se que a fração *p* não foi a variável que proporcionou maior variação nos valores de armazenamento (Tabela 5). O motivo pode estar ligado à uniformidade de distribuição da precipitação, que manteve o solo na zona úmida na maioria dos decêndios, ou seja, com $Arm > CAD (1 - p)$, para os diferentes grupos de cultura testados (*p* de 0,3, 0,5 e 0,7).

Os valores de *kc* proporcionaram variações consideráveis na probabilidade de ocorrência do *Arm* (Tabela 5). Considerando solos com *CAD* de 20 mm, as classes de *Arm* com maior variação na probabilidade de ocorrência foram: 0 a 4 mm decêndio⁻¹, 4 a 8 mm decêndio⁻¹ e 16 a 20 mm decêndio⁻¹. Para solos com *CAD* de 60 mm foram: 13 a 25 mm decêndio⁻¹ e 48 a 60 mm decêndio⁻¹(Tabela 5).

Tabela 5. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais do *Arm* (mm decêndio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm e 60 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência do <i>Arm</i> (%) -----											
Limite Inferior	Limite Superior	<i>kc</i> = 0,45			<i>kc</i> = 0,75			<i>kc</i> = 0,85			<i>kc</i> = 1,10		
		----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----		
		0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 20 mm													
0	4	3,5	5,8	8,7	10,0	19,5	23,6	15,8	23,4	26,4	23,7	29,7	29,9
4	8	8,7	9,7	7,5	14,5	10,6	7,3	13,9	9,8	7,3	15,8	14,5	13,3
8	12	12,9	10,8	10,4	12,2	12,2	12,5	14,5	13,7	13,7	15,3	11,8	11,8
12	16	15,1	15,3	15,1	20,3	18,1	17,4	18,0	17,4	18,1	16,4	15,6	15,3
16	20	59,8	58,5	58,3	43,1	39,6	39,2	37,8	35,7	34,4	28,8	28,4	29,7
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 60 mm													
1	13	0,0	0,2	0,6	1,7	4,1	5,8	2,9	6,4	9,1	5,4	10,2	17,0
13	25	1,5	1,5	1,4	6,8	6,8	6,0	8,5	9,3	6,9	13,5	12,4	13,5
25	36	4,1	3,9	3,9	11,2	10,4	10,8	13,7	11,6	12,4	14,9	12,0	11,0
36	48	13,1	13,1	12,9	18,7	18,3	17,6	17,4	17,4	15,8	20,5	21,0	18,0
48	60	81,3	81,3	81,3	61,6	60,4	59,8	57,5	55,4	55,8	45,8	44,4	40,5

Considerando os valores de *Arm* no balanço hídrico simulando a ocorrência de irrigação, verificou-se probabilidade acima de 75% para valores entre 13 e 20 mm decêndio⁻¹ (*CAD* de 20 mm) e 37 a 60 mm decêndio⁻¹ (*CAD* de 60 mm), independente da fração *p* e *kc* (Tabela A7-3 e Figuras A5-4 a A5-6 e A6-4 a A6-6).

3.4 Alteração do armazenamento da água no solo (*Alt*)

A alteração do armazenamento da água no solo (*Alt*), devido a sua relação com o *Arm*, não permitiu a identificação de padrões para os períodos, tanto para os balanços hídricos considerando irrigação (Figura A5-7 a A5-9 e A6-7 a A6-9), como não considerando a irrigação (Figuras A3-4 a A3-6; A4-4 a A4-6). Na Tabela 6, verificou-se para o solo com *CAD* de 20 mm que as entradas e saídas de água (*Alt*) concentraram entre os limites -4 e 4 mm decêndio⁻¹ (probabilidade superior à 32,4%). No solo com *CAD* de 60 mm a *Alt* apresentou maior amplitude, concentrando-se entre os limites -21 e 18 mm decêndio⁻¹ (probabilidade superior à 35,1%).

Como era de se esperar, com a utilização da irrigação, verificou-se que as amplitudes de classe da *Alt* diminuíram (Tabela A7-4). Para o solo com *CAD* de 20 mm a *Alt* concentrou-se entre os limites -3 e 4 mm decêndio⁻¹ (probabilidade superior à 37,3%). No solo com *CAD*

de 60 mm a *Alt* ainda apresentou maior amplitude, concentrando-se entre os limites -5 e 12 mm decêndio⁻¹ (probabilidade superior à 38,6%).

Tabela 6. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da *Alt* (mm decêndio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 e 60 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência da <i>Alt</i> (%) -----											
Limite Inferior	Limite Superior	<i>kc</i> = 0,45			<i>kc</i> = 0,75			<i>kc</i> = 0,85			<i>kc</i> = 1,10		
		----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----		
		0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 20 mm													
-19	-11	1,0	2,5	2,9	4,1	7,1	8,9	6,2	9,8	12,0	10,0	11,8	12,4
-11	-4	25,9	24,9	24,7	26,1	26,1	25,1	27,0	24,1	22,4	24,3	23,4	23,0
-4	4	52,3	51,5	51,2	43,4	39,6	38,4	39,0	37,8	37,1	34,2	32,4	32,6
4	12	16,2	14,5	14,1	19,3	18,5	17,0	19,1	18,3	17,2	21,0	20,1	19,3
12	20	4,6	6,6	7,1	7,1	8,7	10,6	8,7	9,8	11,4	10,4	12,4	12,7
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 60 mm													
-41	-21	0,0	0,0	0,0	2,5	3,3	3,7	4,1	5,0	5,4	7,3	9,3	10,0
-21	-2	40,5	40,3	40,2	44,8	45,0	44,2	42,7	41,9	41,3	42,1	40,2	39,2
-2	18	56,2	56,0	56,2	42,9	41,3	41,7	40,9	40,5	41,3	37,6	36,1	35,1
18	37	3,1	3,5	3,5	9,1	9,1	8,3	11,0	10,2	8,7	10,2	10,8	10,8
37	56	0,2	0,2	0,2	0,8	1,4	2,1	1,4	2,3	3,3	2,7	3,7	4,8

3.5 Evapotranspiração real (*ER*)

A *ER* apresentou em Ponta Grossa duas periodicidades bem definidas durante o ano, contendo padrão visual menos nítido que a *ETc* (Figura A2-1), pois a *ER* considera e depende da água disponível no solo (Figuras A3-7 a A3-9 e A4-7 a A4-9). Com a utilização da irrigação o padrão visual da *ER* (Figuras A5-10 a A5-12 e A6-10 a A6-12) ficou muito próximo do que se verificou para a *ETc* (Figura A2-1). Com a realização da irrigação, o armazenamento ficou mais próximos da *CAD* e os valores de *ER* se aproximaram cada vez mais da *ETc*, podendo ocorrer a igualdade ($ER = ETc$), quando o *Arm* permaneceu sempre na zona úmida do solo ($Arm = CAD (1 - p)$).

A distribuição de frequência da *ER*, representada por cor, apresentou dois períodos bem definidos para a ocorrência dos valores em *CAD* de 20 mm (Figura A3-7 a A3-9). Para o *kc* de 0,45, um período ficou caracterizado por valores mais elevados de *ER*, sendo delimitado pelos decêndios 1 a 12 e 24 a 37 (Figura A3-7 a A3-9), contendo valores entre 9,4 a 18,8 mm decêndio⁻¹. O outro período ficou delimitado pelos decêndios 13 a 23, contendo valores inferiores a 9,4 mm decêndio⁻¹ de *ER*. Para os demais valores de *kc*, também foram

observados dois períodos bem definidos durante os decêndios estudados, porém com predomínio de valores maiores de *ER*, principalmente em períodos próximos às estações mais quentes (decêndios 1 a 12 e 24 a 37) (Figura A3-7 a A3-9). Assim, um dos períodos ficou delimitado pelos decêndios 1 a 12 e 24 a 37, com valores entre 18,8 e 46,8 mm decêndio⁻¹. O outro período, ficou delimitado pelos decêndios 13 a 23, com valores que variam de 0,1 a 18,7 mm decêndio⁻¹, sendo caracterizado por valores menores de *ER*. Para *CAD* de 60 mm, as distribuições de frequência representadas por cor seguiram a mesma tendência, havendo, no entanto, um aumento nos valores da *ER* nas classes 19 a 28 mm decêndio⁻¹, 28 a 38 mm decêndio⁻¹, 38 a 47 mm decêndio⁻¹. A limitação do armazenamento contribuiu para que houvesse maior deficiência às culturas no solo contendo *CAD* de 20 mm, conforme será apresentado no próximo subitem.

Os resultados evidenciaram para solos com *CAD* de 20 mm e *kc* igual a 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10, predomínio de valores de *ER* inferiores a 19, 28, 28 e 37 mm decêndio⁻¹, respectivamente (Tabela 7), à 75% de probabilidade. Para os resultados do balanço hídrico com *CAD* de 60 mm, evidenciou o predomínio de *ER* inferiores a 19 mm decêndio⁻¹ para *kc* de 0,45. Para os coeficientes de cultivo (*kc*) 0,75, 0,85 e 1,10, predominaram valores inferior a 28 mm decêndio⁻¹ (Tabela 7).

Tabela 7. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da *ER* (mm decêndio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 e 60 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência da <i>ER</i> (%) -----											
Limite Inferior	Limite Superior	<i>kc</i> = 0,45			<i>kc</i> = 0,75			<i>kc</i> = 0,85			<i>kc</i> = 1,10		
		----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----		
		0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 20 mm													
0	9	45,9	43,6	42,1	22,2	22,2	20,5	21,4	18,5	18,0	18,7	18,1	15,1
9	19	54,1	56,2	57,7	42,9	42,3	42,7	42,3	42,3	41,3	36,9	36,5	37,8
19	28	0,0	0,2	0,2	34,2	34,4	35,1	32,0	32,2	31,3	20,5	19,3	18,9
28	37	0,0	0,0	0,0	0,8	1,2	1,7	4,2	6,9	9,5	23,2	24,7	25,3
37	47	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,4	2,9
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 60 mm													
0	10	37,5	36,9	36,9	12,4	11,8	10,6	8,7	7,1	6,9	5,8	4,8	5,6
10	19	62,4	62,9	62,9	42,9	42,9	42,5	40,5	40,0	40,2	33,2	32,4	30,9
19	28	0,2	0,2	0,2	42,1	41,9	43,1	35,7	34,7	34,6	22,2	23,2	22,6
28	38	0,0	0,0	0,0	2,7	3,5	3,9	15,1	17,4	18,3	29,9	29,3	30,1
38	47	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	8,9	10,2	10,8

3.6 Deficiência hídrica (*Def*)

Conforme comentado no item anterior, os valores de *Def* em solos com *CAD* de 20 mm foram maiores, dependendo da variação do *kc*, ou seja, de 0,45 para 1,10 (Tabela 8). Considerando o *kc* de 1,10, a amplitude de variação dos valores de *Def* foi maior, sendo identificado dois períodos bem distintos. Um período ficou definido pelos decêndios 1 a 11 (janeiro a abril) e 23 a 37 (agosto a dezembro) com variação entre 0 e 42,3 mm decêndio⁻¹. O outro período ficou delimitado pelos decêndios 12 a 22, com variação de *Def* entre 0 e 33,8 mm decêndio⁻¹ (Figuras A3-10 a A3-12; A4-10 a A4-12). O resultado assemelha-se ao encontrado por Fietz et al. (2001), que identificaram períodos de maior probabilidade de ocorrência de *Def* entre os meses de outubro a janeiro e agosto a setembro, para cultura da soja, no município de Dourados, no Mato Grosso do Sul. Para os demais coeficientes de cultivo (*kc*) não foi verificado um padrão definido.

Tabela 8. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da *Def* (mm decêndio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 e 60 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência da <i>Def</i> (%) -----											
Limite Inferior	Limite Superior	<i>kc</i> = 0,45			<i>kc</i> = 0,75			<i>kc</i> = 0,85			<i>kc</i> = 1,10		
		----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----			----- Fração <i>p</i> -----		
		0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 20 mm													
0	8	97,3	97,9	97,5	83,8	83,8	85,1	76,6	77,8	78,8	58,1	60,4	62,7
8	17	2,7	2,1	2,5	12,9	12,5	10,6	17,4	16,0	15,3	22,2	20,1	17,8
17	25	0,0	0,0	0,0	3,1	3,5	3,9	4,6	4,8	4,2	13,3	12,9	13,3
25	34	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	1,4	1,4	1,7	4,8	4,8	4,4
34	42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,7	1,5
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 60 mm													
0	8	100,0	100,0	100,0	94,6	95,4	96,5	90,9	91,5	92,9	83,2	85,7	84,0
8	16	0,0	0,0	0,0	4,8	4,2	2,9	6,9	5,8	5,2	8,9	6,9	6,6
16	24	0,0	0,0	0,0	0,6	0,4	0,6	2,1	2,3	1,7	5,8	4,4	5,4
24	32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	1,7	2,5	3,1
32	40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,8

Para o solo com *CAD* de 60 mm a amplitude da *Def* foi menor que a observada no solo com *CAD* de 20 mm, havendo predomínio de valores entre 0 a 8 mm decêndio⁻¹ para todos os coeficientes de cultivo (*kc*) analisados (Tabela 8, Figuras A4-10 a A4-12).

Em solos com *CAD* de 20 e 60 mm, culturas de fração *p* de 0,30 e *kc* de 0,45, verificou-se que valores de *Def* superiores a 17 mm decêndio⁻¹ foram raros (100% de

probabilidade) (Tabela 8), semelhante ao encontrado por Fietz & Urchei (2002) para a cultura de soja em Dourados - MS.

A *CAD* de 60 mm apresentou condições ótimas para culturas com *kc* próximo a 0,45. Os valores de *Def* foram baixos, sendo menores que 8 mm decêndio⁻¹ em 100% dos decêndios do período analisado. Para os demais coeficientes de cultivo (*kc*) analisados, os maiores valores de *Def* predominantemente foram menores que 16 mm decêndio⁻¹ (Tabela 8).

Constatou-se que a uniformidade da precipitação ao longo do ano no município de Ponta Grossa resultou em pequena diferença para valores de *Def* entre as *CAD* estudadas (Tabela 8). Entretanto, em casos isolados, como o *kc* de 1,10 (estádio III), a *Def* foi maior em solos com *CAD* de 20 mm, alcançando a zona seca ($Arm < CAD \cdot (1 - p)$) mais facilmente. Assim, apesar da precipitação uniforme que ocorre no município, culturas com *kc* de 1,10 não são totalmente supridas pela reposição de água natural no solo, havendo maior necessidade de irrigação para não ocorrer deficiência hídrica à cultura.

3.7 Excedente hídrico (*Exc*)

Identificou-se a diminuição dos valores de *Exc* conforme o desenvolvimento da cultura, tanto para o balanço hídrico sem irrigação (Figuras A3-13 a A3-15; A4-13 a A4-15) quanto para balanço hídrico com a realização de irrigação (Figura A5-16 a A5-18 e A6-16 a A6-18). Porém, não foram observadas periodicidades nas distribuições de frequência empregando cor, para os valores de *Exc*, ao longo dos decêndios do ano.

As probabilidades de ocorrência dos valores decendiais da *Exc* estão dispostos na Tabela 9. Os resultados evidenciaram em solos com *CAD* de 20 mm e 60 mm, probabilidade superior a 75% para valores de *Exc* < 47 mm decêndio⁻¹, em todos os coeficientes de cultivo (*kc*) e frações *p* analisados. De forma geral, a probabilidade de ocorrência dos valores decendiais de *Exc* obtidos para os solos contendo *CAD* de 20 mm ou 60 mm foram próximos, com exceção do intervalo entre 47 a 93 mm decêndio⁻¹. Embora a precipitação da região seja uniforme, muitas precipitações ultrapassam a *CAD* de 20 mm ou ocorrem quando o solo já se encontra próximo da umidade de capacidade de campo, o que resulta na ocorrência de excedentes mais facilmente.

Para o balanço hídrico com simulação da *I*, os valores de *Exc* apresentaram resultados semelhantes a não realização de *I* (Tabela A7-7). A pequena variação encontrada foi na classe de *Exc* entre 47 e 96 mm decêndio⁻¹, considerando *kc* de 1,10, que aumentou 3% a

probabilidade em relação ao não irrigado. O resultado confirma a uniformidade de precipitação que ocorre ao longo do ano no município.

Tabela 9. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais de Exc (mm decêndio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 e 60 mm; fração p de 0,3, 0,5 e 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência do Exc (%) -----											
Limite Inferior	Limite Superior	$kc = 0,45$			$kc = 0,75$			$kc = 0,85$			$kc = 1,10$		
		----- Fração p -----			----- Fração p -----			----- Fração p -----			----- Fração p -----		
		0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Capacidade de água disponível (CAD) de 20 mm													
0	47	74,7	74,9	74,9	79,9	80,7	80,9	81,9	82,0	82,6	83,8	84,2	84,4
47	93	20,1	19,9	19,9	15,3	14,7	14,7	13,7	13,7	13,1	12,7	12,4	12,2
93	140	4,1	4,1	4,1	3,9	3,9	3,7	3,7	3,5	3,5	2,9	2,9	2,9
140	187	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4
187	233	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm													
0	47	75,7	75,7	75,9	83,2	83,2	83,2	84,9	85,7	85,5	87,3	87,8	88,8
47	93	19,1	19,1	18,9	12,4	12,4	12,4	11,4	10,6	10,8	9,5	8,9	8,1
93	140	4,1	4,1	4,1	3,7	3,7	3,7	2,9	2,9	2,9	2,7	2,7	2,5
140	186	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4
186	233	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

3.8 Necessidade de irrigação (I)

Observou-se aumento nos valores de I nos decêndios 1 a 10 e 23 a 37, período em que os valores de ER foram maiores, resultado da maior retirada de água do solo, principalmente em kc elevados. Mesmo havendo precipitação uniforme nos dois períodos mencionados, a quantidade de chuva não conseguiu suprir totalmente a necessidade da cultura, havendo a necessidade de irrigação complementar (Figuras A5-01 a A5-03 e A6-01 a A6-03).

Os resultados evidenciaram em solos com CAD de 20 mm, para kc de 0,45, 0,75 e 0,85, probabilidade de ocorrência superior a 75% para valores de $I < 20 \text{ mm decêndio}^{-1}$. Para o kc de 1,10, os valores de I foram menores que $30 \text{ mm decêndio}^{-1}$ (Tabela 10). A fração p foi o principal fator de influência nos valores de I , destaque para a fração p de 0,50, que apresentou maior necessidade de irrigação em todos os kc . Fietz & Urchei (2002) observam que valores de I iguais aos encontrados no presente estudo são pequenos, podendo ser considerados de caráter complementar, suplementar ou corretivo.

No balanço hídrico para solos com CAD de 60 mm (Tabela 10), a ocorrência de valores de I entre 0 e $13 \text{ mm decêndio}^{-1}$ é superior a 75% de probabilidade. A exceção ficou

para os seguintes casos: fração p de 0,30 com kc superior a 0,45 e fração p de 0,50 com kc de 1,10, em que a ocorrência dos valores de $I < 25$ mm decêndio⁻¹ é superior a 75% de probabilidade (Tabela 10).

Ao comparar as duas CADs estudadas (20 mm e 60 mm), as maiores diferenças de I foram encontradas no kc de 1,10. Para esse kc , solos com CAD de 20 mm apresentaram maior necessidade de irrigação entre 10 e 30 mm decêndio⁻¹ (70%), enquanto na CAD de 60 mm a ocorrência predominou entre 0 e 10 mm decêndio⁻¹ (83%), ou seja, como já se esperava, solos contendo maior CAD apresentam probabilisticamente menor necessidade de irrigação.

Tabela 10. Probabilidade de ocorrência dos valores decendiais da necessidade de irrigação (I : mm decêndio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 e 60 mm; fração p de 0,3, 0,5 e 0,7; e, kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência da I (%) -----											
Limite Inferior	Limite Superior	$kc = 0,45$			$kc = 0,75$			$kc = 0,85$			$kc = 1,10$		
		----- Fração p -----			----- Fração p -----			----- Fração p -----			----- Fração p -----		
		0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Capacidade de água disponível (CAD) de 20 mm													
0	10	88,6	72,4	86,3	58,9	40,2	58,5	45,9	32,8	49,4	26,6	19,1	19,1
10	20	10,4	26,3	13,5	29,5	47,5	38,6	35,5	47,3	44,0	34,0	43,4	43,4
20	30	1,0	1,4	0,0	11,2	11,4	1,9	17,2	18,0	1,4	31,5	29,0	29,0
30	40	0,0	0,0	0,2	0,4	1,0	1,0	1,4	1,9	5,2	6,8	7,9	7,9
40	50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,6	0,6
Capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm													
0	13	92,1	97,9	99,0	71,6	89,4	94,4	64,1	83,6	92,1	44,4	72,2	84,4
13	25	7,9	0,0	0,0	27,8	0,0	0,0	33,6	0,0	0,0	47,7	0,0	0,0
25	38	0,0	2,1	0,0	0,0	10,6	0,0	0,8	16,4	0,0	1,2	27,4	0,0
38	50	0,0	0,0	1,0	0,6	0,0	5,6	1,5	0,0	7,9	6,8	0,0	15,6
50	63	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0

3.9 Cenários envolvendo cultivos agrícolas

As análises de risco para ocorrência de deficiência em culturas agrícolas foram baseadas nos valores prováveis de P , I , Def e Exc , em cada estágio de seu desenvolvimento, além dos valores de ISNA. Para isso, foram constituídos dois cenários: cultura da soja em ciclo de 110 e 140 dias; e, cultura do algodão herbáceo para o ciclo de 140 dias.

3.9.1 Cenário para a cultura da soja

A criação de cenários (Apêndice 08 e 09) possibilitou estimar valores prováveis de P , I , Def e Exc (Apêndice 12 a 18), além da frequência observada e probabilidade dos valores de ISNA, estabelecidos especificamente para cultura da soja.

A ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo dos decêndios da safra de soja, no município de Ponta Grossa, foi evidenciada na análise da chuva provável nos estádios de desenvolvimento da cultura. A probabilidade de ocorrência de precipitação menor que 1 mm decêndio⁻¹ foi inferior a 10% em qualquer estágio de desenvolvimento da soja, em ambos os ciclos analisados (110 e 140 dias). O valor mínimo de precipitação a 75% de probabilidade foi de 11 mm decêndio⁻¹ (Tabela A12-2 e A12-3).

Na distribuição de frequência para precipitação, observou-se para a safra de 110 dias que a distribuição Normal apresentou melhor ajuste em todos os estádios de desenvolvimento. Resultado semelhante foi obtido no ciclo de 140 dias, com diferencial para o último estágio de desenvolvimento (IV), que apresentou ajuste para a distribuição Gama.

Como já destacado anteriormente, mesmo com a existência de precipitações bem distribuídas, o balanço hídrico indicou a necessidade de irrigações complementares (Apêndice 13). Foi observado necessidade de irrigação no estágio de desenvolvimento III em solos com *CAD* de 20 mm. Esse estágio é responsável pelo início da floração, formação dos primeiros grãos e desenvolvimento dos quatro últimos nós, importantes para produtividade da cultura. No entanto, a quantidade de irrigação necessária no estágio III em solo com *CAD* de 20 mm não foi alta, sendo: $P(I \leq 24,0 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$ para o ciclo de 110 dias; e, $P(I \leq 24,5 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$ para o ciclo de 140 dias (Tabela A13-2 e A13-3). Ou seja, a ocorrência de necessidades de irrigação superiores a 24,5 mm decêndio⁻¹ possui um tempo de retorno de aproximadamente quatro anos, o que é muito pouco, visto que o estágio de desenvolvimento III é de 40 dias para o ciclo de 110 dias e 50 dias para o ciclo de 140 dias.

Observou-se para solos com *CAD* de 20 mm que os valores prováveis de irrigação nos estádios de desenvolvimento da soja ficaram semelhantes para ambos os ciclos analisados (110 e 140 dias). No entanto, a distribuição de probabilidade de melhor ajuste para os dados ficou diferente para os dois ciclos, em algumas situações. Observou-se no estágio I, ciclo de 110 dias, que o período de 14 decêndios não se ajustou a nenhuma das distribuições de probabilidade testadas. Outro caso ocorreu no estágio IV, que apresentou melhor ajuste para a distribuição Exponencial no ciclo de 110 dias e Normal para o ciclo de 140 dias (Tabela A13-2 e A13-3). Analisando a irrigação para solos com *CAD* de 60 mm, nenhuma das distribuições de probabilidade testadas apresentou ajuste, provavelmente devido a probabilidade de *I* ser superiores a 70% para valores menores que 1 mm decêndio⁻¹ (Tabela A16-2 e A16-3), restando poucos decêndios com irrigação para a análise.

Para solos com *CAD* de 20 mm, foi observado para o estágio de desenvolvimento III $P(Def \leq 11,3 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$ no ciclo de 110 dias (Tabela A14-2) e $P(Def \leq 12,6 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$ no ciclo de 140 dias (Tabela A14-3). Os valores podem ser considerados baixos, visto que o estágio III tem 40 dias e 50 dias, para os ciclos 110 e 140 dias, respectivamente, e valores superior aos encontrados apresentam um tempo de retorno de quatro anos. Para os resultados de *Def* em solos com *CAD* de 60 mm, devido a elevada probabilidade de valores menores que $1 \text{ mm decêndio}^{-1}$, não houve ajuste para nenhuma das distribuições de probabilidade testadas (Tabela A17-2 e A17-3), exceto para o estágio de desenvolvimento III, que apresentou ajuste a distribuição Exponencial e Gama. Entretanto a probabilidade de ausência de *Def* (menor que $1 \text{ mm decêndio}^{-1}$) foi superior a 75%.

A probabilidade de ocorrer *Exc* em solos com *CAD* de 20 mm, cultivados com a cultura da soja, está acima de 75% (Tabela A15-2 e A15-3), exceto para alguns estádios de desenvolvimento, como no estágio I do ciclo de 110 dias, que não houve ajuste para nenhuma distribuição testada devido ao número pequeno de amostras (amostra menor que 14 decêndios). No ciclo de 140 dias, estágio I, observou-se $P(Exc \leq 54,0 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$ (Figura A8-3 e Tabela A15-3). Para os demais estádios de desenvolvimento (II, III e IV), no ciclo de 110 e 140 dias, a probabilidade de ausência de *Exc* foi superior a 75% para valores inferiores a $30 \text{ mm decêndio}^{-1}$. A distribuição de melhor ajuste para os estádios foi a Gama (Tabela A15-2 e A15-3).

A simulação dos ISNAs objetivou verificar se os valores encontrados nas distribuições de frequência e prováveis da *P*, *I*, *Def* e *Exc*, prejudicariam a cultura da soja.

Baseando-se apenas no conjunto de todos os 37 decêndios, dos 14 anos analisados, sem considerar estádios de desenvolvimento e períodos de safra, os resultados gerais apontaram para a soja valores “favoráveis” de ISNA no município de Ponta Grossa. Resultado semelhante foi encontrado por Farias (2001), em um trabalho que avaliou diferentes regiões produtoras de soja no Brasil e Paraná. Para a *CAD* de 20 mm, em todos os estádios de desenvolvimento e *kc* testados, mais de 60% dos ISNAs ficaram entre 0,65 e 1,00, o que segundo Andrade Junior et al. (2001), Cunha et al., 2001 e Farias et al. (2001), classifica como “favorável” o cultivo da soja, não ocorrendo consequência qualitativa e quantitativa severa na produção.

Os valores de ISNA tenderam a ficar “desfavoráveis” conforme o desenvolvimento da cultura (Tabela 11). Em solos com *CAD* de 20 mm e *kc* de 0,45 (estádio I), a classe de risco

“favorável” apresentou probabilidade inicial de 91,7%, decrescendo para 60,7% para o kc de 1,10 (estádio III). Cerca de 30% de probabilidade ocorreu para valores “desfavoráveis” no estágio de desenvolvimento III ($ISNA < 0,55$). Mesmo com um percentual considerado alto, é importante observar que a probabilidade foi distribuída nos 37 decêndios do ano.

Para solos com CAD de 60 mm (Tabela 11), os valores de $ISNA$ entre 0,65 e 1,00 apresentaram probabilidade superior a 85% (“favorável”), independente da variação do kc . No estágio de desenvolvimento III (kc de 1,10), mesmo ocorrendo um pequeno aumento da probabilidade para valores de $ISNA < 0,55$ (“desfavorável”) e $ISNA$ entre 0,55 a 0,65 (“intermediário”), não houve problema de deficiência para a cultura da soja nos 37 decêndios. No entanto, verificou-se mais de 10% de $ISNAs$ “desfavorável” e 3% “intermediário”. Os resultados encontrados são semelhantes aos apresentados por Farias et al. (2001), que realizando um zoneamento para classificação de risco da deficiência hídrica no Brasil, encontraram valores de $ISNA$ semelhantes aos apresentados no presente cenário. Desta forma, os resultados encontrados foram favoráveis ao plantio de soja no município de Ponta Grossa. Araujo et al. (2009) também obtiveram resultados de $ISNA$ no município semelhantes aos encontrados no presente trabalho.

Para o balanço hídrico com simulação da irrigação, o $ISNA$ teve 100% de probabilidade para ocorrência de valores “favoráveis” ($ISNA \geq 0,65$) em todas as variações de CAD e kc no cultivo de soja. Mesmo com a realização da irrigação, ocorreram deficiências, principalmente nos decêndios 1 ao 14 e 24 ao 37, porém não resultaram em $ISNA$ menor que 0,55 (“desfavorável”).

Tabela 11. Probabilidade de ocorrência dos valores de $ISNA$ e nível de risco hídrico para a cultura da soja, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 e 60 mm; fração p 0,5; e, kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10

----- Classe -----		----- ISNA: CAD de 20 e 60 mm -----				
Limite Inferior	Limite Superior	Nível de Risco Hídrico	----- Probabilidade (%) para fração $p = 0,5$ -----			
			$kc = 0,45$	$kc = 0,75$	$kc = 0,85$	$kc = 1,10$
Capacidade de água disponível (CAD) de 20 mm						
0,00	0,55	Desfavorável	5,8	15,1	19,7	29,5
0,55	0,65	Intermediária	2,5	3,9	7,5	9,8
0,65	1,00	Favorável	91,7	79,5	72,8	60,7
Capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm						
0,00	0,55	Desfavorável	0,2	3,7	6,4	9,8
0,55	0,65	Intermediária	0,4	1,4	2,3	3,1
0,65	1,00	Favorável	99,4	95,0	91,3	87,1

Apesar dos cenários apresentarem, de forma geral, valores favoráveis de ISNA para o cultivo da soja no município, é importante realizar análises mais detalhadas (Tabela 12), combinando ISNA, decêndios e estádios de desenvolvimento referente às safras da soja, pontuando as deficiências mais intensas e frequentes. Desta forma, foi possível encontrar eventuais problemas de restrição hídrica para a cultura, nos respectivos estádios de desenvolvimento, baseados nos valores de ISNA.

Tabela 12. Probabilidade de ocorrência dos valores de ISNA para a cultura da soja, por estágio de desenvolvimento, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: período de 110 dias; CAD de 20 mm; fração p 0,3; e, kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.

ISNA	----- Probabilidade do ISNA por Estádio (%): 110 dias -----			
	I (S-V1/V2)	II (V2-R1)	III (R1-R6/R7)	IV (R7-R9)
Capacidade de água disponível (CAD) de 20 mm				
Desfavorável	7	17	21	17
Intermediária	0	2	9	10
Favorável	93	81	70	74

Capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm				
Desfavorável	0	5	7	4
Intermediária	0	0	2	2
Favorável	100	95	90	95

A análise inicial foi realizada para a soja com ciclo de 110 dias. O estágio de desenvolvimento I (S-V1/V2), em solo com CAD de 20 mm, apresentou probabilidade superior a 90% para ISNA maior que 0,65 (“favorável”). Nos solos com CAD de 60 mm, a probabilidade foi de 100% de ISNA “favorável”.

No estágio de desenvolvimento II (V2-R1), em solo com CAD de 20 mm, a probabilidade de ocorrência de ISNA “favorável” (ISNA > 0,65) foi de 81%, enquanto para a CAD de 60 mm, a probabilidade subiu para 95%.

Para o estágio de desenvolvimento III (R1-R6/R7), em solos com CAD de 20 mm, a probabilidade foi superior a 70% para ISNA > 0,65 (“favorável”), enquanto que em solos com CAD de 60 mm a probabilidade foi superior a 85%, semelhante ao encontrado por Leivas et al. (2005), em que a probabilidade para o risco de deficiências foi menor que 20% no terceiro decêndio, considerado o mais importante para a cultura de soja.

No estágio IV (R7-R9), o último analisado para a cultura de soja, em solo com *CAD* de 20 mm, a probabilidade para $ISNA > 0,65$ foi de 74%. Nos solos com *CAD* de 60 mm a probabilidade foi superior a 95%.

Para o ciclo de 140 dias (Tabela 13) no estágio I (S-V1/V2), a probabilidade de $ISNA > 0,65$ (“favorável”) em solos com *CAD* de 20 mm foi de 86%, enquanto para solos com *CAD* de 60 mm a probabilidade foi de 100%. Para o estágio II (V2-R1), a probabilidade de $ISNA > 0,65$ (“favorável”) foi de 74%, enquanto que em solos com *CAD* de 60 mm a probabilidade foi de 96%. No estágio de desenvolvimento III (R1-R6/R7), *CAD* de 20 mm, a probabilidade foi superior a 75% para $ISNA > 0,65$ (“favorável”). Para solos com *CAD* de 60 mm a probabilidade foi superior a 85%. No estágio IV (R7-R9), o último analisado para a cultura de soja, *CAD* de 20 mm, a probabilidade para $ISNA > 0,65$ (“favorável”) foi de 71%. Em solo com *CAD* de 60 mm a probabilidade foi superior a 95%.

Tabela 13. Probabilidade de ocorrência dos valores de *ISNA* para a cultura da soja, por estágio de desenvolvimento, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: período de 140 dias; *CAD* de 20 e 60 mm; fração *p* 0,3; *e*, *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.

ISNA	----- Probabilidade do ISNA por Estádio (%): 140 dias -----			
	I (S-V1/V2)	II (V2-R1)	III (R1-R6/R7)	IV (R7-R9)
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 20 mm				
Desfavorável	11	14	19	21
Intermediária	4	12	4	7
Favorável	86	74	77	71
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 60 mm				
Desfavorável	0	4	12	3
Intermediária	0	0	0	0
Favorável	100	96	88	97

Foram dois os períodos com maior probabilidade de risco de necessidade de água na cultura da soja em solos com *CAD* de 20 mm. O estágio de desenvolvimento III (R1-R6/R7), ciclo de 140 dias, apresentou 21% de probabilidade de *ISNA* “ruim” ($< 0,55$) e 9% para classe “regular” (0,55 a 0,65), semelhante ao resultado encontrado por Fietz et al. (2002), em cultura de soja no município de Dourados no Mato Grosso do Sul. Nesse estágio, se não houver a reposição de água no solo como colocado por Fietz & Uchei. (2002) pode haver problemas de abortamento de flores e legumes (Blain & Brunini, 2007). O estágio de desenvolvimento IV (R7-R9), ciclo de 110 dias, foi outro período que apresentou risco de deficiência para a

cultura da soja, ocorrendo probabilidade de 21% para ISNA “ruim” ($< 0,55$) e 7% “regular” ($0,55$ a $0,65$). Para solos com *CAD* de 60 mm o período mais crítico ocorreu somente no estágio de desenvolvimento III (R1-R6/R7), com 7% a 12% de probabilidade de ISNA “ruim” ($< 0,55$).

Conforme descrito por Mundstock & Thomas (2005), Blain & Brunini (2007) e Araújo et al. (2009), os estágios I e III são importantes para a qualidade e quantidade produzida de grãos, sendo responsáveis pela germinação, emergência, floração e enchimento dos grãos. Assim, a necessidade de maior atenção para os estágios I e III ficou destacada, principalmente em solos com *CAD* de 20 mm.

Além dos fatores favoráveis para ISNA, a temperatura foi outro fator importante e favorável para período de safra da soja no município de Ponta Grossa, com temperatura média no decêndio acima de 18°C e abaixo de 35°C (Reichardt, 1999).

3.9.2 Cenário para a cultura do algodão herbáceo

A criação de cenários (Apêndice 10 e 11) possibilitou estimar valores prováveis de *P*, *I*, *Def* e *Exc* (Apêndice 12 a 18), além da frequência observada e probabilidade dos valores de ISNA, estabelecidos especificamente para cultura do algodão.

A variável precipitação (*P*) mostrou para a cultura do algodão resultado semelhante ao identificado para a soja. Observou-se que a precipitação mínima a 75% de probabilidade está entre $13 \text{ mm decêndio}^{-1}$ (Estádio II) e $26 \text{ mm decêndio}^{-1}$ (Estádio IV) (Tabela A12-1). Dentre as distribuições de probabilidade testadas para a variável precipitação, considerando os estádios de desenvolvimento, não se verificou predomínio de nenhuma delas.

Somente o estágio de desenvolvimento II necessitou maior quantidade de irrigação (Tabela A13-1), ou seja, $P(I \leq 29,1 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$. Para os demais estádios (I, III e IV) a probabilidade da necessidade de irrigação não ultrapassou o valor máximo de $15,9 \text{ mm decêndio}^{-1}$ a 75% de probabilidade. Valor baixo, considerando que a cultura do algodão necessita de 700 a 1.300 mm de água em seu ciclo, que pode variar de 100 a 150 dias (Pereira et al. 1997; EMBRAPA, 2003). As distribuições de probabilidade que melhor se ajustaram ao ciclo do algodão foram a Gama e Exponencial. Foram poucas as necessidades de irrigação em solos com *CAD* de 60 mm, e não houve ajustamento dos dados para nenhuma das distribuições de probabilidade testadas. A probabilidade observada de não ocorrência de irrigação foi de 75% em todos os estádios de desenvolvimento (Figura 6-3 e Tabela A16-1).

A *Def* no período de safra do algodão apresentou valores baixos (Tabela A14-1), semelhantes ao identificado para soja. Os estádios II e III apresentaram os maiores valores de deficiência quando comparado aos demais estádios, apresentando $P(Def \leq 16,0 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$ e $P(Def \leq 15,4 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$, respectivamente. Para os estádios de desenvolvimento I e IV foram encontradas $P(Def \leq 3,8 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$ e $P(Def \leq 3,9 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$, respectivamente (Figura A5-15). O melhor ajustamento com os dados de deficiência ocorreram para distribuição de probabilidade Gama (Tabela A14-1). Para os solos com *CAD* de 60 mm o estádio III foi o único que apresentou valores de deficiência com $P(Def \leq 7,0 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$. Nos demais estádios a probabilidade de não ocorrer deficiência foi superior a 80%.

O estádio I apresentou probabilidade superior a 75% para não ocorrência de *Exc*, em solos com *CAD* de 20 mm (Tabela A15-1). O contrário se verificou no estádio IV, que apresentou $P(Exc \leq 35,4 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$, devido ao período de senescência da cultura (Figura A3-15 e Tabela 15-1). Nos solos com *CAD* de 60 mm (Tabela A18-1) os maiores valores de *Exc* foram para os estádios I e IV, com $P(Exc \leq 44,9 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$ e $P(Exc \leq 31,7 \text{ mm decêndio}^{-1}) = 75\%$, respectivamente (Tabela A18-1). Para as duas *CADs* analisadas, os estádios II e III apresentaram a maior probabilidade de ausência de *Exc*, devido ao *kc* elevado (1,10), e serem fases de desenvolvimento e produtividade do algodão (Tabela A18-1).

O cenário realizado para a cultura de algodão (Apêndice 10 e 11), sem a definição e delimitação do período de safra, somente considerando a fração *p* de 0,70, apresentou ISNA favorável ($ISNA \geq 0,55$), havendo probabilidades superiores a 70% em todos os valores de *kc* e *CAD* analisados na série de 14 anos. Os valores desfavoráveis de ISNA aumentaram com o desenvolvimento da cultura, porém, não houve prejuízo para a cultura (Tabela 14).

Entretanto, nas análises do ISNA por estádio de desenvolvimento da cultura do algodoeiro, foram identificados períodos com maior probabilidade de valores “desfavoráveis” ($ISNA < 0,35$) e “intermediários” ($0,35 \geq ISNA < 0,55$) no município (Tabela 14).

Quando analisada a deficiência por estádio de desenvolvimento, verificou-se para a cultura de algodão, em solos com *CAD* de 20 mm (Tabela 15), que os estádios II e III apresentam maior probabilidade de ocorrência de ISNA “ruim” (14% e 16%) e “regular” (14% e 16%). A classificação “ruim” ou “regular” indicou a possibilidade de prejuízo na produção, e comprometimento da qualidade do fruto, visto que os estádios II e III são

responsáveis pelo período de início e término da floração do algodão (Wrege et al., 1999; EMBRAPA, 2003). Para solos com *CAD* de 60 mm (Tabela 15), em todos os estádios de desenvolvimento, a probabilidade ficou acima de 75% para a classe de ISNA “bom”, o que torna o risco de deficiência hídrica (ISNA “ruim” ou “regular”) baixo.

Tabela 14. Probabilidade de ocorrência dos valores de ISNA e nível de risco hídrico para a cultura do algodão herbáceo, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 e 60 mm; fração *p* 0,7; e, *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.

----- Classe -----		----- ISNA: <i>CAD</i> de 20 e 60 mm -----				
Limite Inferior	Limite Superior	Nível de Risco Hídrico	----- Probabilidade (%) para fração <i>p</i> = 0,7 -----			
			<i>kc</i> = 0,45	<i>kc</i> = 0,75	<i>kc</i> = 0,85	<i>kc</i> = 1,10
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 20 mm						
0,00	0,35	Desfavorável	3,5	9,7	11,2	16,0
0,35	0,55	Intermediária	1,5	4,4	6,6	12,0
0,55	1,00	Favorável	95,0	85,9	82,2	72,0
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 60 mm						
0,00	0,35	Desfavorável	0,0	1,9	2,7	6,0
0,35	0,55	Intermediária	0,2	1,4	2,5	4,2
0,55	1,00	Favorável	99,8	96,7	94,8	89,8

Tabela 15. Probabilidade de ocorrência dos valores de ISNA para a cultura do algodão herbáceo, por estádio de desenvolvimento, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: período de 140 dias; *CAD* de 20 e 60 mm; fração *p* 0,7; e, *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10.

Classe	----- Estádio -----			
	I 28 a 31	II 32 e 33	III 34 a 01	IV 02 a 04
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 20 mm				
Ruim	7	14	16	5
Bom	88	71	69	83
Regular	5	14	16	12
Capacidade de água disponível (<i>CAD</i>) de 60 mm				
Ruim	0	0	1	0
Bom	100	96	93	98
Regular	2	4	6	2

A cultura do algodoeiro não é praticada no município de Ponta Grossa devido ao risco de deficiência hídrica, conforme pode ser observado nos valores de ISNA (Tabela 15). Fatores como temperatura e umidade relativa do ar foram os que contribuíram para o alto risco e até

mesmo inaptidão da cultura do algodão no município, conforme comentado por Wrege et al. (1999) e Neto et al. (2001). A temperatura no estágio de desenvolvimento I, responsável pela germinação, apresentou 100% de probabilidade de valores superiores a 15°C, o que é ideal. Entretanto, no estágio II de desenvolvimento, o risco foi maior, visto que as temperaturas tiveram 50% de probabilidade para valores inferiores a 20°C, o que é prejudicial ao desenvolvimento da cultura, principalmente para a abertura dos botões, conforme descrito por Reichardt (1999), Wrege et al. (1999), EMBRAPA (2003a), EMBRAPA (2003b) e Andrade Junior et al. (2009). Os mesmos autores consideram que os valores ideais devem ficar entre 20°C e 30°C.

A umidade relativa em todos os estágios de desenvolvimento da cultura do algodão foi superior a 70%, fora dos padrões ideais (próximo de 60%), conforme Wrege et al. (1999), EMBRAPA (2003a) e EMBRAPA (2003b).

4 CONCLUSÕES

Conforme os resultados obtidos e analisados do presente trabalho, concluiu-se que:

- A variação de CAD , kc e fração p possibilitou compor uma matriz com valores e probabilidade para as componentes do balanço hídrico (P , ET_o , ET_c , Arm , Alt , ER , Def , Exc e I) em períodos decendiais, que pode ser utilizada para diferentes lugares na região de Ponta Grossa, culturas, estádios de desenvolvimento e capacidade de armazenamento de água no solo;
- Utilizando a matriz, foi possível identificar valores de ISNA favoráveis para a cultura de soja e algodão em todos os ciclos e estádios de desenvolvimento analisados, não havendo restrição hídrica para ambas as culturas na região de Ponta Grossa;
- Com suporte da matriz criada, foi possível verificar que a cultura do algodão apresentou restrições no estágio de desenvolvimento II devido à baixa temperatura média do ar (geralmente $< 20^{\circ}\text{C}$) e elevada umidade relativa do ar (geralmente maior que 70%).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se nos cenários criados no presente trabalho, análises semelhantes às realizadas poderão ser feitas considerando outras culturas e municípios.

As análises realizadas e a forma como foram dispostas poderão contribuir para aprofundar e proporcionar melhorias no que diz respeito ao zoneamento agroclimático das culturas nas diversas regiões, principalmente no Estado do Paraná.

O trabalho apresentado é um piloto que servirá de modelo para criação de um programa, que depois de finalizado, poderá fornecer as mesmas análises e informações que foram apresentadas, tendo como opção diversas espécies agrícolas, estádios de desenvolvimento, capacidades de armazenamento de água no solo, entre outros.

A escassez de trabalhos que envolvam a temática impossibilitou uma discussão mais aprofunda a respeito dos resultados encontrados. No entanto, mesmo com essa limitação, acredita-se que o trabalho vem contribuir para obtenção de parâmetros de comparação e melhoria da análise em estudos envolvendo relações hídricas ao longo do ciclo de desenvolvimento de culturas agrícolas, empregando uma metodologia simplificada e de baixo custo.

5 LITERATURA CITADA

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evaporation – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigations and Drainage paper 56. Roma, FAO, 1998. 301p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, F. A. M.; RIBEIRO, J. L.; LIMA, M. G.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de risco climático para a cultura do algodão herbáceo no estado do Piauí. Teresina, Embrapa Meio – Norte, 2006a. 45p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, F. A. M.; RIBEIRO, J. L.; LIMA, M. G.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de aptidão climática para a cultura do algodão herbáceo no estado do Piauí. Teresina, Embrapa Meio – Norte, 2006b. 24p.
- ARAÚJO, M. A.; SOUZA, J. L. M.; BRONDANI, G. E.; PAULETTI, V.. Sistemas de manejo e relações hídricas do solo na produtividade da cultura da soja, em Ponta Grossa – Paraná, *Revista Scientia Agraria*, 10:403-412, 2009.
- ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. 1.ed. Pelotas, Universitária/UFPel, 1996. 161p.
- BLAIN, C. G.; BRUNINI, O. Análise da escala temporal de monitoramento das secas agrícolas e meteorológicas no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22:255-261, 2007.
- CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T.; FILHO, A. A.; SERA, T.; CHAVES, J. C. D. e KOGUISHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arábica L.*) no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9:489-494, 2001.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B. ; CARAMORI, P. H; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina, IAPAR, 2000. Disponível em <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677> Acesso em 18 Jan. 2012.
- CARDOSO, C.D.V. Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região Central do Estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, 162 f. Tese - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- COSTA, J. A. Cultura da soja. Porto Alegre: I. Manica, J. A. Costa, 1996. 233 p.
- CUNHA, G. R.; BARNI, N. A.; HAAS, J. C.; MALUF, R. T.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; PIRES, J. F. Zoneamento agrícola e época de

semeadura para soja no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9:446-459, 2001.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campinas Grande: UFPB, 1994. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Cultura do algodão Herbáceo na Agricultura Familiar. 2003a. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/index.htm> Acesso em 02 Out 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Cultura do algodão no Cerrado. 2003b. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/importancia.htm> Acesso em 02 Out 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Cultivo do algodão Irrigado. 2003c. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/> Acesso em 14 Jul 2012.

FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N. e NEPOMUCENO, A. L.. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9:415-421, 2001.

FIETZ, C. R.; URCHER, M. A. e FRIZZONE, J. A.. Probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na região de Dourados, MS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5:558-562, 2001.

FIETZ, C. R.; URCHER, M. A. Deficiência hídrica na cultura da soja na região de Dourados, MS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6:262-265, 2002.

FORTES, L.T. G. "Interpretando o Prognóstico Climático Sazonal: como traduzir a faixa normal em milímetros de precipitação". Tutorial. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Brasília, março de 2011. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/html/climatologia.php?lnk=../webcdp/climatologia/faixa_normal/. Acesso em 25/3/2012.

IBGE, 2010. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (Produção Agrícola Municipal), Tabela 1612, Brasília, 2010. Disponível em:

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl1.asp?c=1612&n=0&u=0&z=t&o=1&i=P>

Acesso em 02 Dez 2011.

JUNIOR, A. S. A.; SENTELHAS, P. C.; LIMA, M. G.; AGUIAR, M. J. N.; LEITE, D. A. R.. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no Estado do Piauí. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9:544-550, 2001.

LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; e FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10:397-407, 2006.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos. Porto Alegre, Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ Evangraf , 2005, 31p.

NETO, M. A.; ARAÚJO, A. E.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; WREGE, M. S.; LAZZAROTTO, C.; LAMAS, F. M.; SANS, L. M. A. Zoneamento agroecológico e definição de semeadura do algodoeiro no Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 9:422-428, 2001.

NIED, H.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V.; SILVA, J. C.; ALBERTO, C. M. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. *Revista Ciência Rural*, 5:995-1002, 2005.

PEREIRA, M. N. B.; AZEVEDO, N. C.; FERNANDES, P. D.; NETO, M. D. A. Crescimento e desenvolvimento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo em baixo níveis de umidade do solo, em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 1:1-7, 1997.

KERKIDES, P.; MICHALOPOULOU, H.; PAPAIOANNOU, G. e POLLATOU, R. Water balance estimates over Greece. *Agricultural Water Management*, 85-104, 1996.

REICHARDT, K. A Água em sistemas agrícolas. Barueri; Manoele, 1990. 188p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manoele, 2004. 478p.

RIJTEMA, P.E.; ABOUKHALED, A. Crop water use. In: ABOUKHALED, A. et al. Research on crop water use, salt affected soils and drainage in the Arab Republic of Egypt. Rome: FAO Regional Office for the Near East, 1975. 61p.

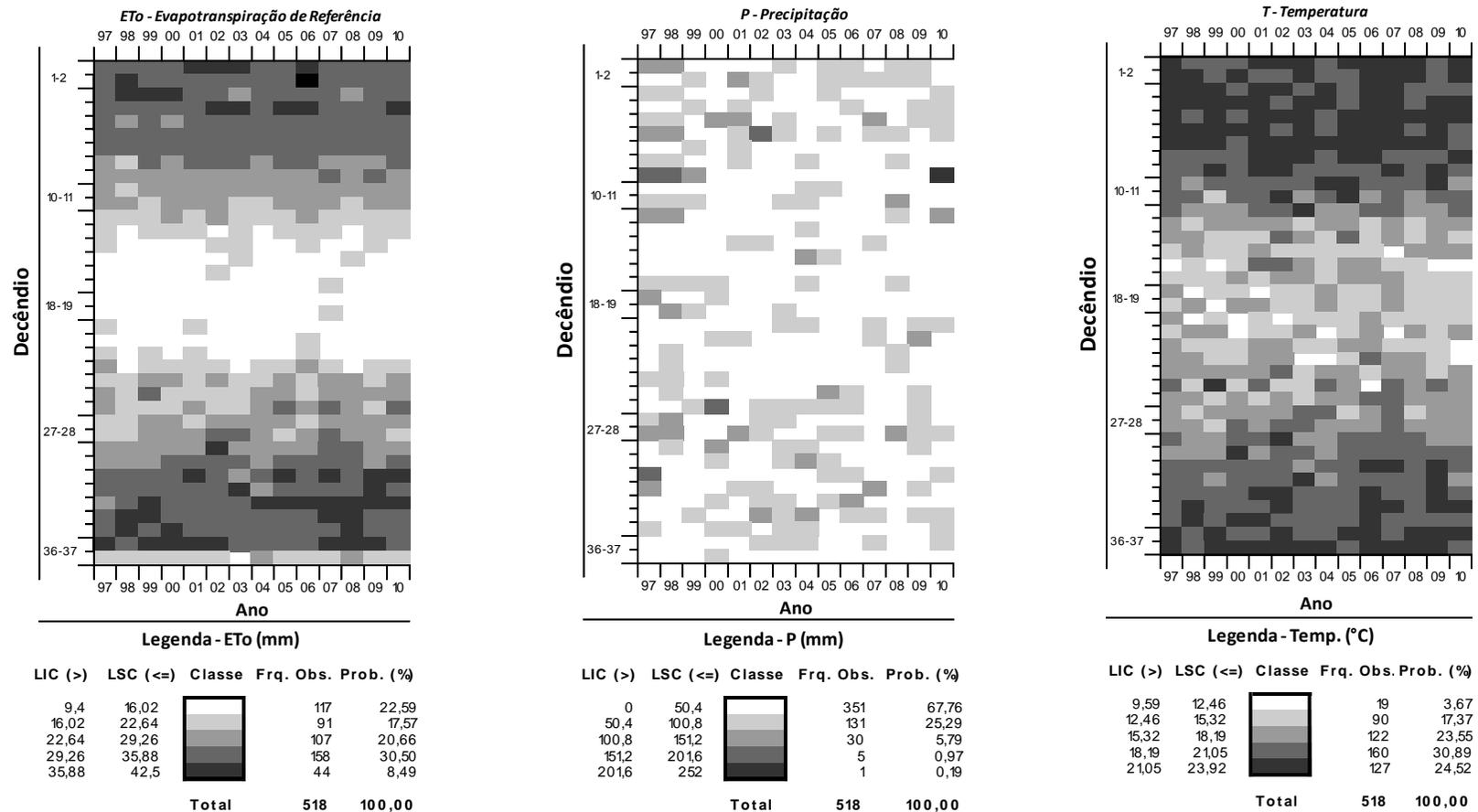
- SAMPAIO, A. C.; CORRÊA, M. M.; BÔAS, M. A. V.; OLIVEIRA, L. F. C. Estudo de precipitação efetiva para o município de Lavras, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 4:210-213, 2000.
- SANTOS, R. F. Planejamento ambiental: Teoria e Prática. São Paulo, Oficina de Textos, 2004. 184p.
- SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C.. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 4:142-149, 2010.
- SOCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14:569-574, 2010.
- SOUZA, J. L. M. Modelo de análise econômico aplicado ao planejamento de projetos de culturas do cafeeiro. Piracicaba, 253 f. Tese - Universidade de São Paulo, 2001.
- SOUZA, J.L.M; FRIZZONE, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. I. Simulação do balanço hídrico e do custo com água. *Revista Acta Scientiarum: Agronomy*, 25:103-112, 2003a.
- SOUZA, J.L.M; FRIZZONE, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. III. Análise de risco econômico da cafeicultura em dois sistemas de irrigação. *Revista Acta Scientiarum: Agronomy*, 25:399-408, 2003b.
- SOUZA, J.L.M.; FRIZZONE, J. A. Simulação do balanço hídrico para a cultura do cafeeiro nas regiões de Lavras e Uberlândia. *Revista Scientia Agraria*, 8:291-301, 2007.
- SOUZA, J.L.M.; GOMES, S. Avaliação e desempenho de equações de estimativa do armazenamento de água no solo em um balanço hídrico climatológico decenal irrigacionista. *Revista Acta Scientiarum Agronomy*, 29:433-443, 2007.
- SOUZA, J.L.M.; TRENTIN, C. V. Planejando o uso da água residuárias para a irrigação na região metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, com um balanço hídrico climatológico decenal. *Revista Acta Scientiarum Agronomy*, 29:599-609, 2007.
- SOUZA, J.L.M.; GOMES, S. Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decenal em função da capacidade de água disponível no solo. *Revista Acta Scientiarum Agronomy*, 30:153-163, 2008.
- SOUZA, J. L. M. Programa MORETTI - Módulo balanço hídrico seqüencial (periodicidade: 1, 5, 7, 10, 15 e 30 dias), Versão 1.0, 2008.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, N.J., 8:104, 1955.

VAREJÃO-SILVA, M. A.; BARROS, A. H. C. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Recife, COTEC / DATA AGROS / SPRRA-PE, 2001, 38p.

WREGGE, M.S.; CARAMORI, P.H.; GONÇALVES, S.L. et al. Cotton zoning based on sowing periods of lower risk in Paraná State, Brazil. Brazilian Archives of Biology and Tecnology, 43:71-79, 2000.

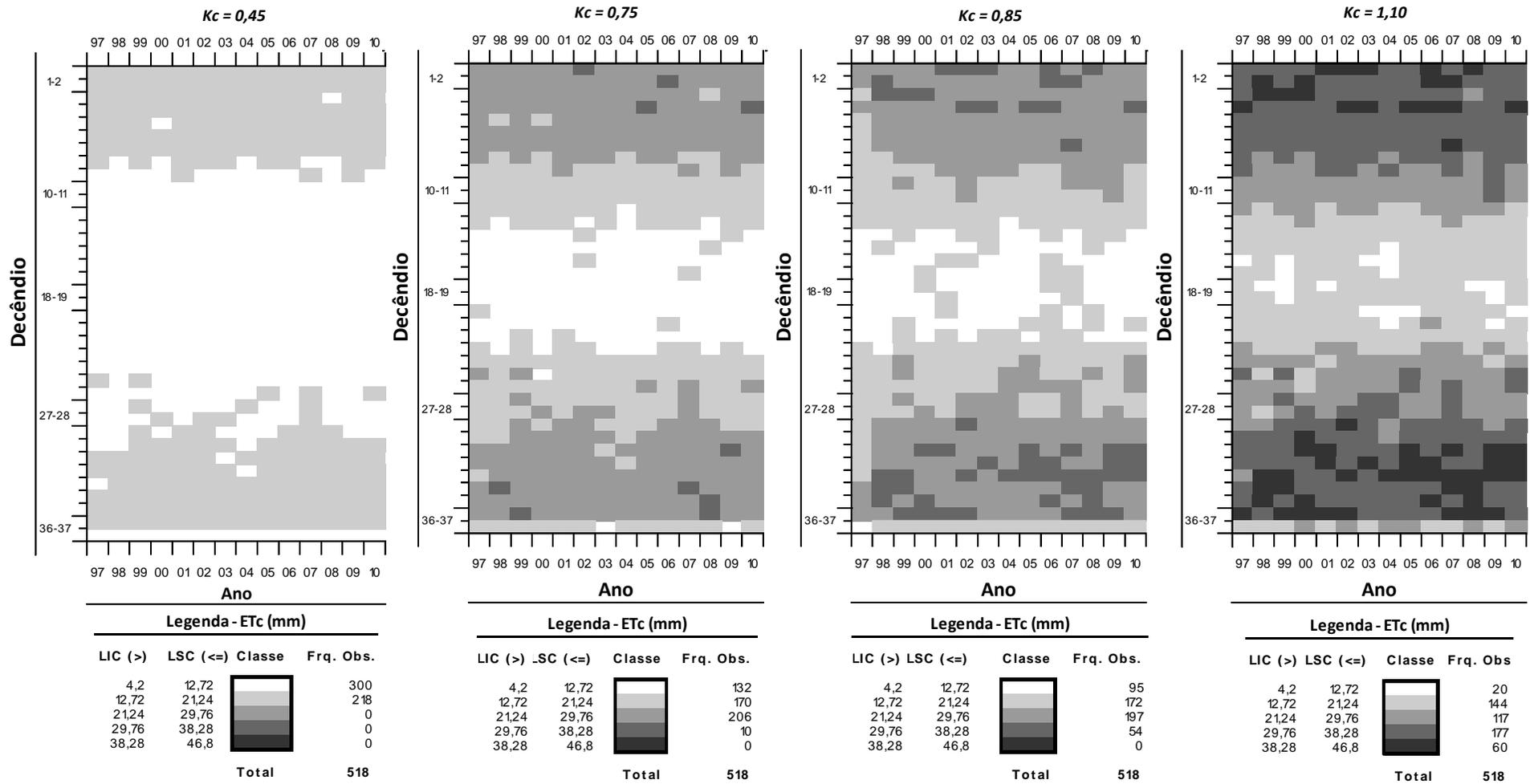
APÊNDICE 01 – Distribuição de frequência e probabilidade dos valores decendiais da *ETo* e *P* (mm decêncio⁻¹) e valores médios de temperatura do ar (°C), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada encontrada para cada classe (%).

Figura A1-1 – Distribuição de frequência e probabilidade dos valores deceniais da ETo e P (mm decênio⁻¹) e valores médios de temperatura do ar (°C), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR.

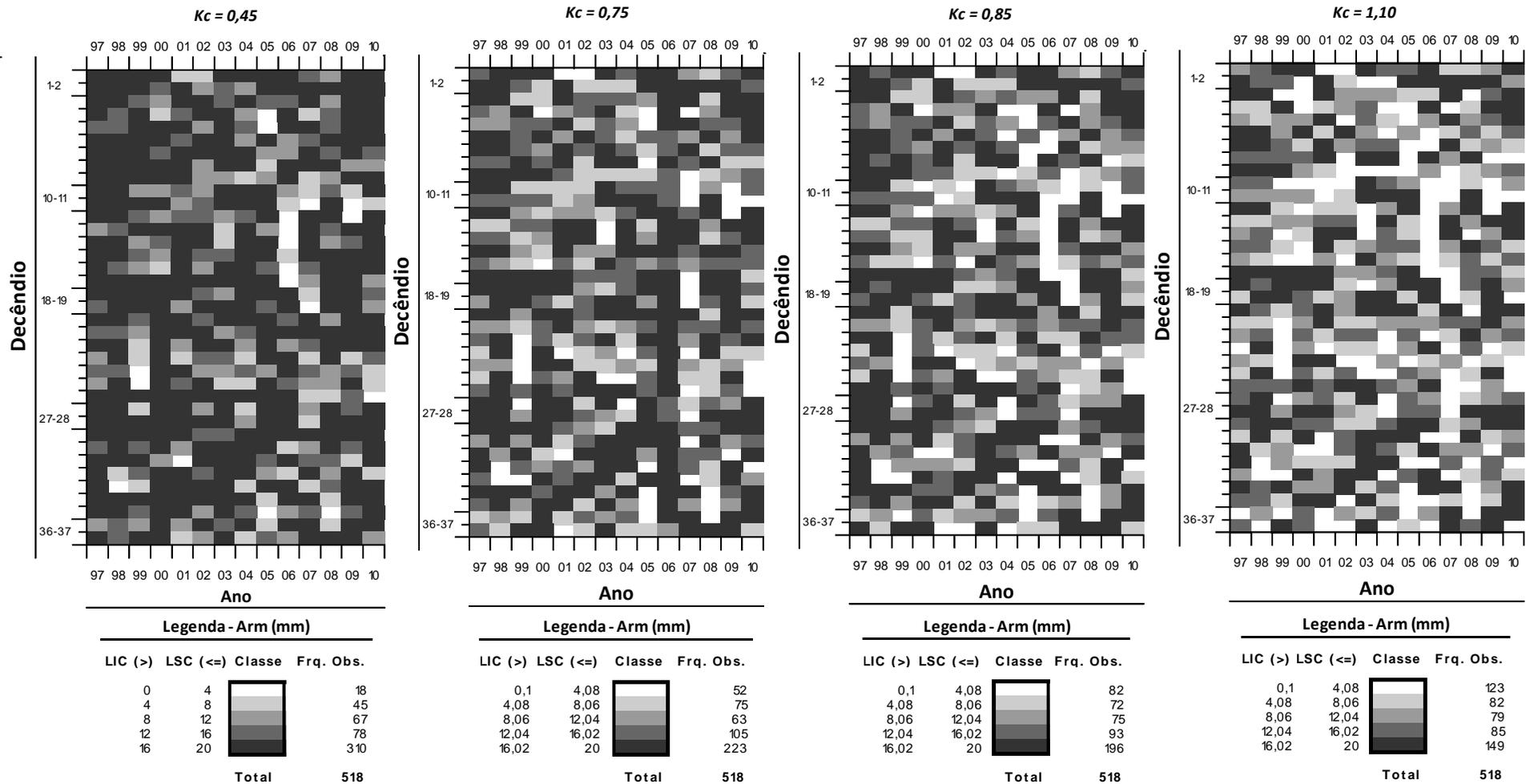
APÊNDICE 02 – Distribuição de frequência dos valores decendiais ET_c (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

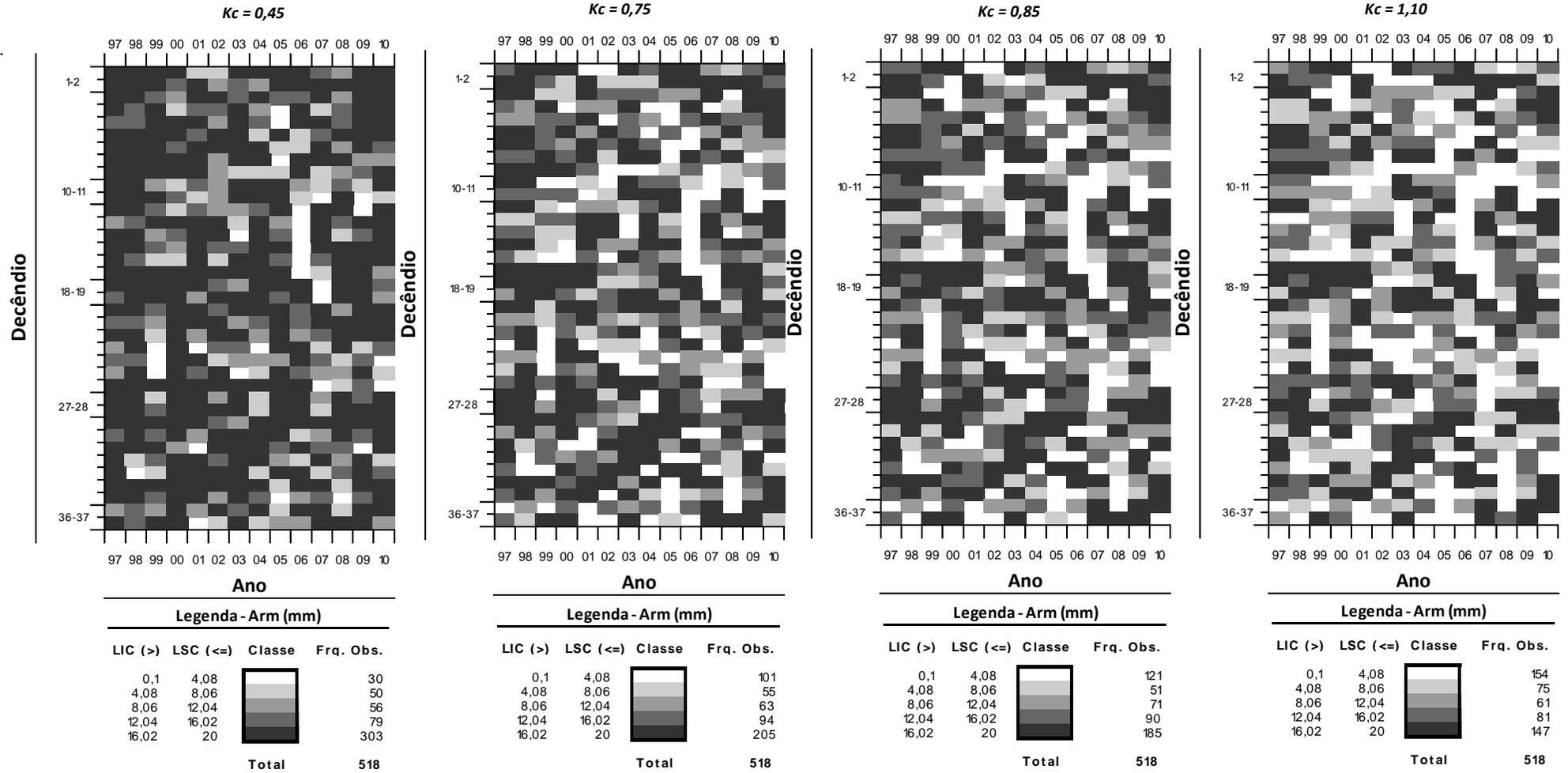
Figura A2-1 – Distribuição de frequência dos valores decenciais da ETc (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR.

APÊNDICE 03 – Distribuição de frequência dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



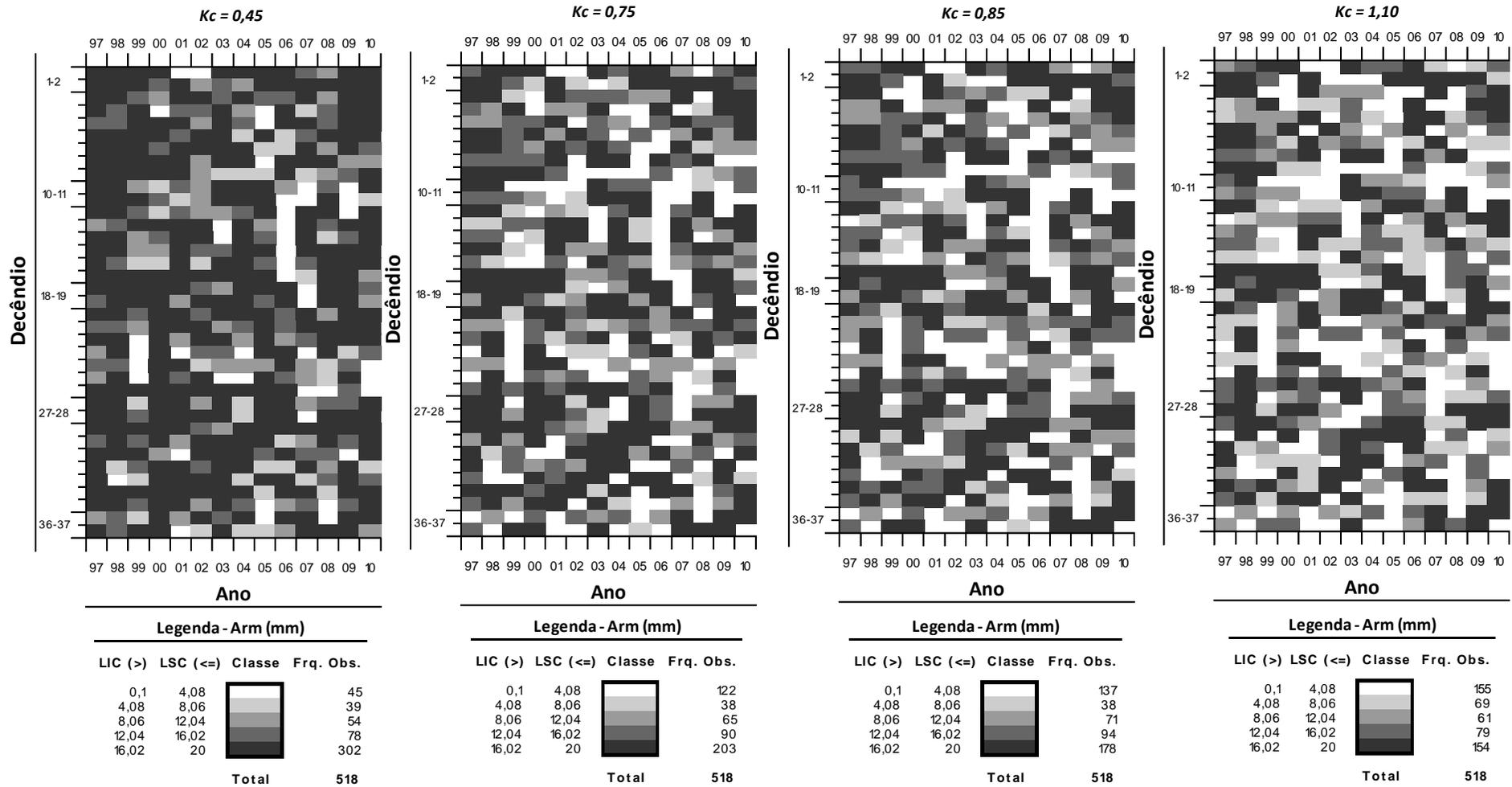
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-1 – Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



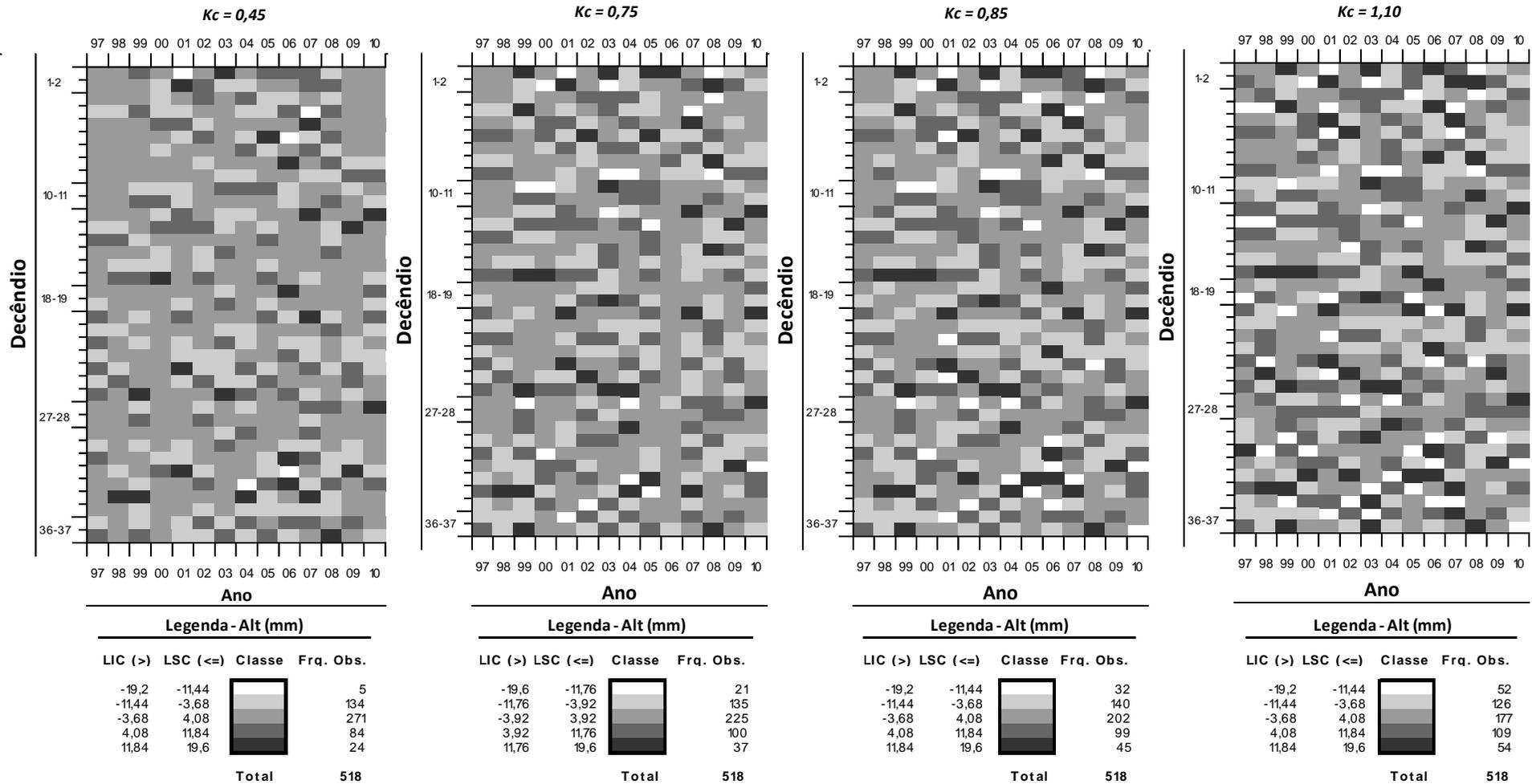
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-2 – Distribuição de frequência dos valores decendiais de Arm (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



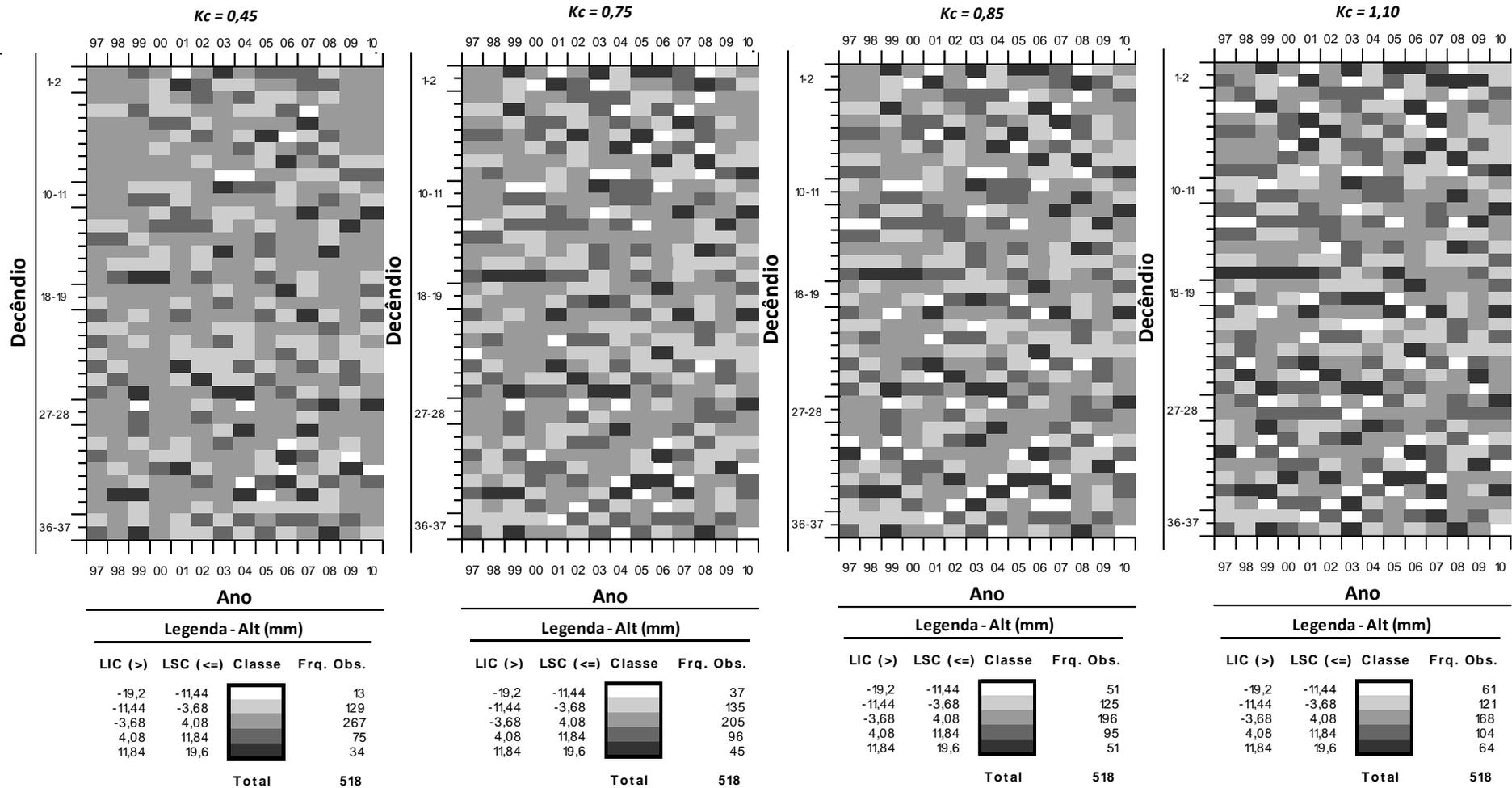
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-3 – Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



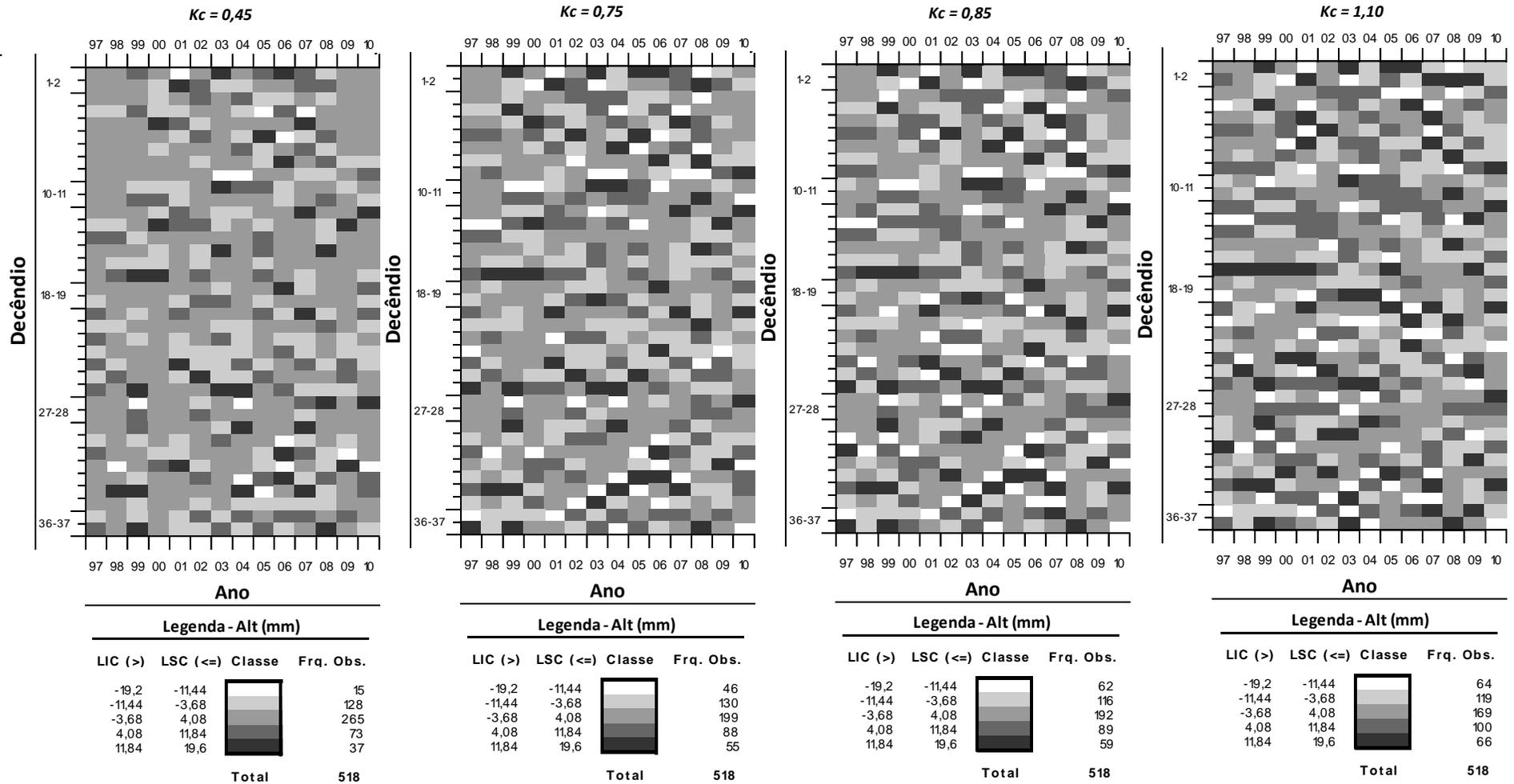
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-4 – Distribuição de frequência dos valores decenciais da Alt (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



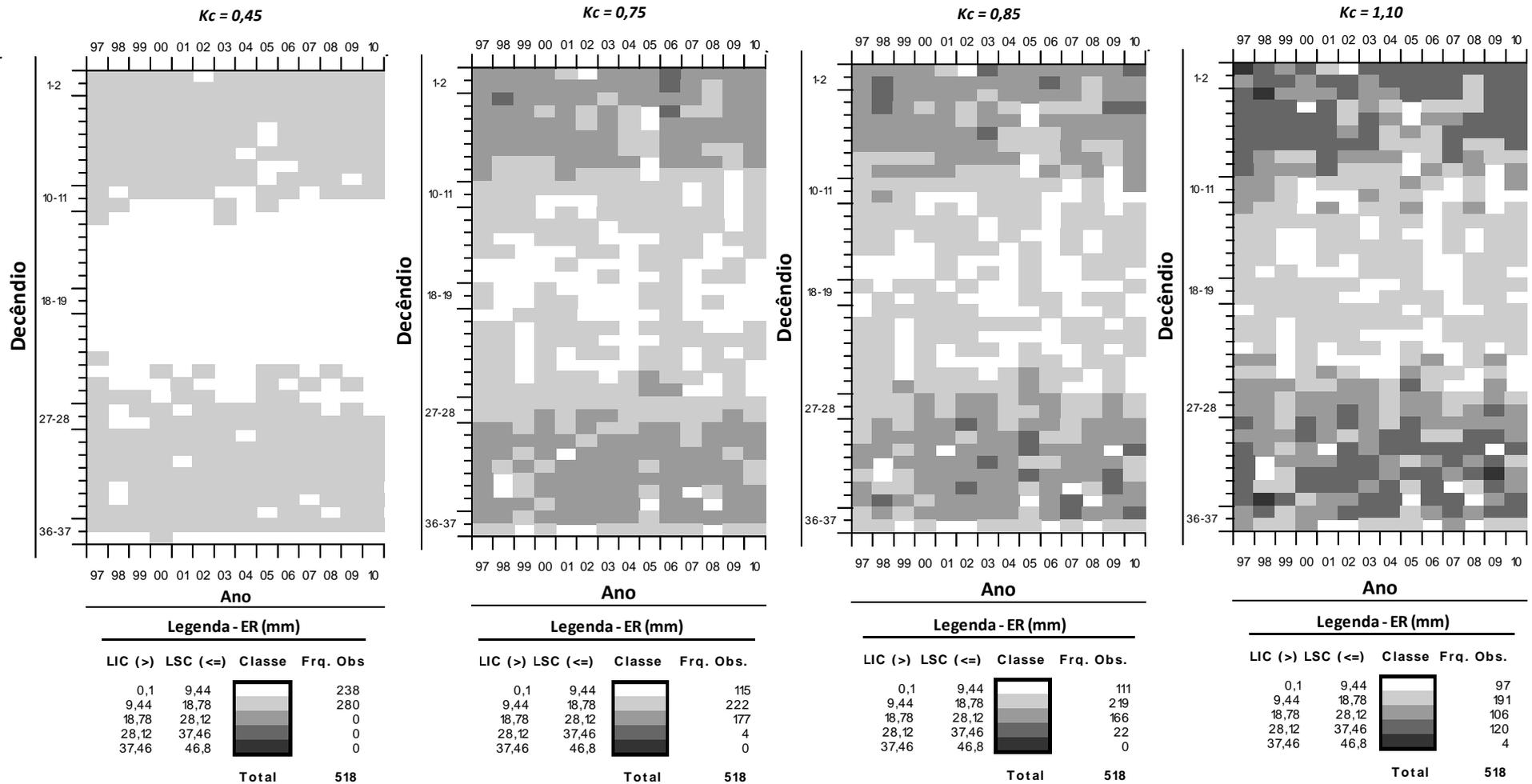
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-5 – Distribuição de frequência dos valores decenciais da Alt (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



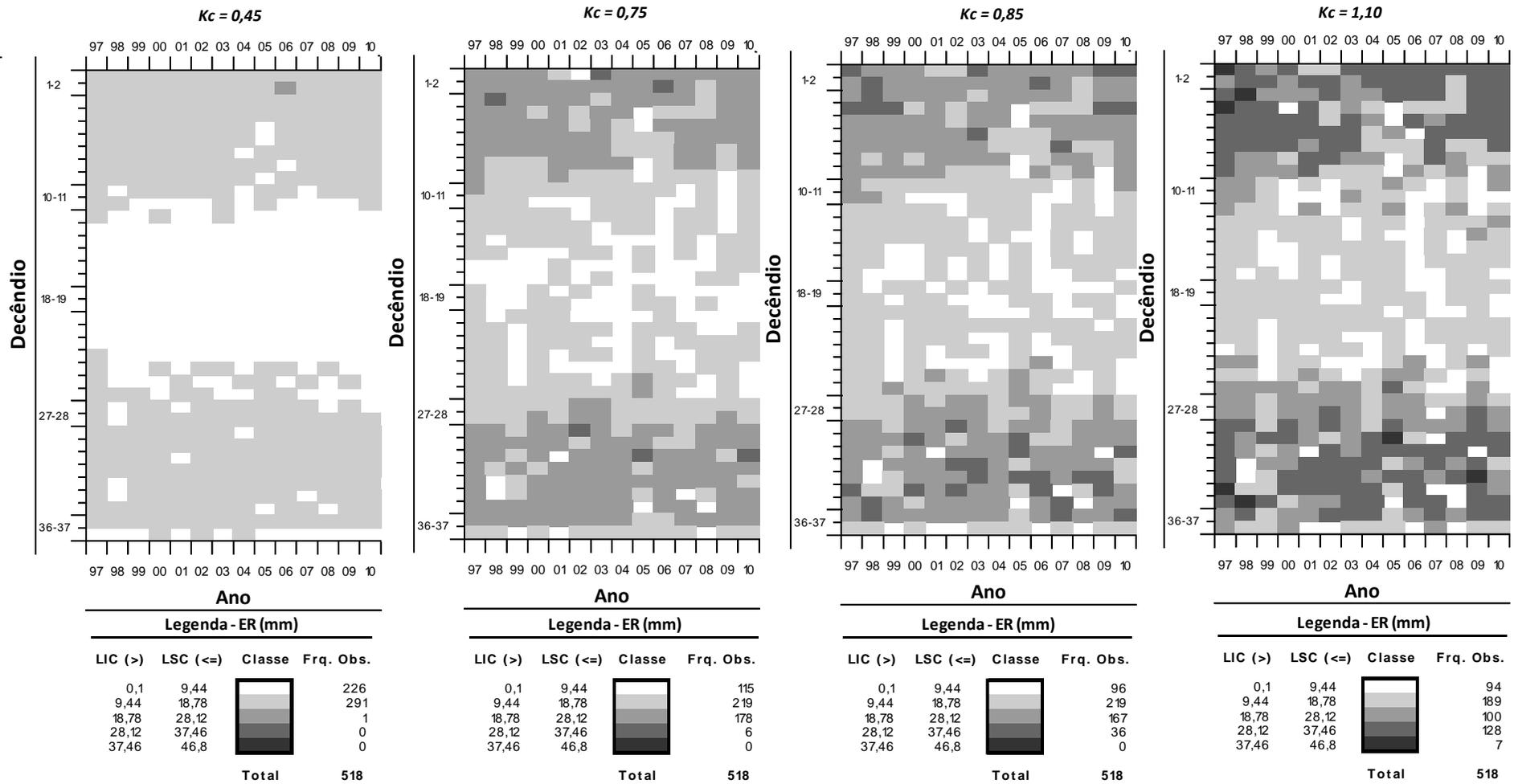
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-6 – Distribuição de frequência dos valores decenciais da *Alt* (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração *p* 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



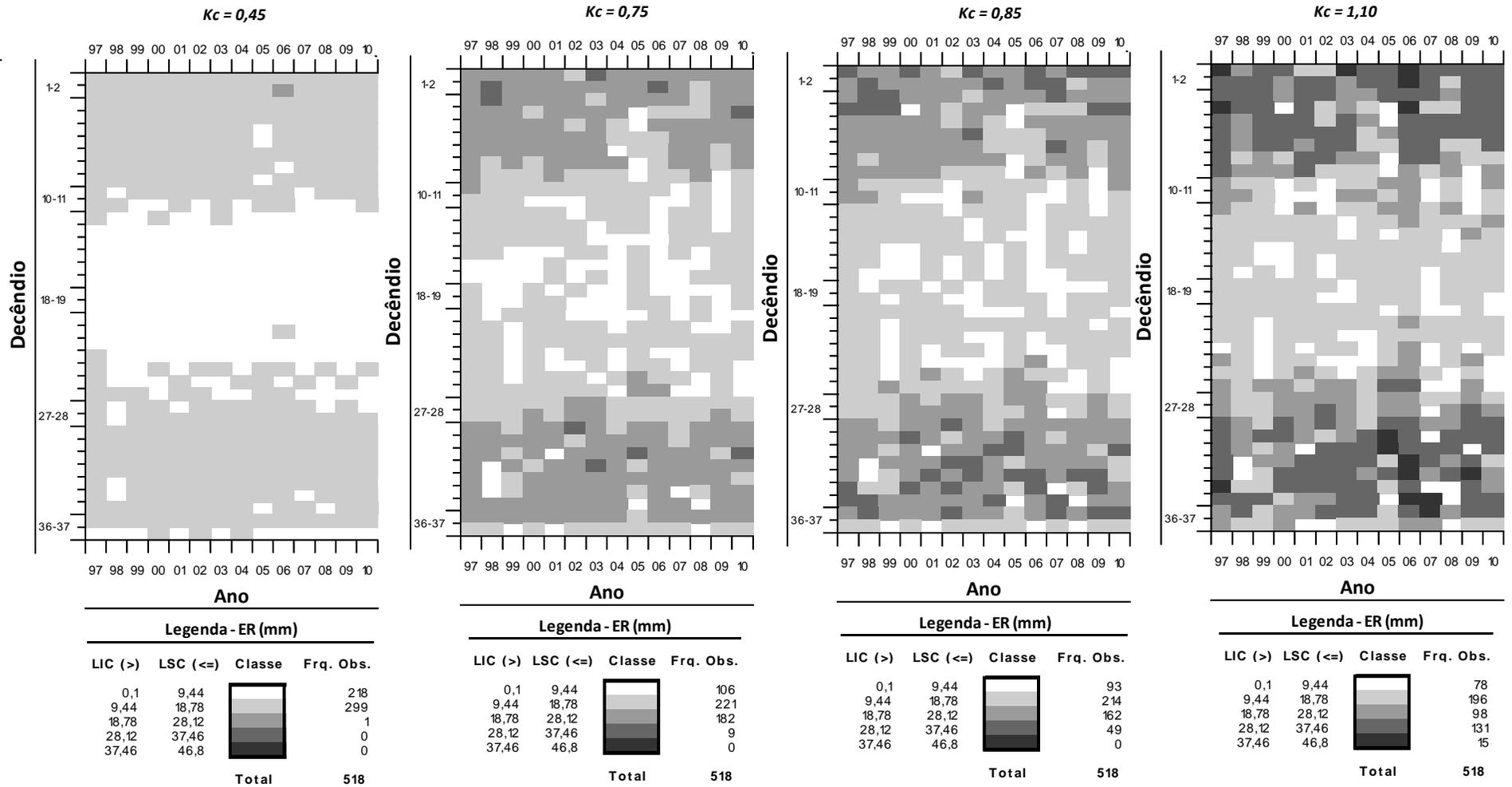
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-7 - Distribuição de frequência dos valores decendiais da ER (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



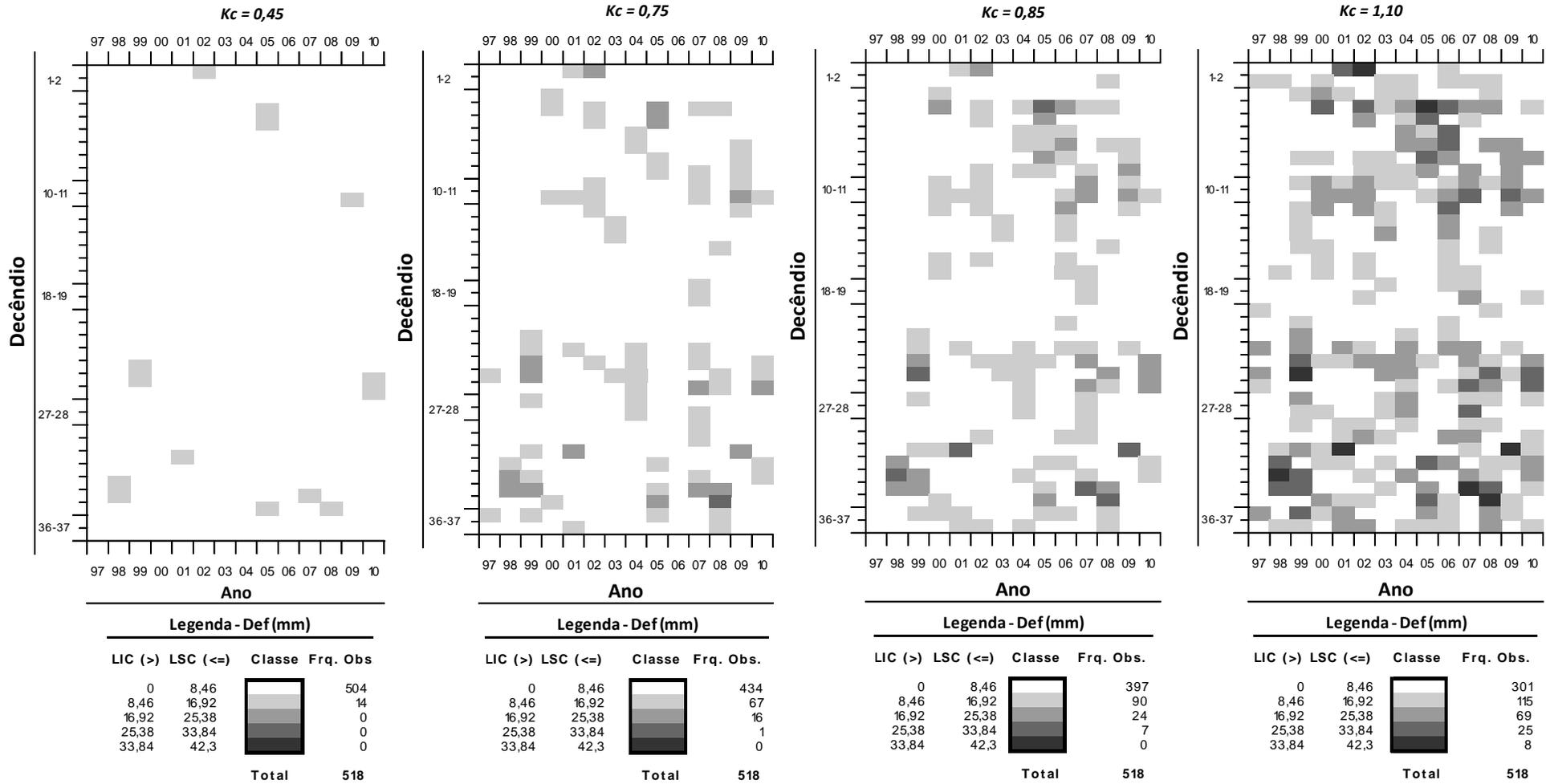
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-8 Distribuição de frequência dos valores decenciais da ER (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



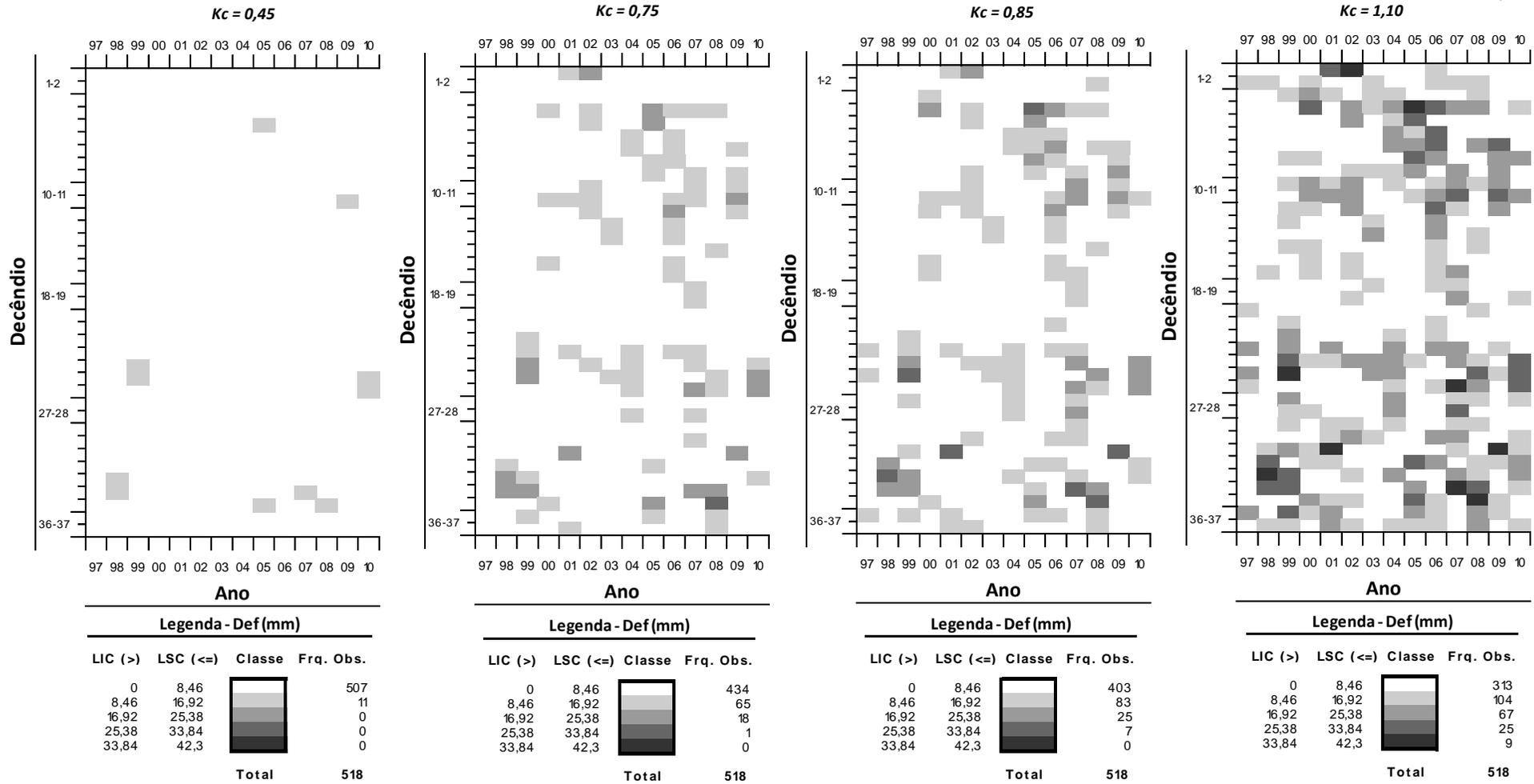
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-9 Distribuição de frequência dos valores decenciais da ER (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



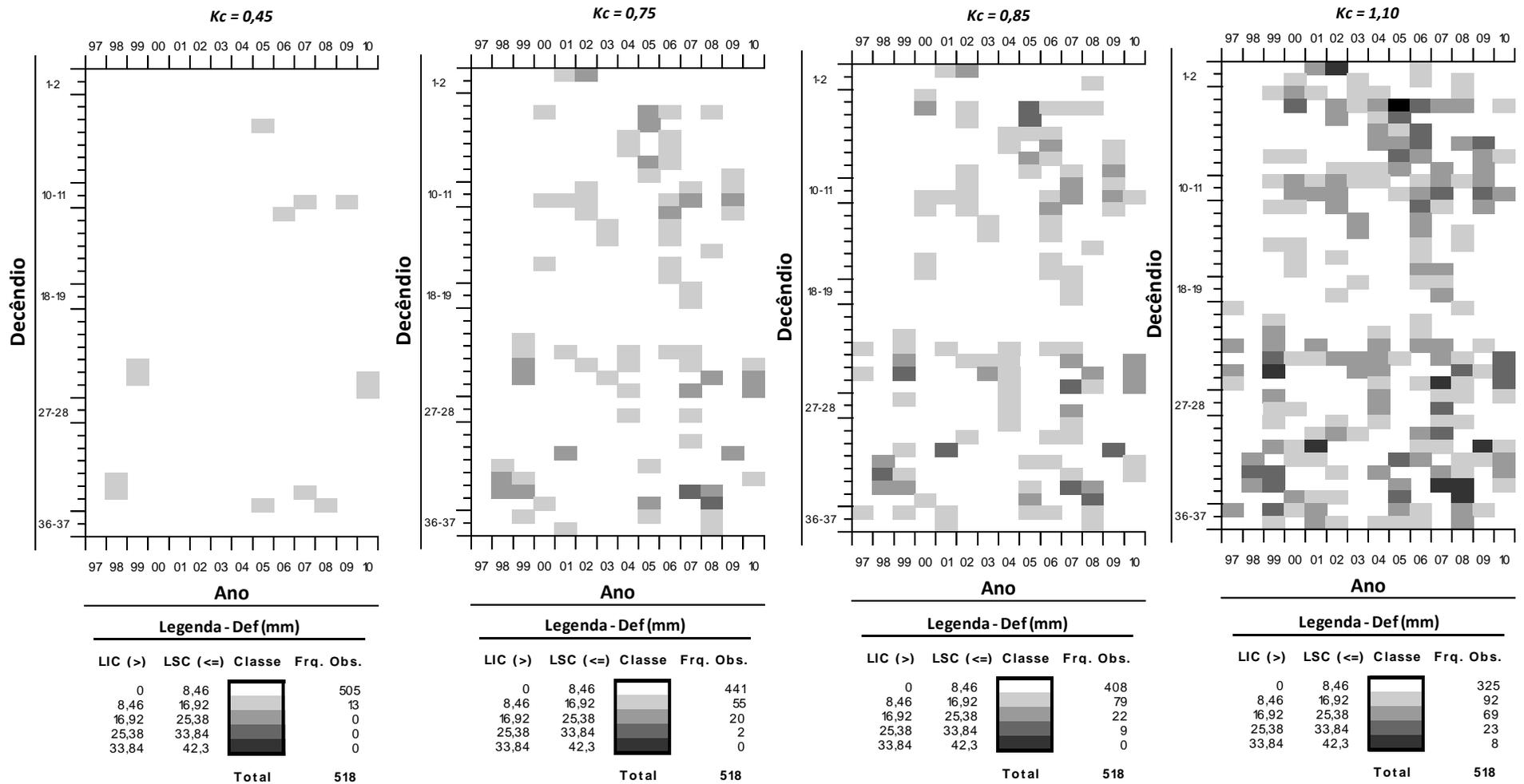
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-10 Distribuição de frequência dos valores decenais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



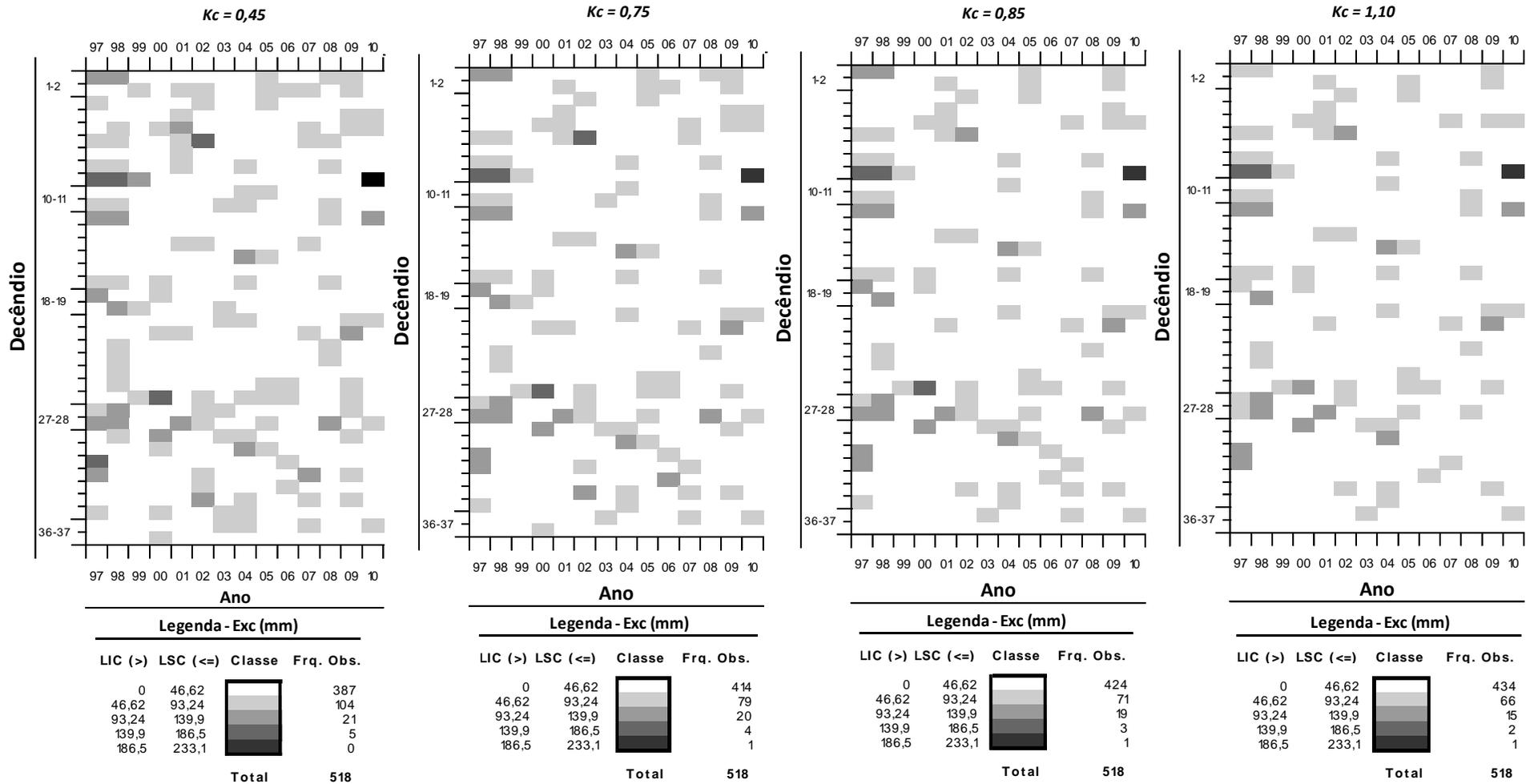
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-11 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



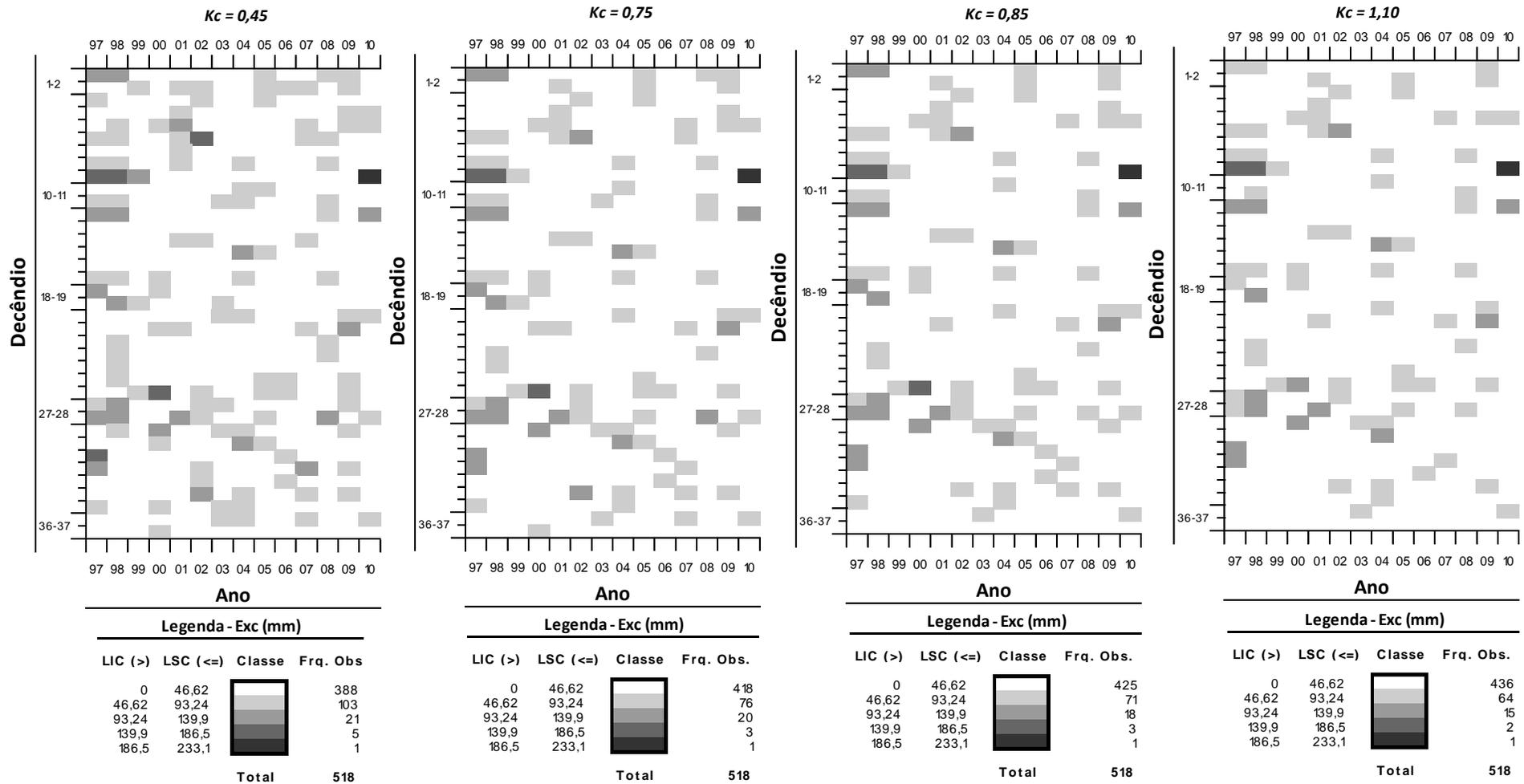
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-12 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



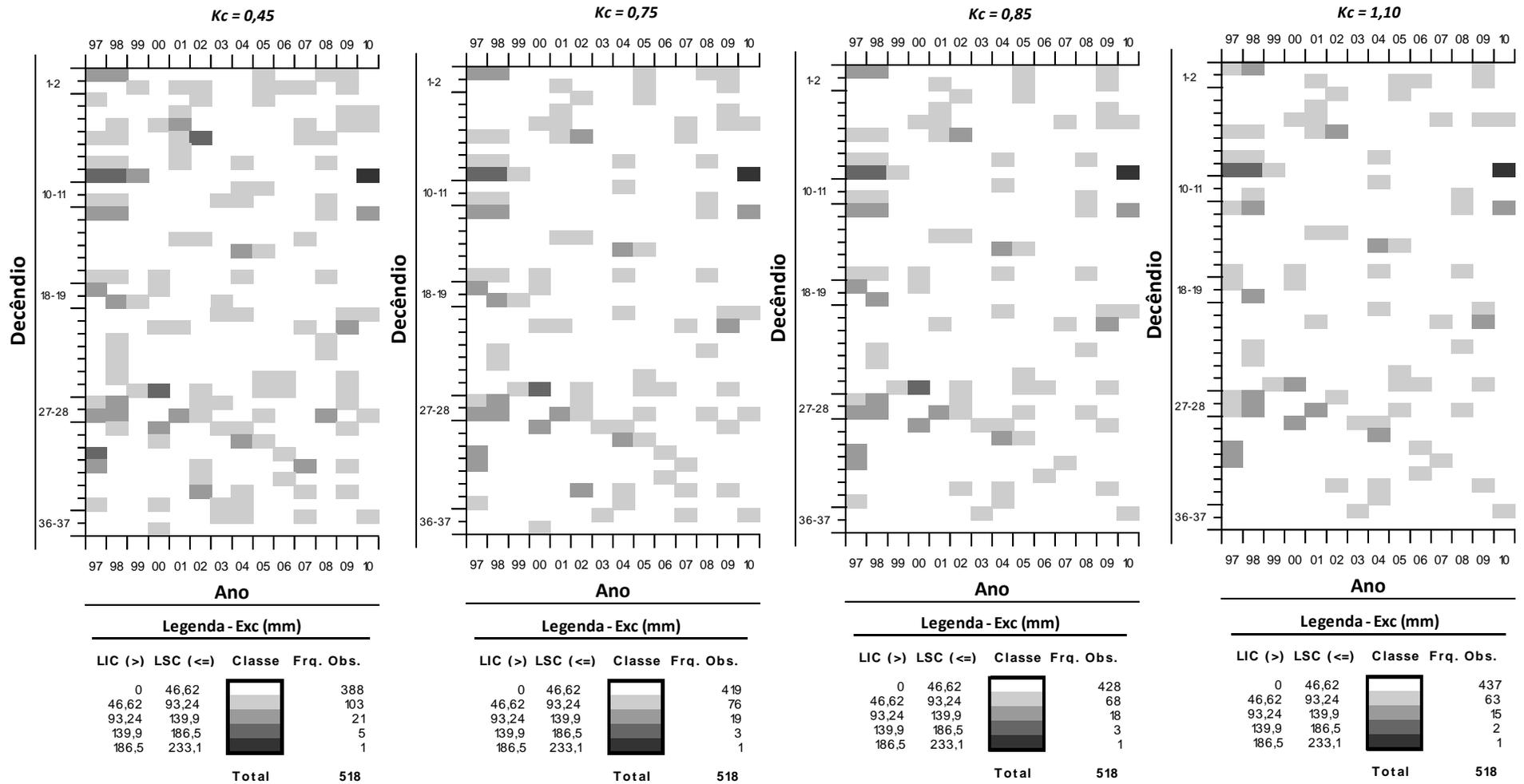
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A3-13 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Exc ($mm\ decênio^{-1}$), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

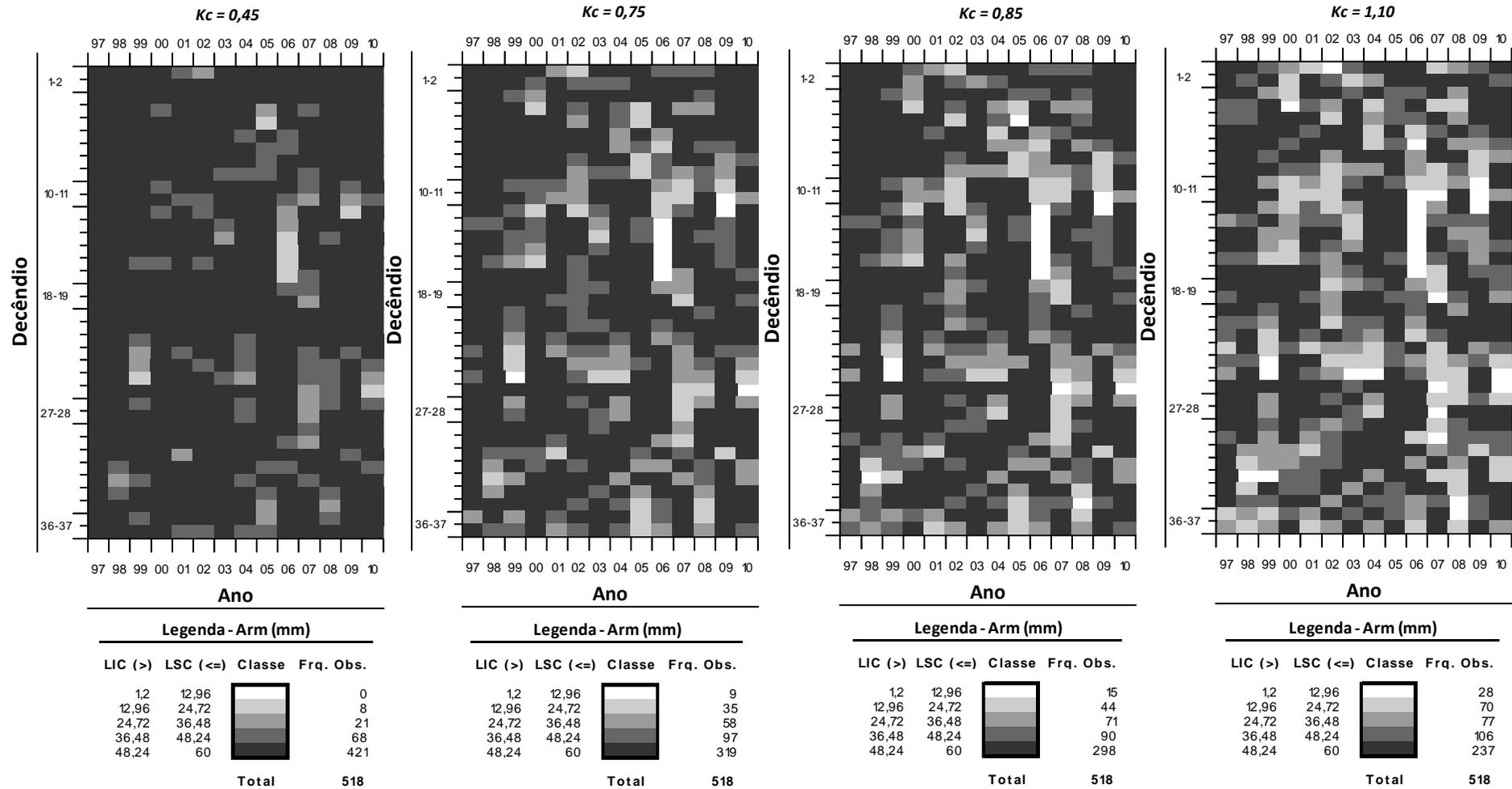
Figura A3-14 Distribuição de frequência dos valores deceniais de Exc (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

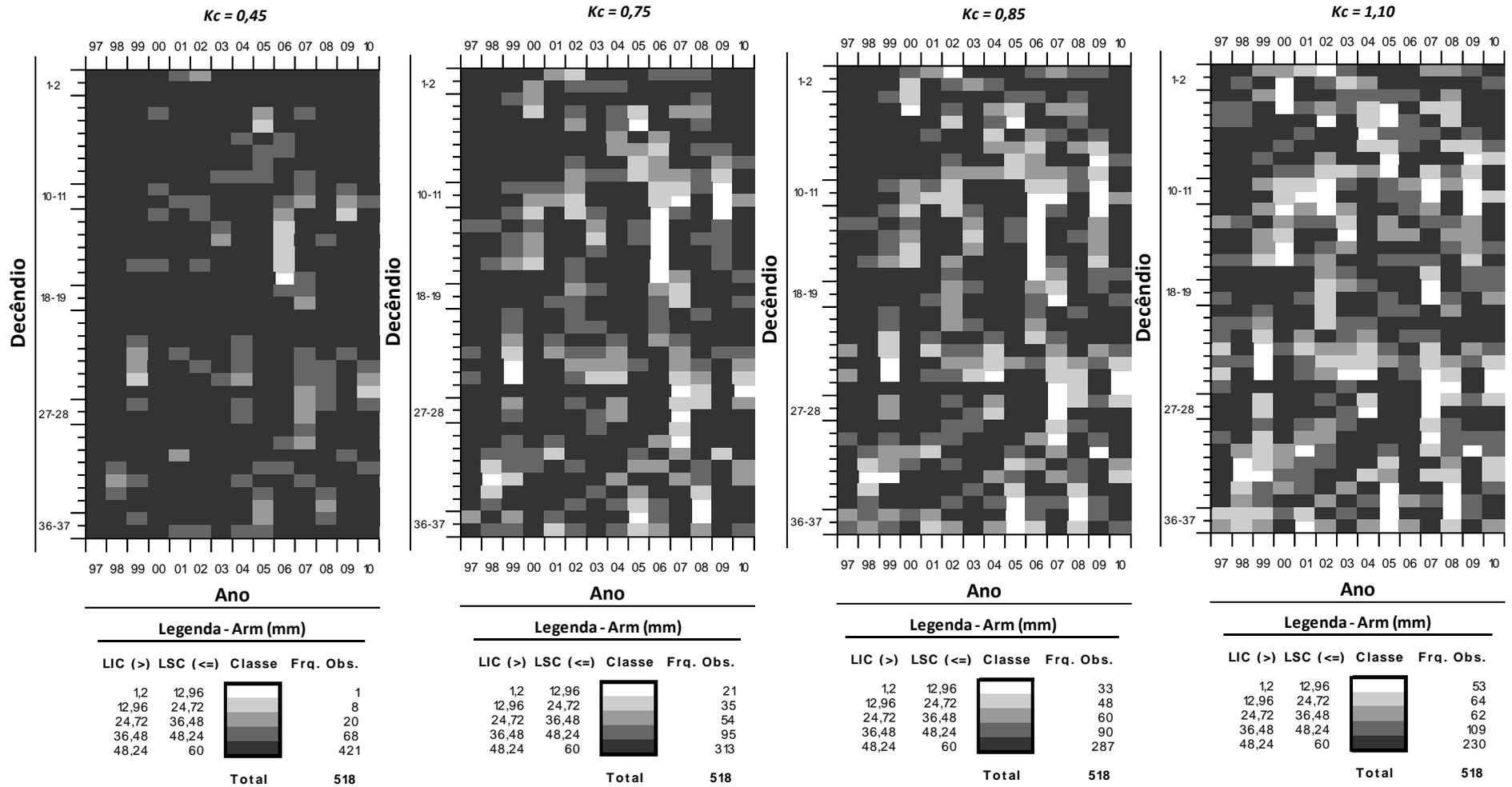
Figura A3-15 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Exc ($mm \text{ decênio}^{-1}$), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.

APÊNDICE 04– Distribuição de frequência dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 60 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



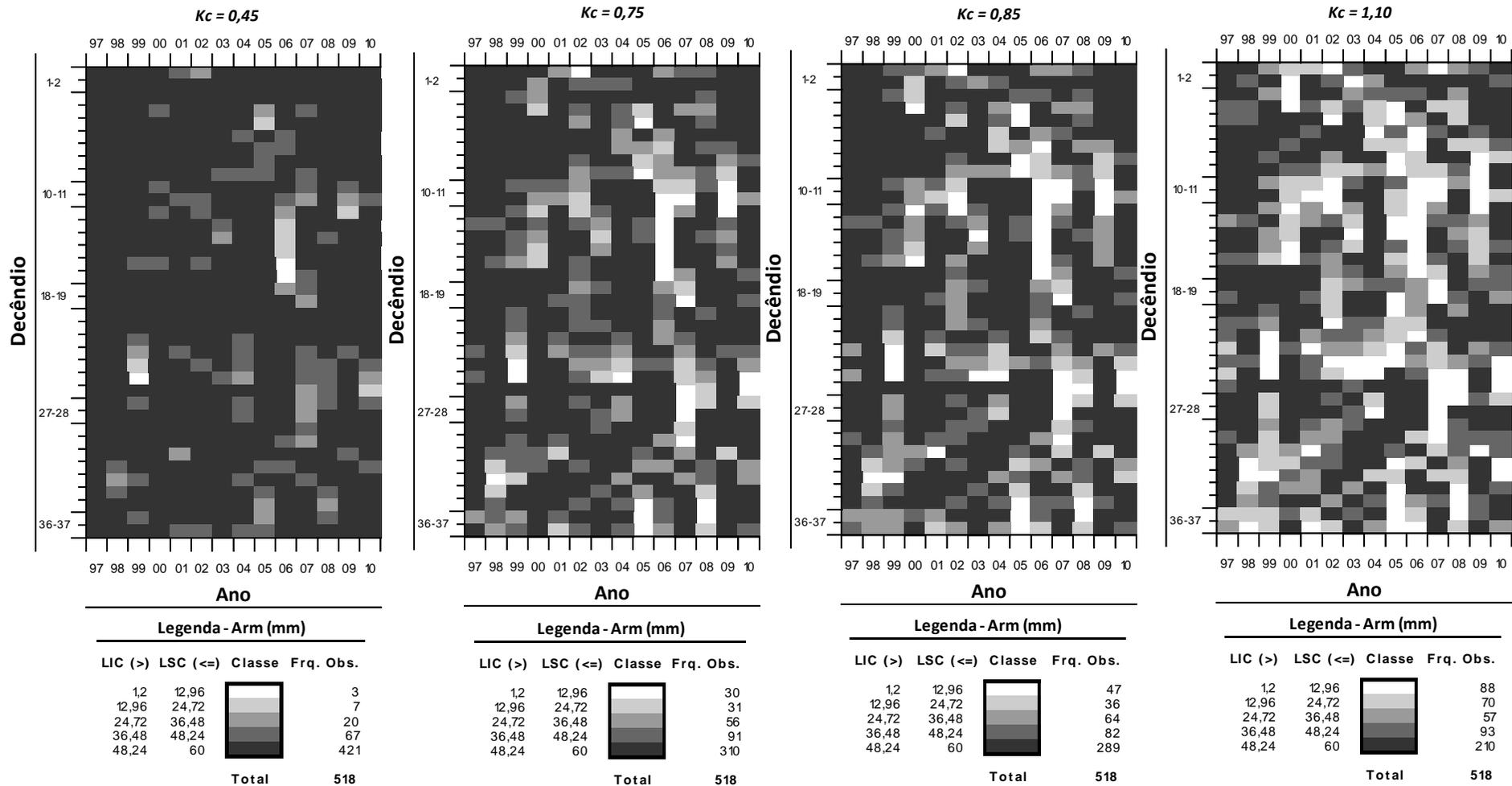
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-1 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



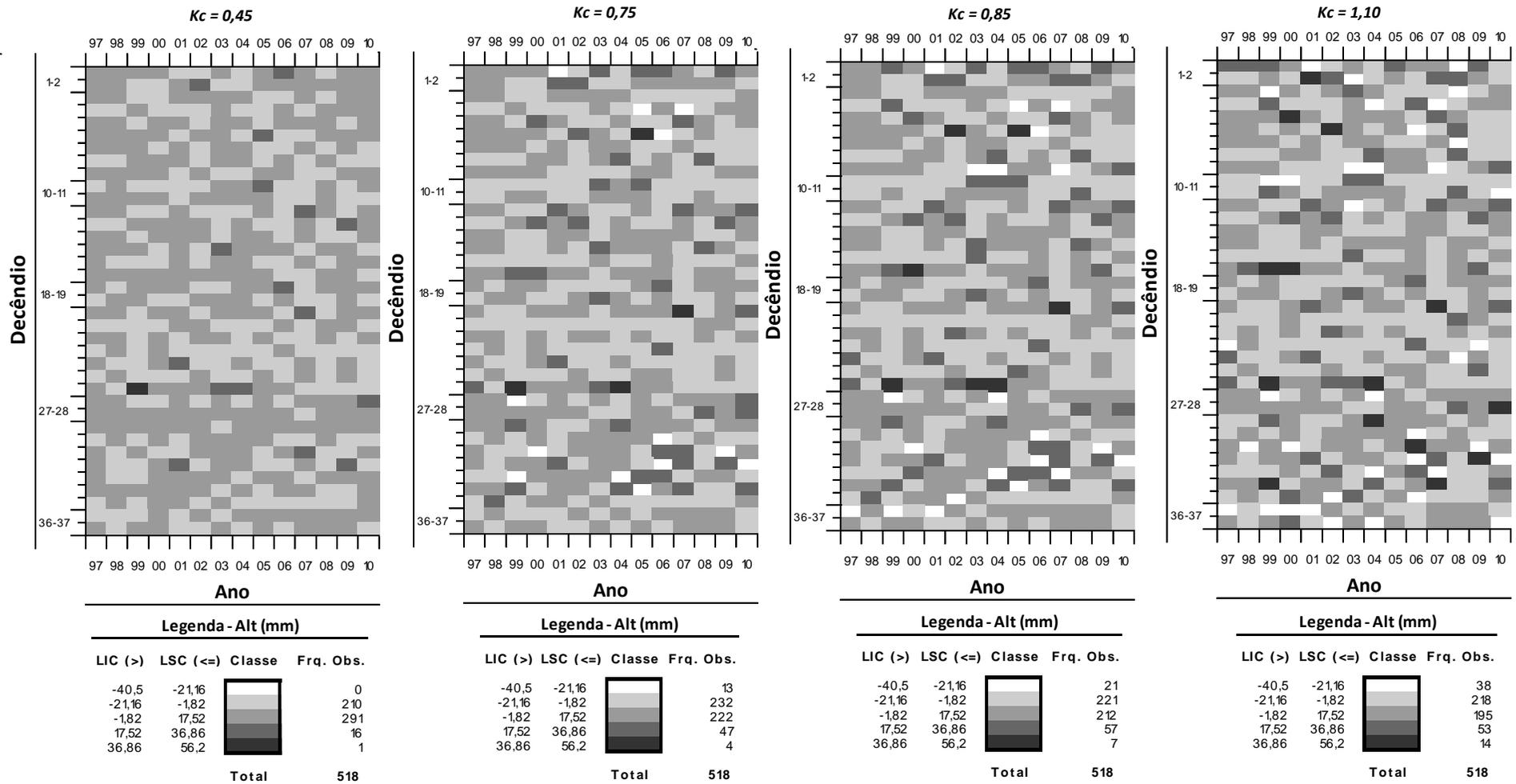
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-2 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



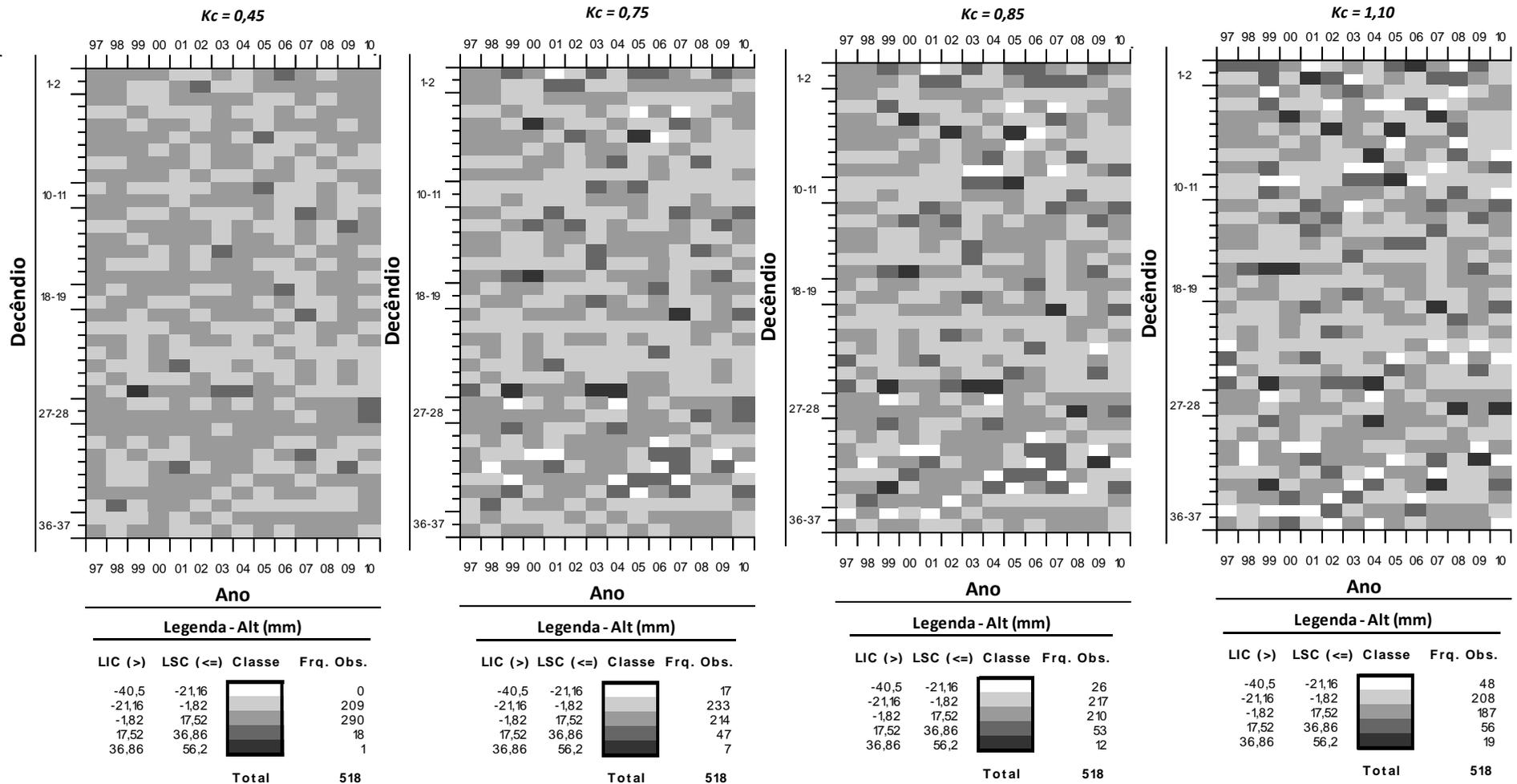
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-3 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm ($mm\ decênio^{-1}$), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



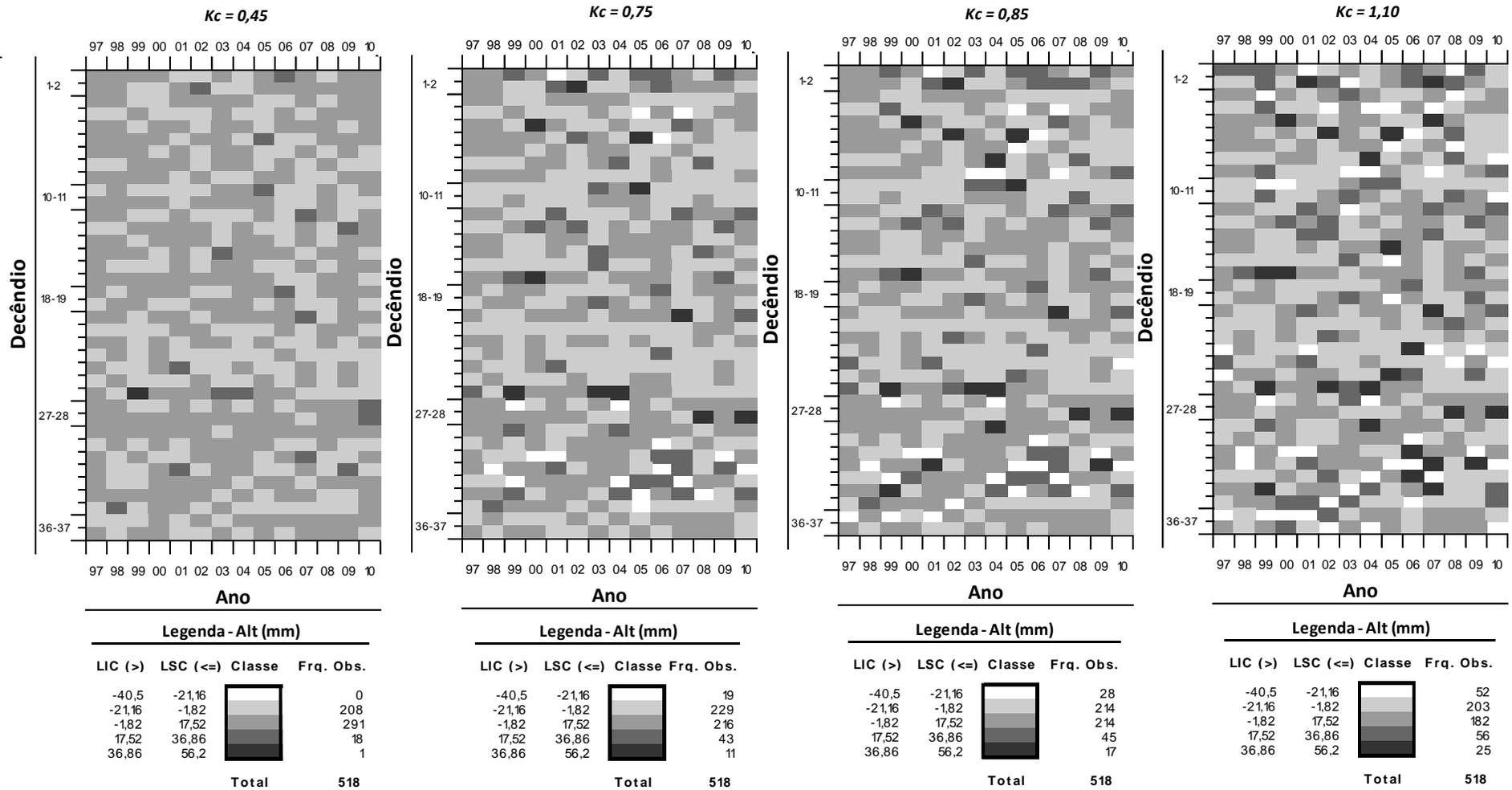
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-4 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Alt ($mm\ decênio^{-1}$), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



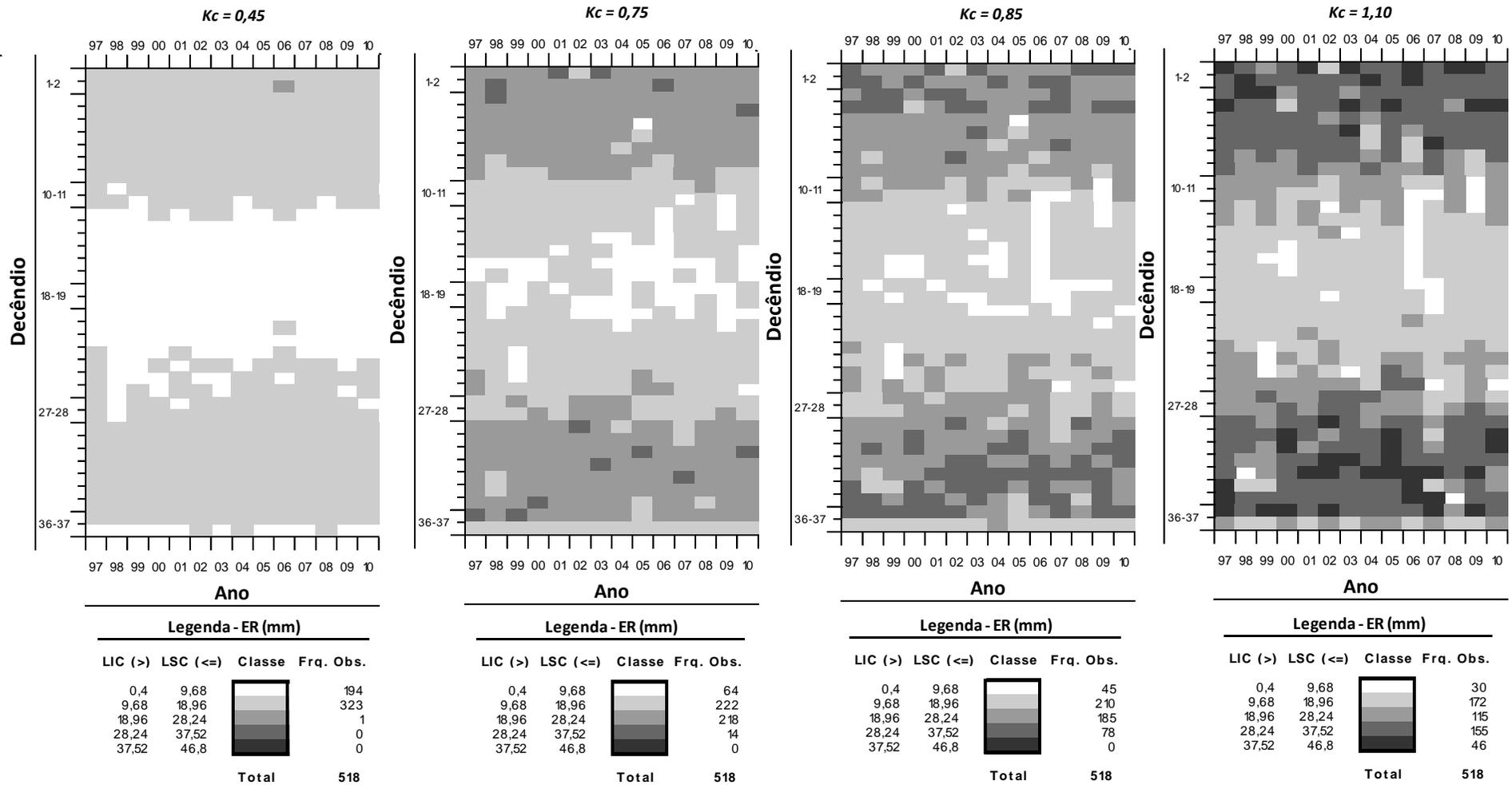
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-5 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Alt (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



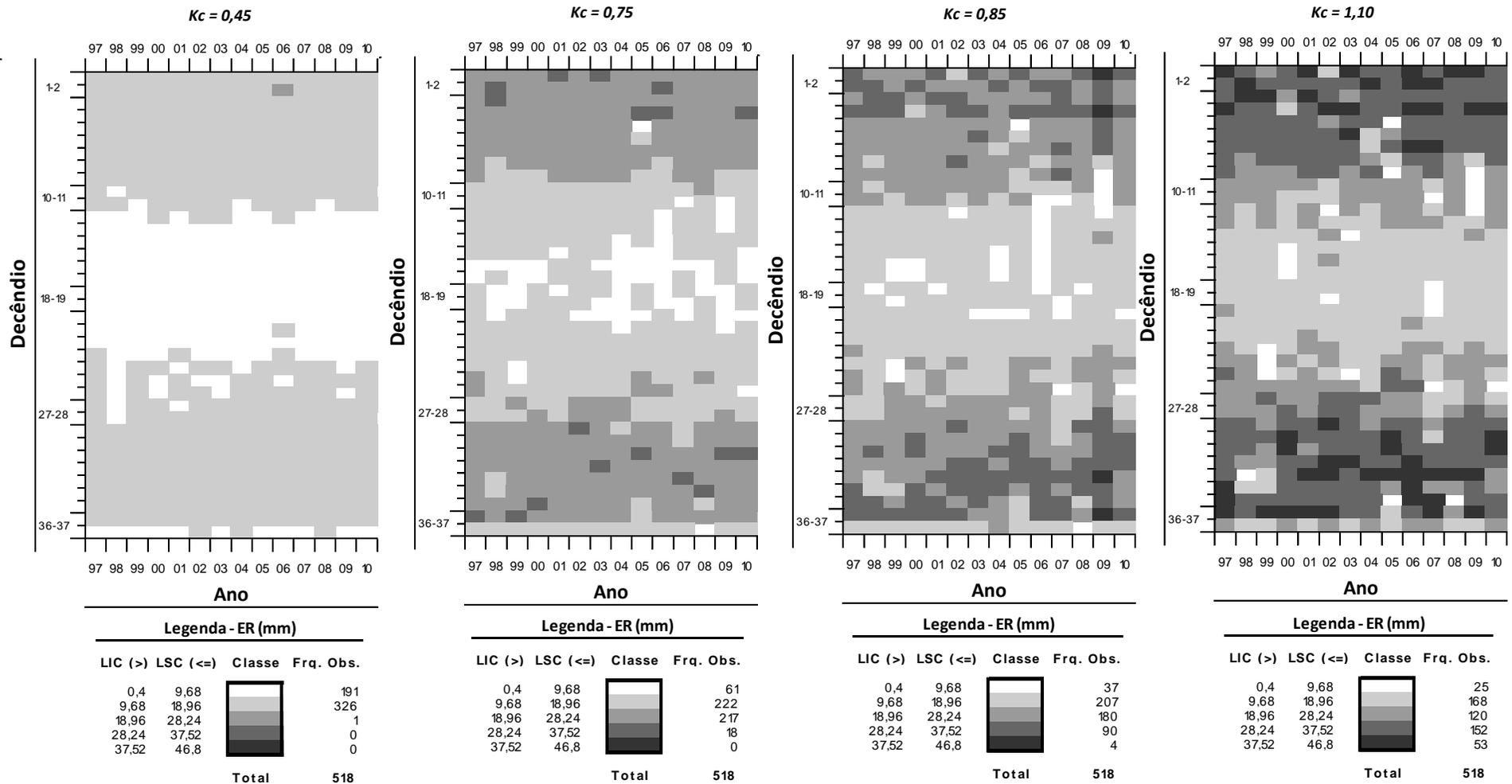
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-6 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Alt (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



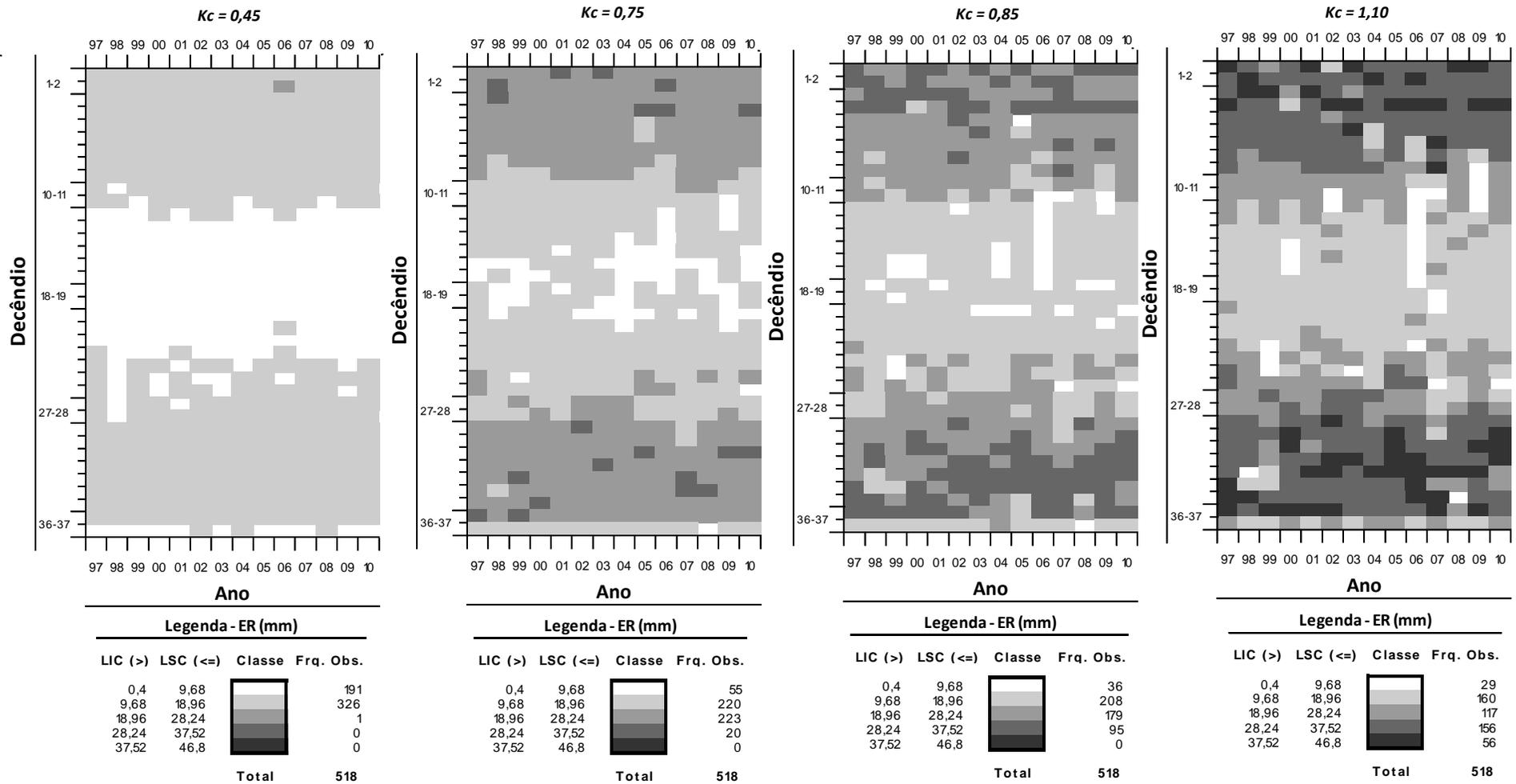
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-7 Distribuição de frequência dos valores decenciais de ER (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



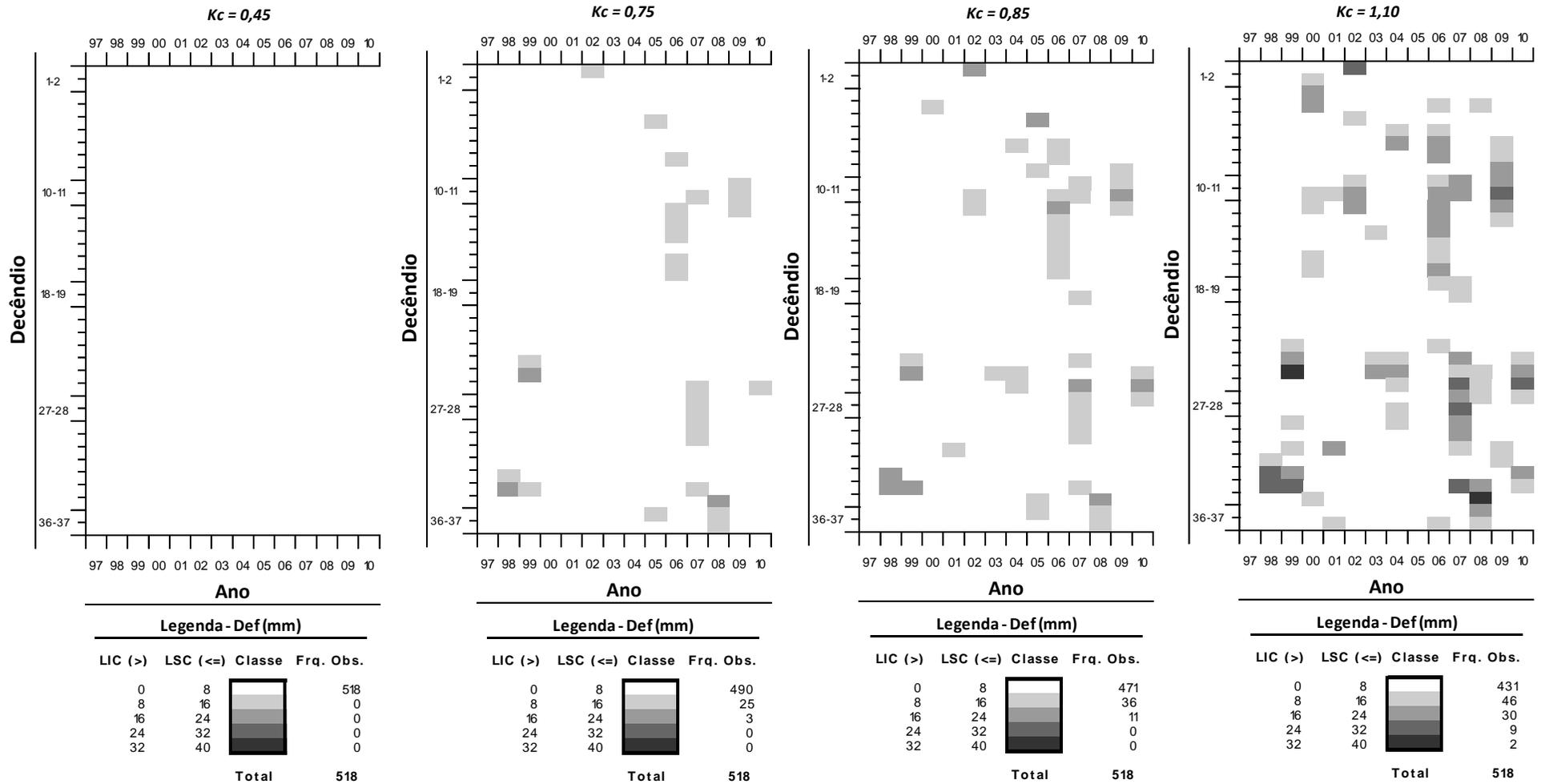
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-8 Distribuição de frequência dos valores decenciais de ER (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



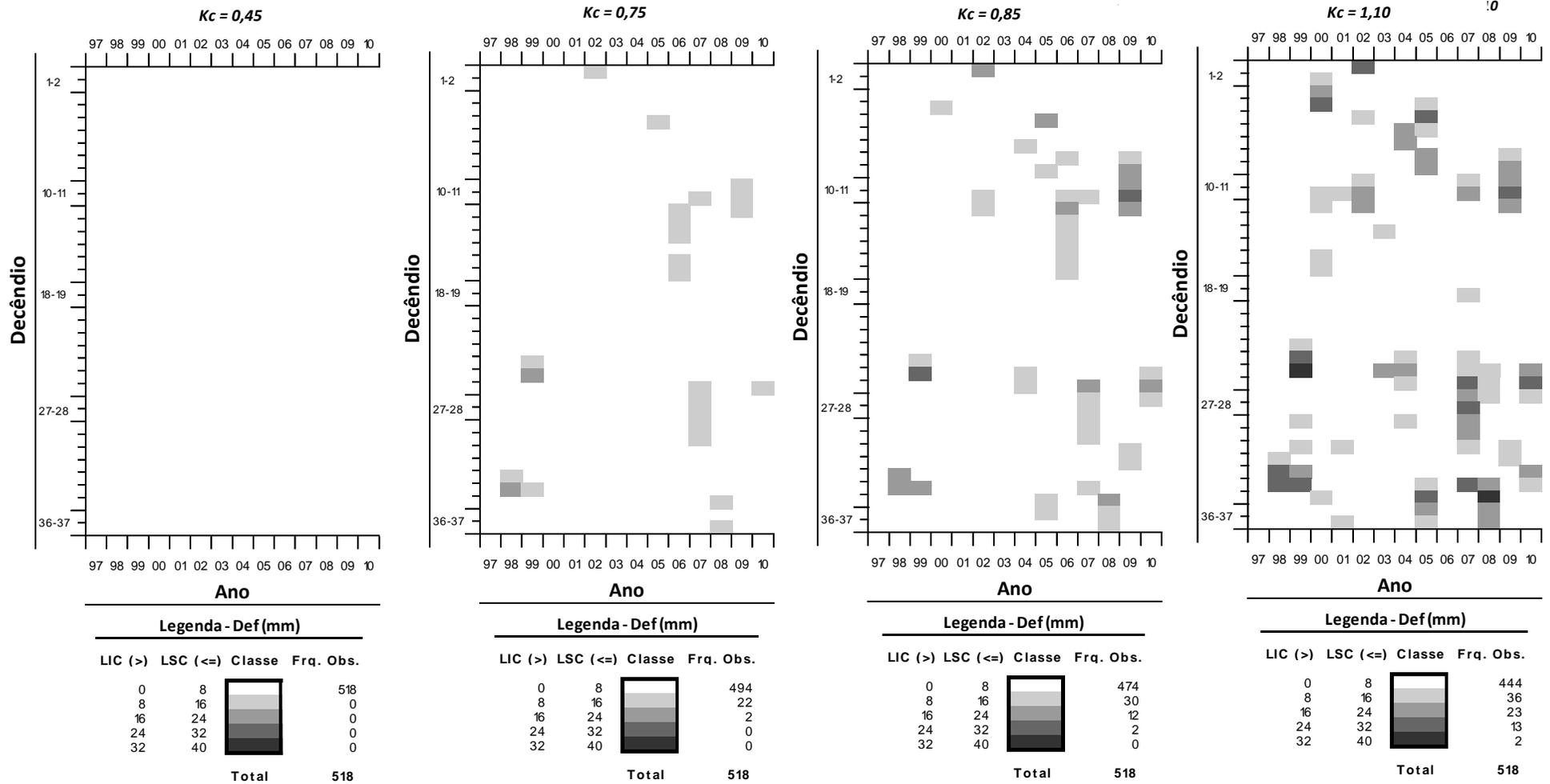
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-9 Distribuição de frequência dos valores decenciais de ER (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



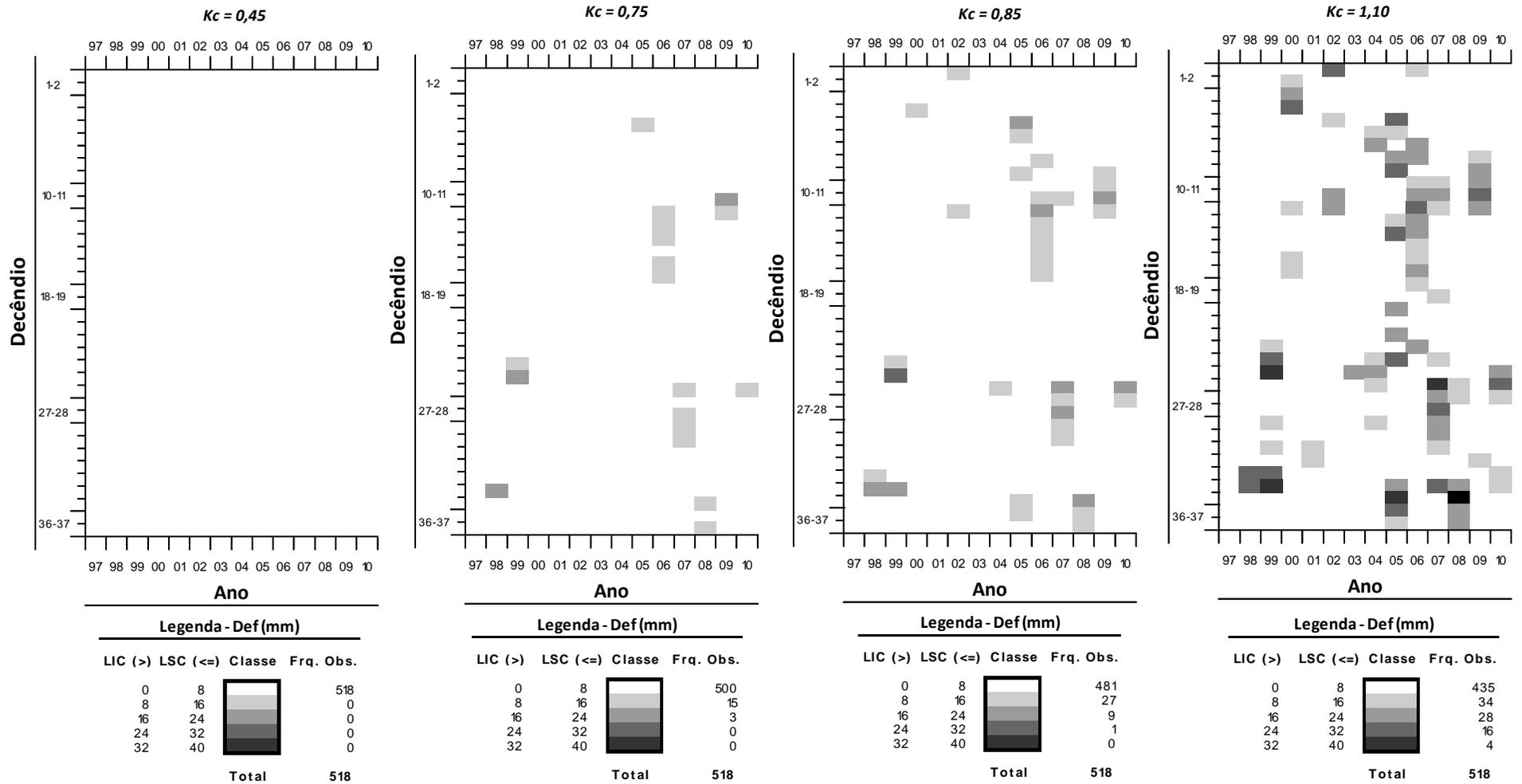
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-10 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



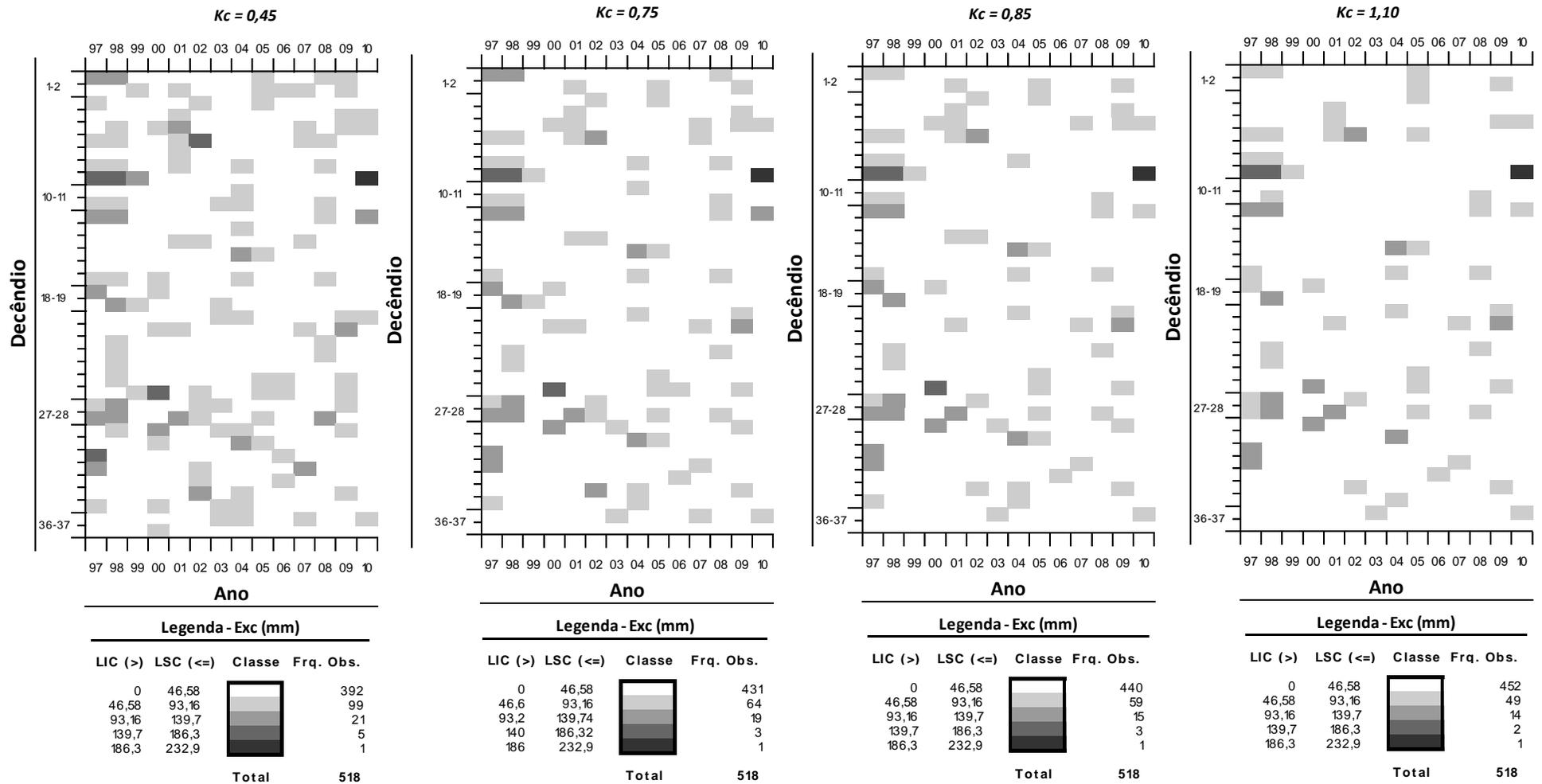
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-11 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



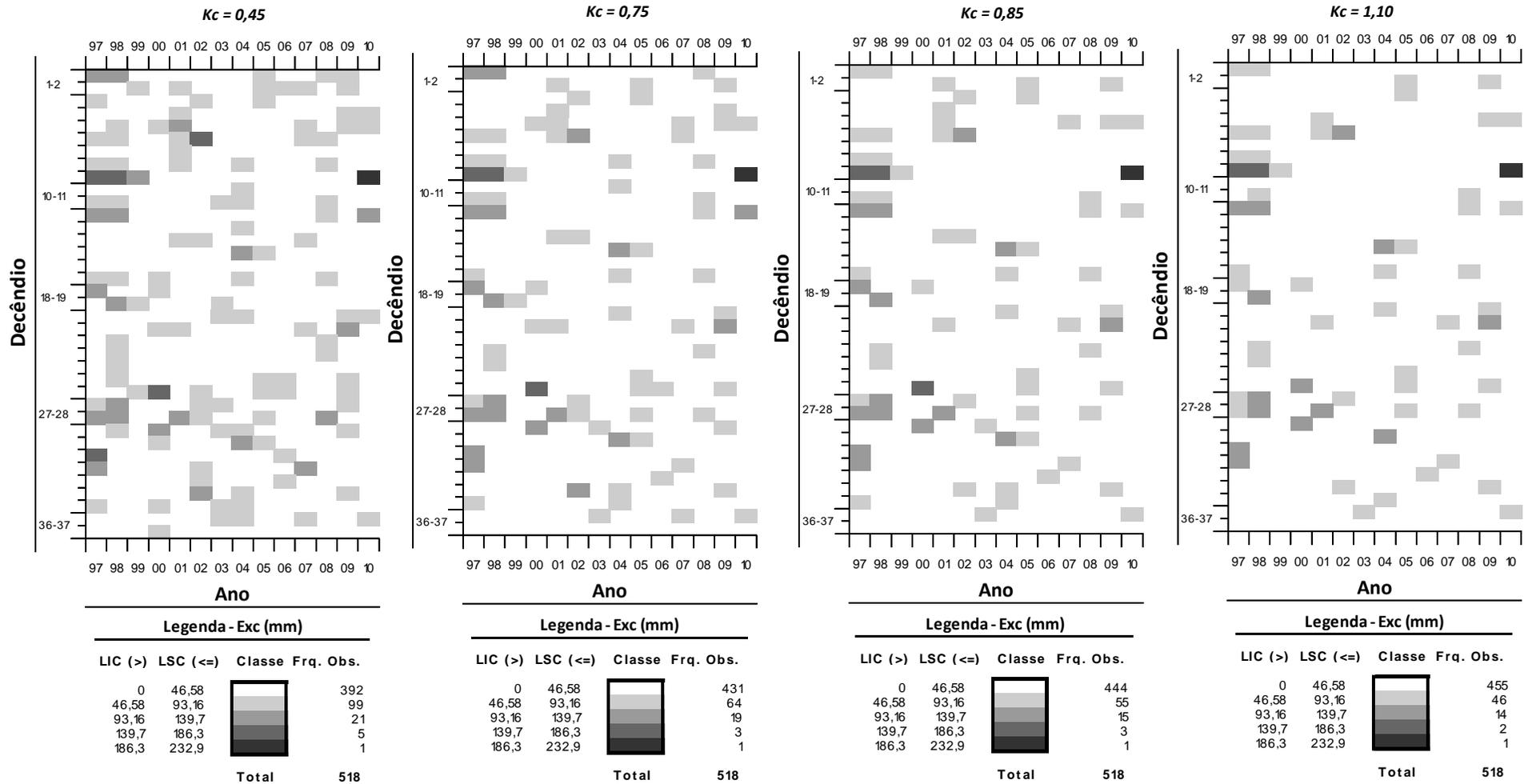
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-12 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



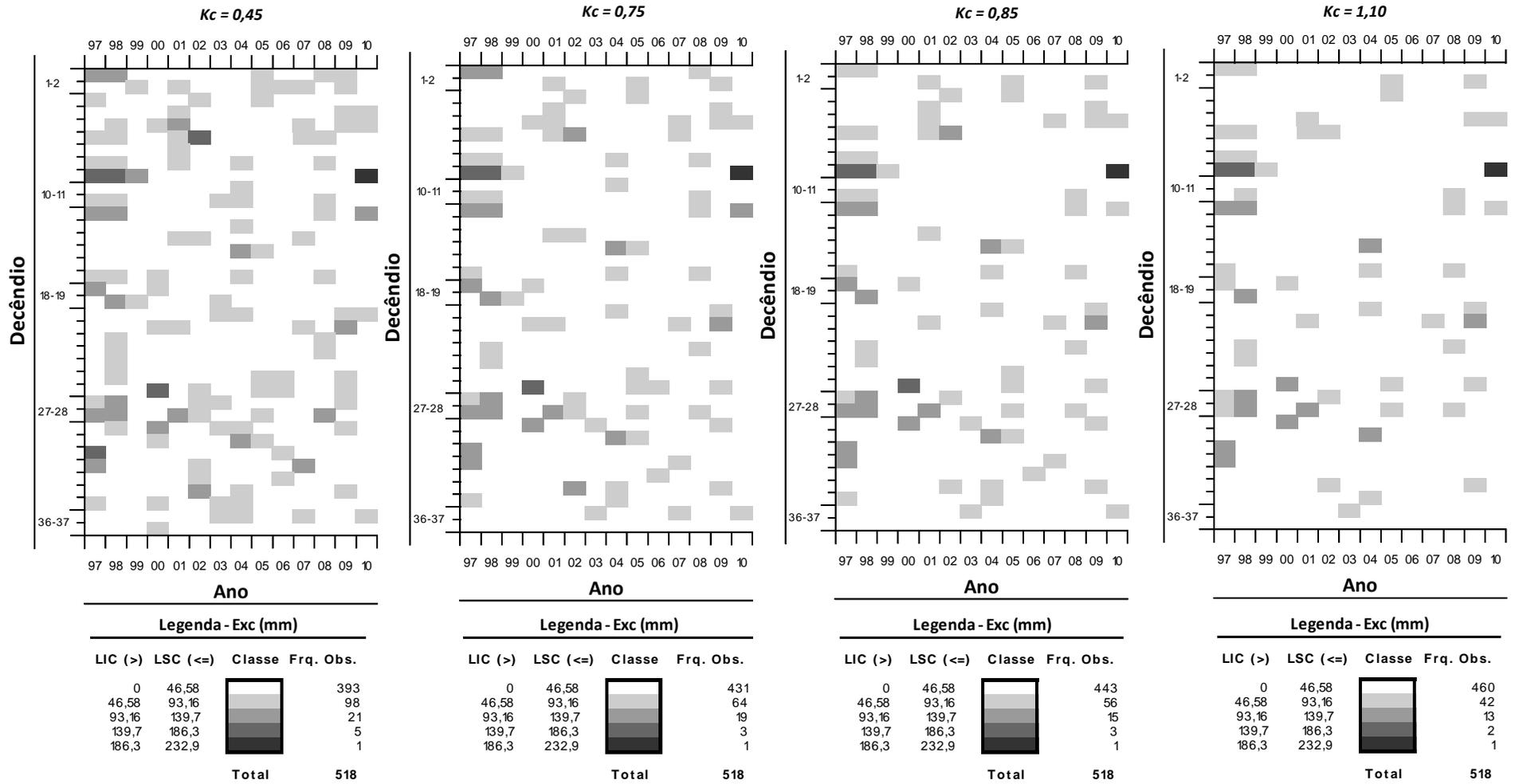
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-13 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Exc ($mm \text{ decênio}^{-1}$), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

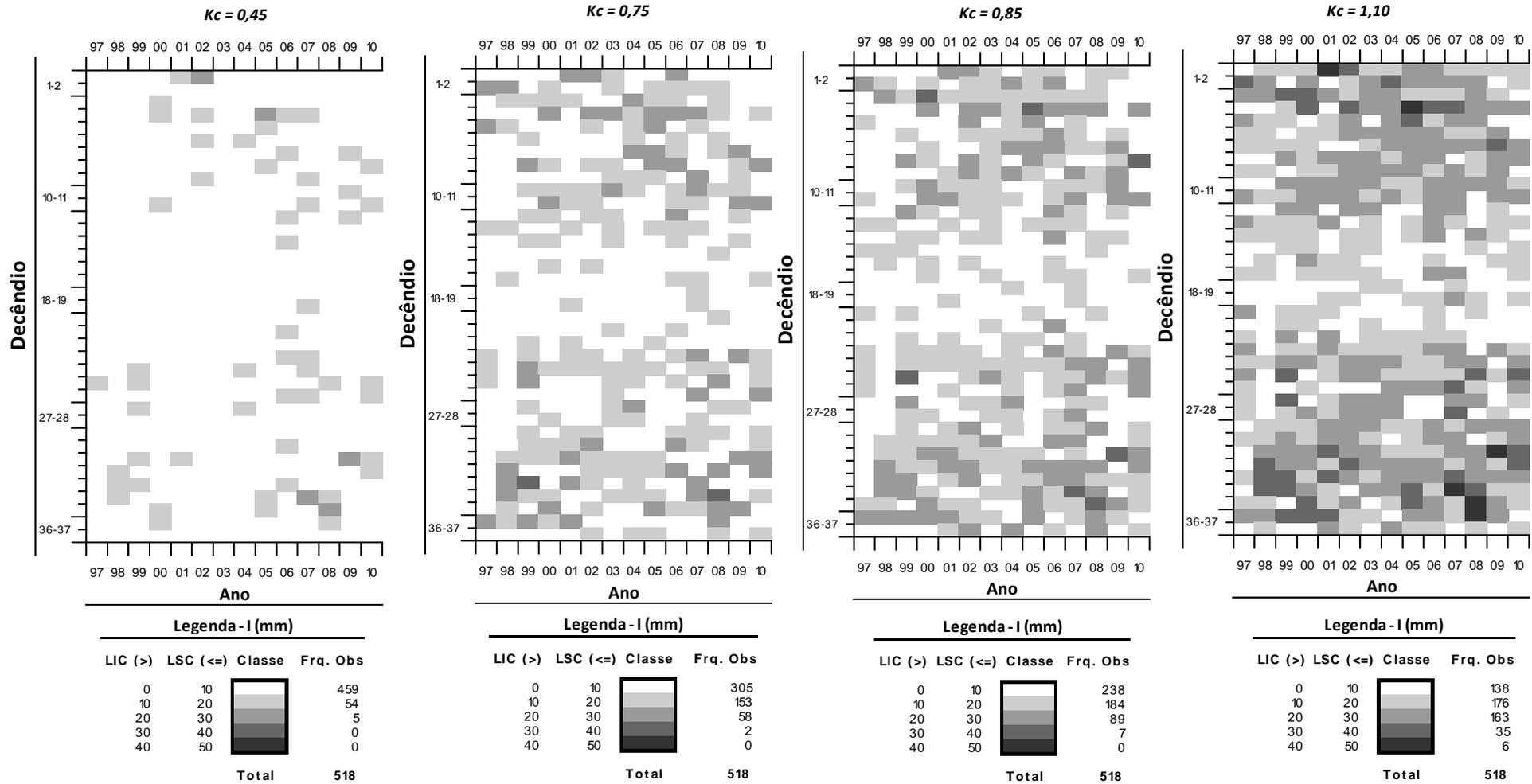
Figura A4-14 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Exc (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

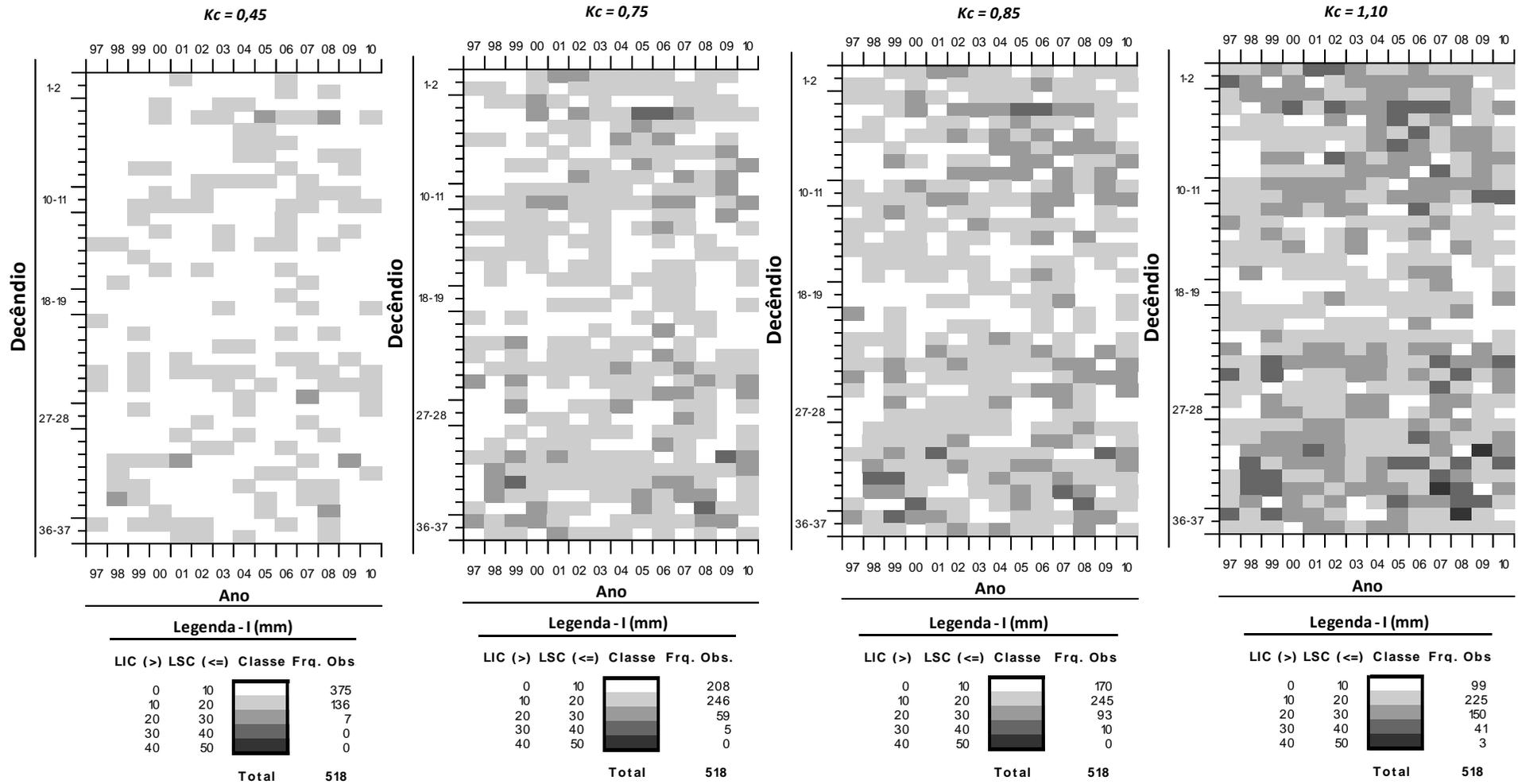
Figura A4-15 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Exc (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.

APÊNDICE 05 – Distribuição de frequência dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



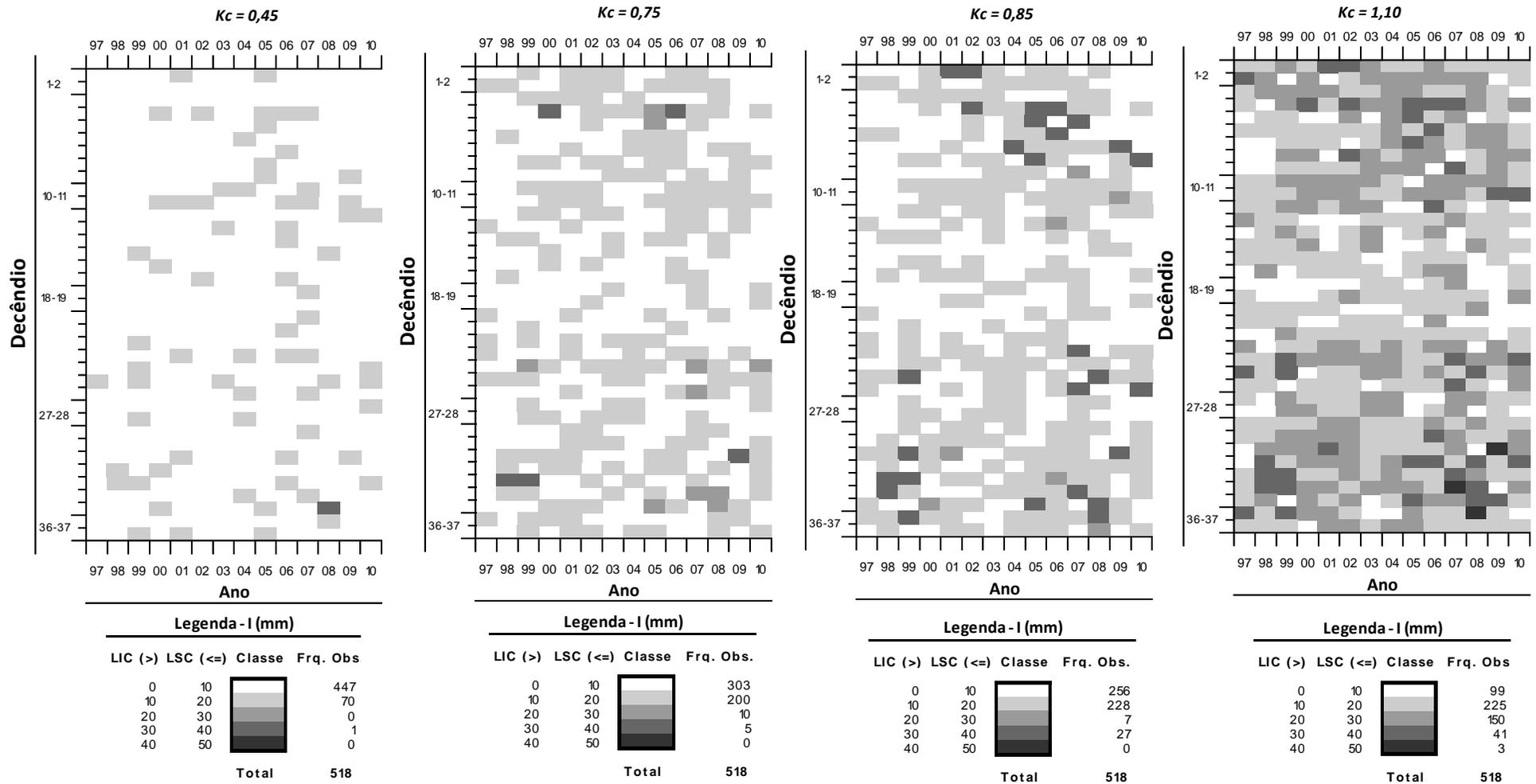
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-1 Distribuição de frequência dos valores deceniais de I (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



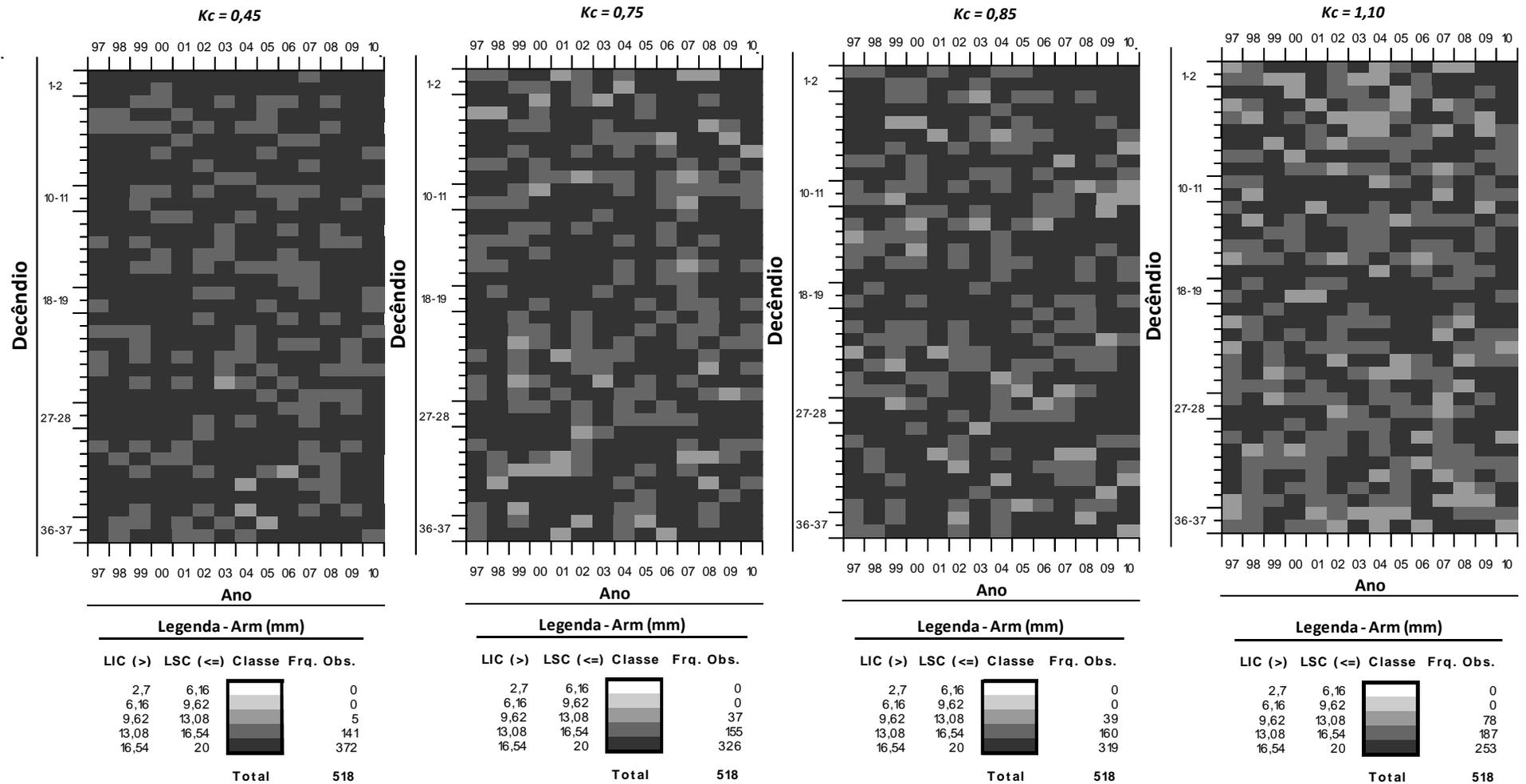
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-2 Distribuição de frequência dos valores decendiais de I (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



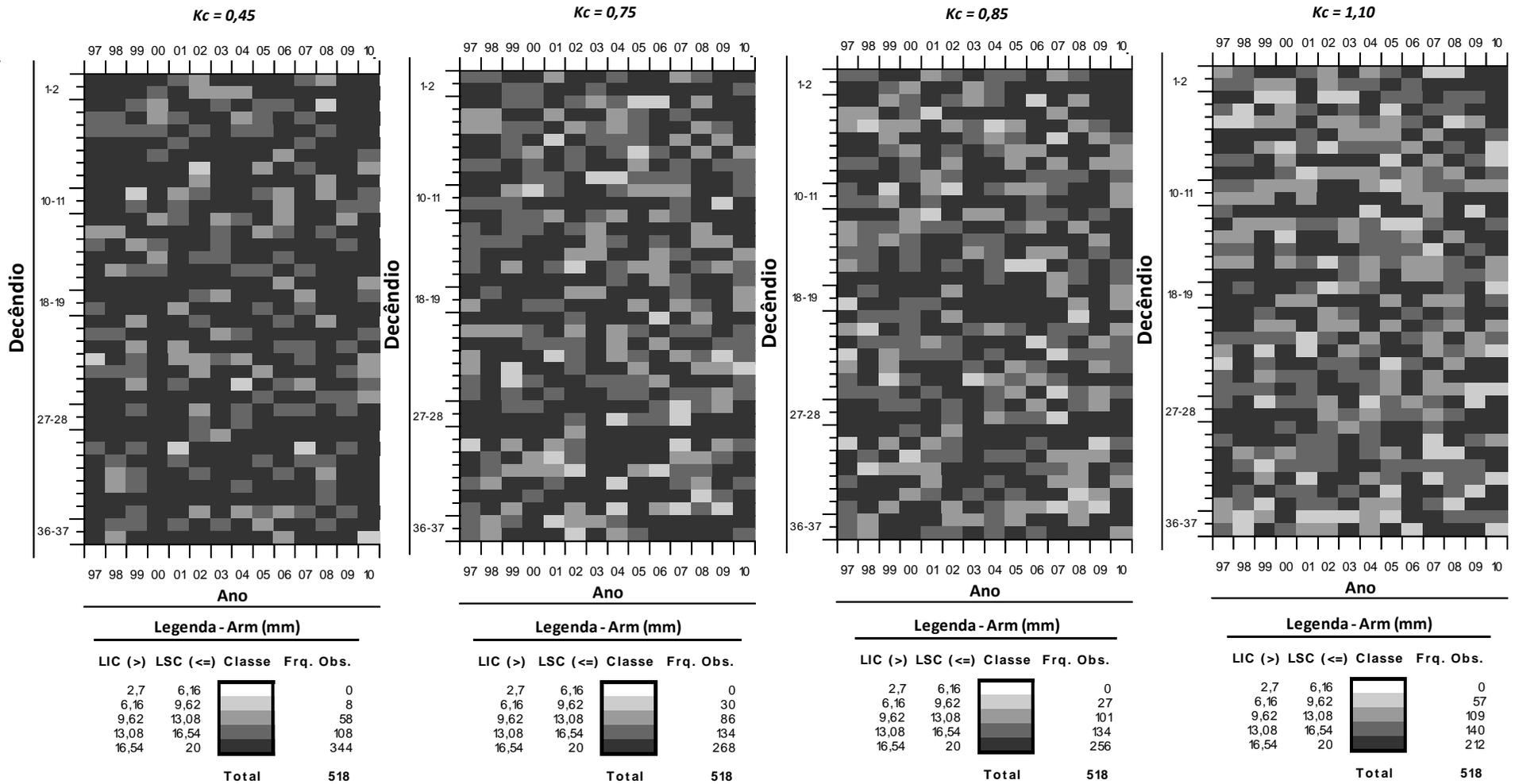
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-3 Distribuição de frequência dos valores decenciais de I (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



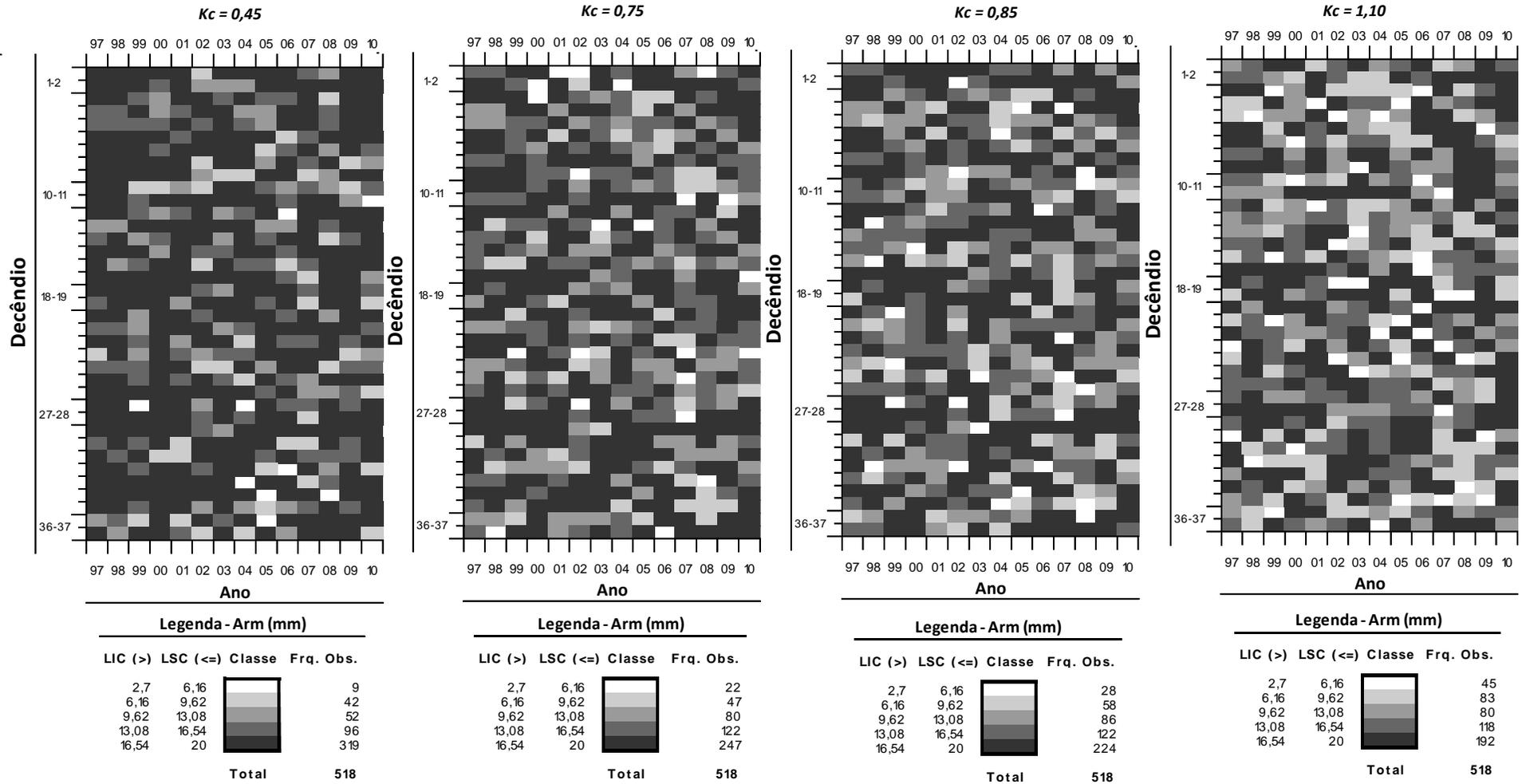
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-4 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



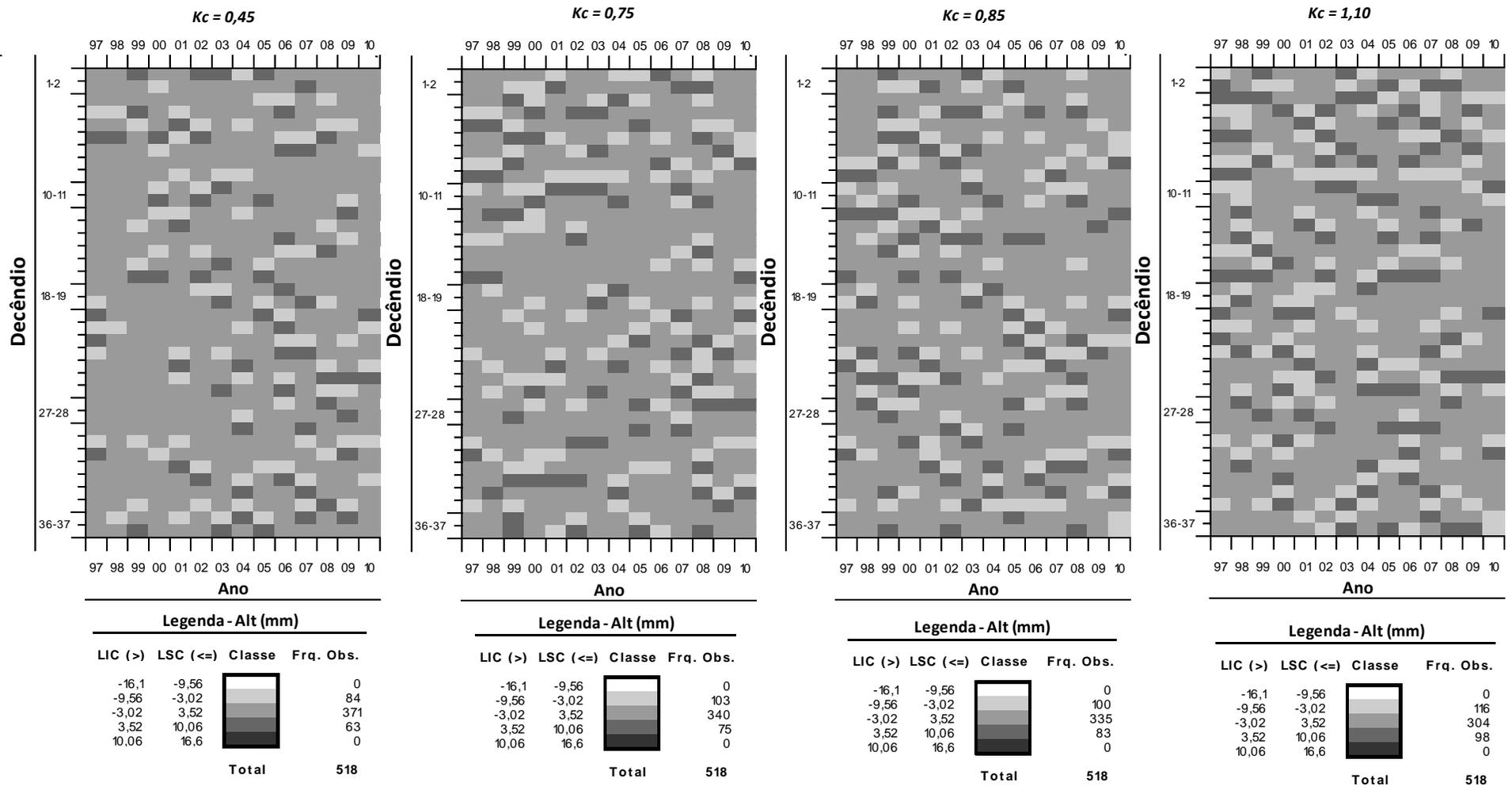
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-5 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decêndio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



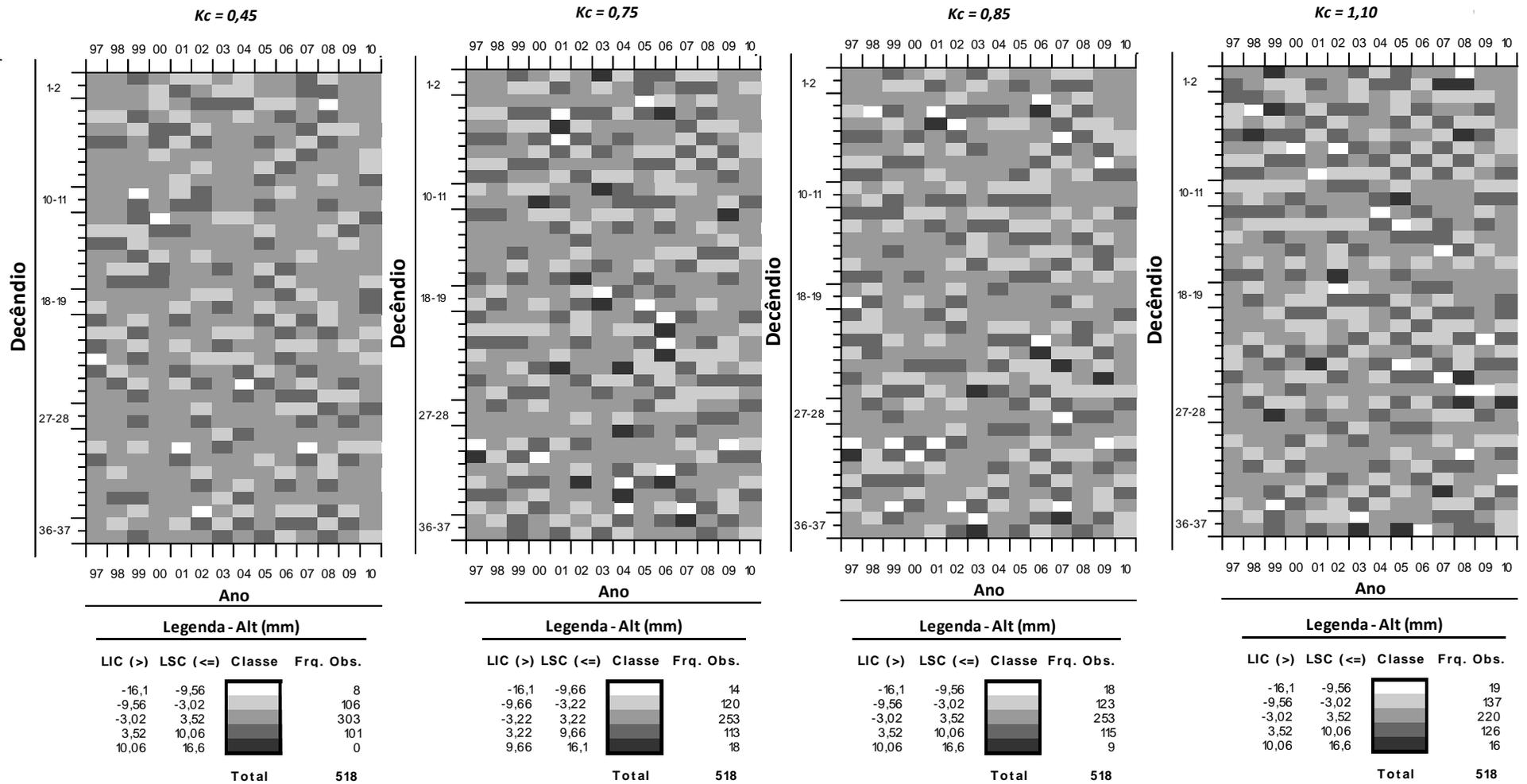
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-6 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



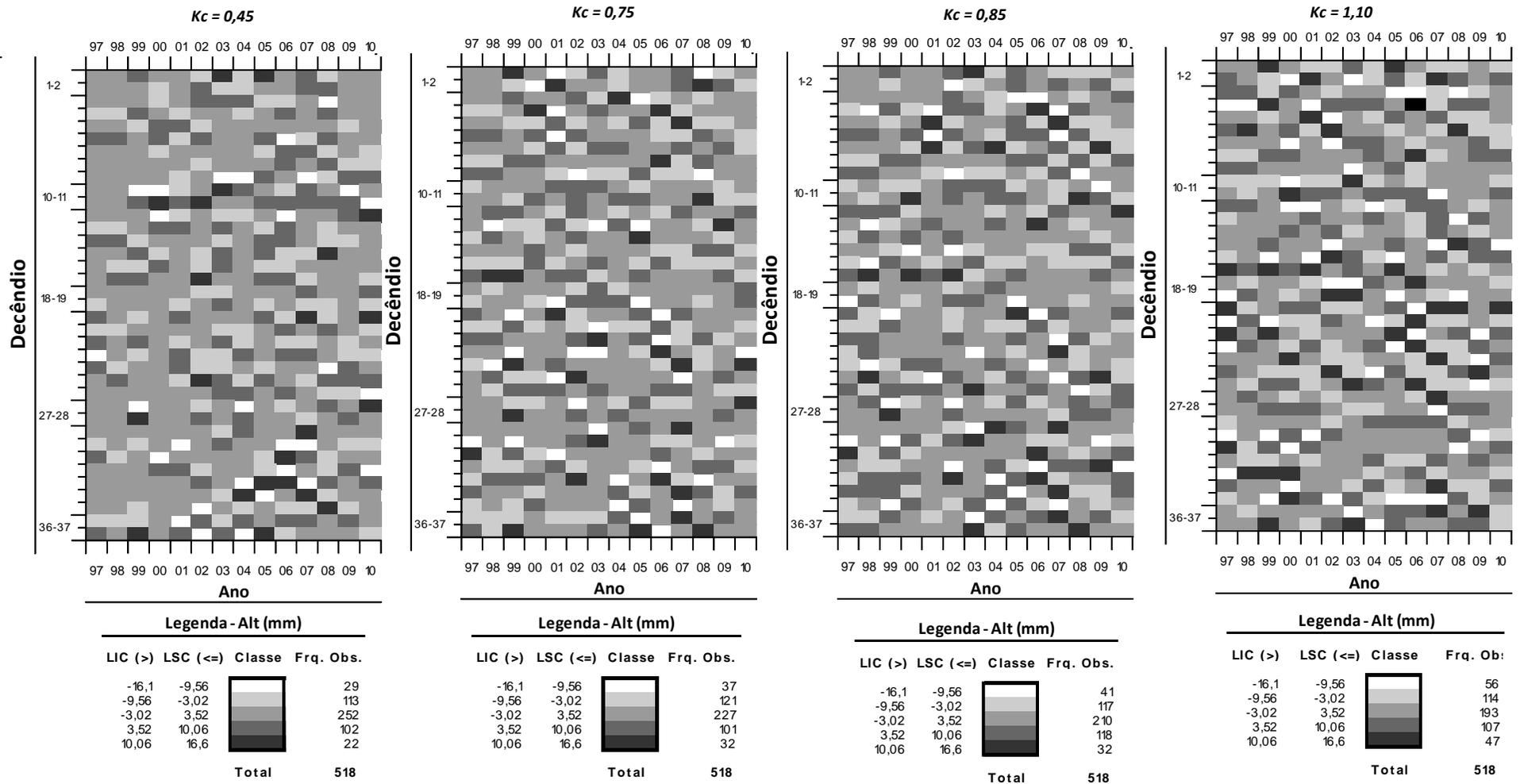
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-7 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Alt (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



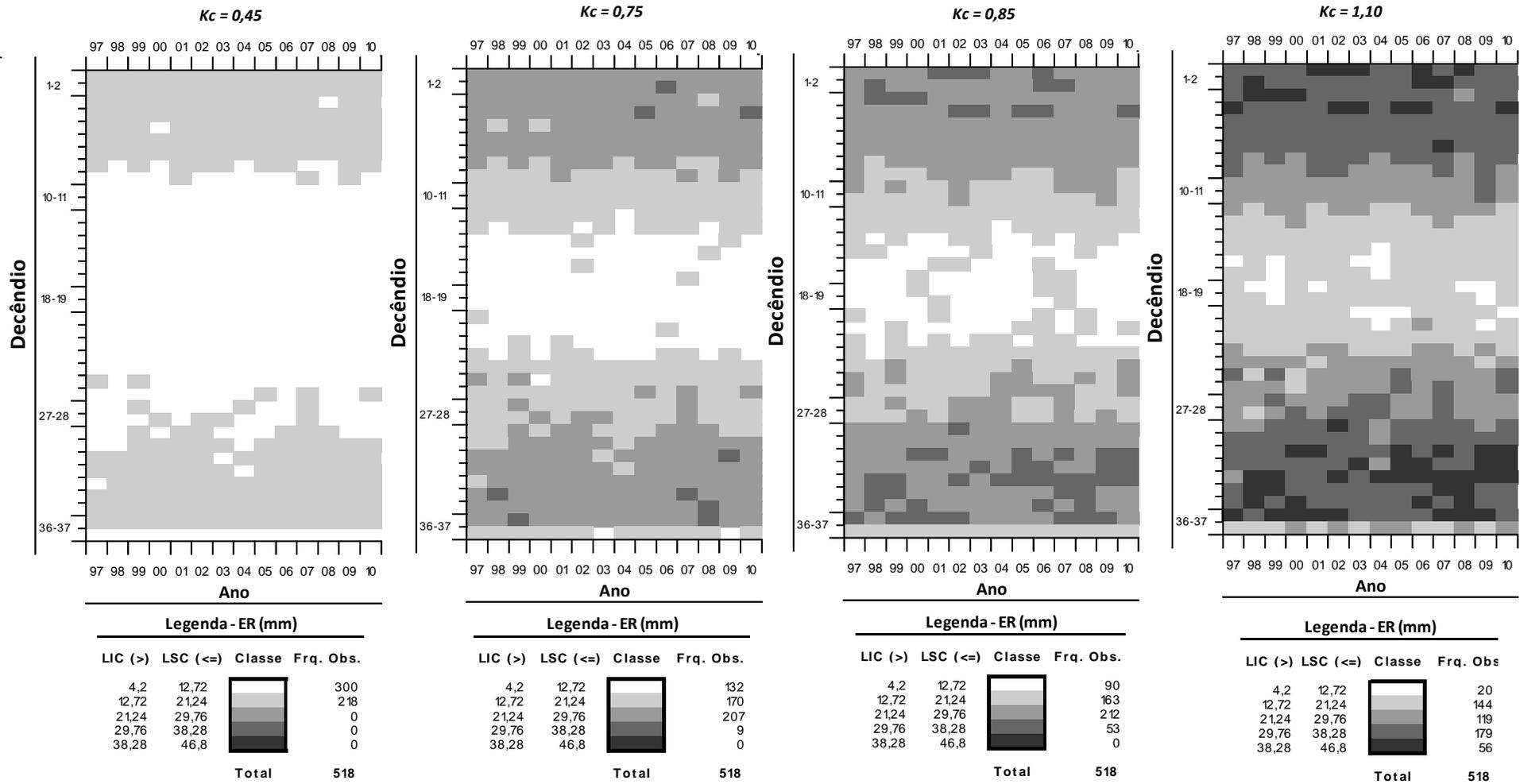
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-8 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Alt (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



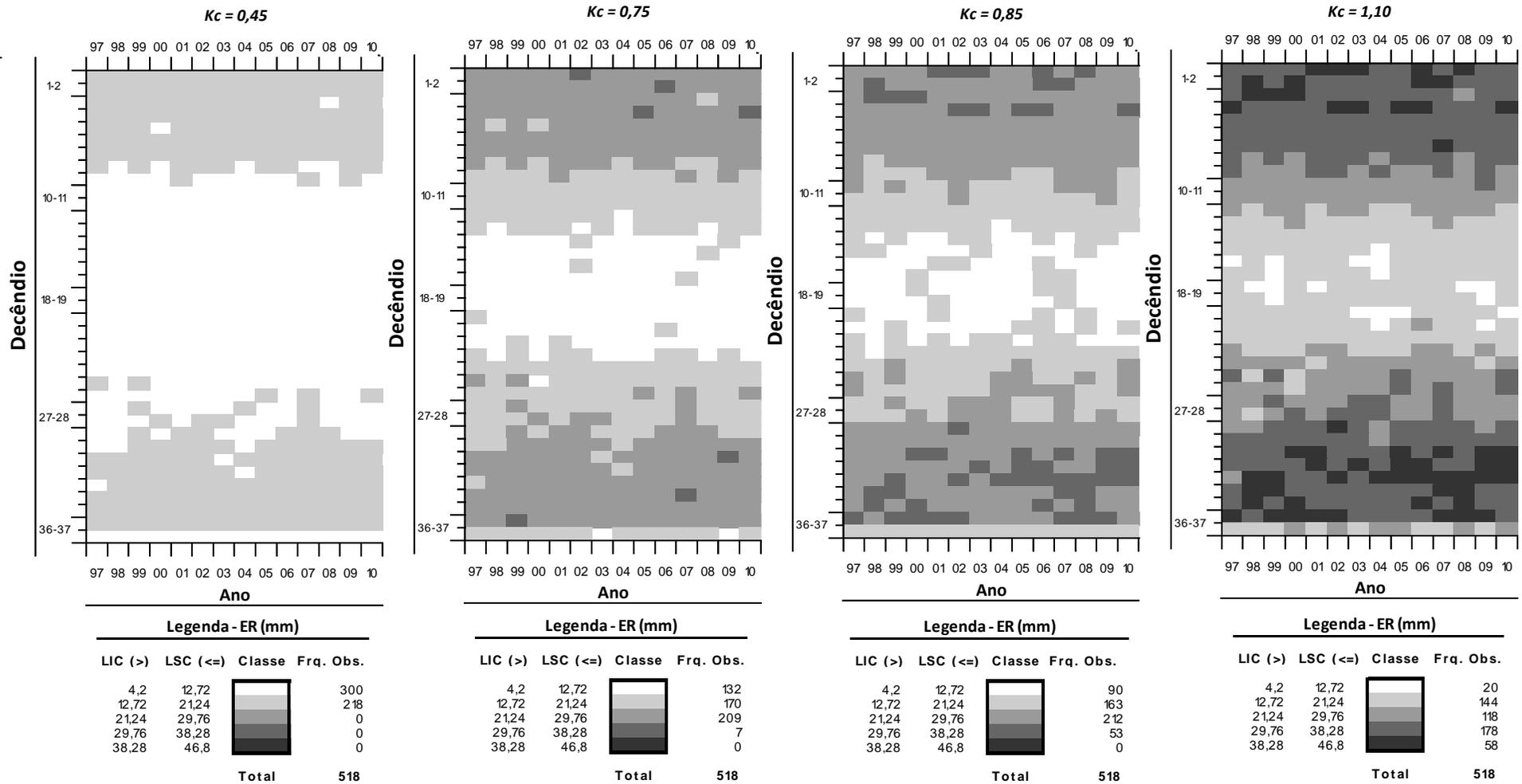
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-9 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Alt (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



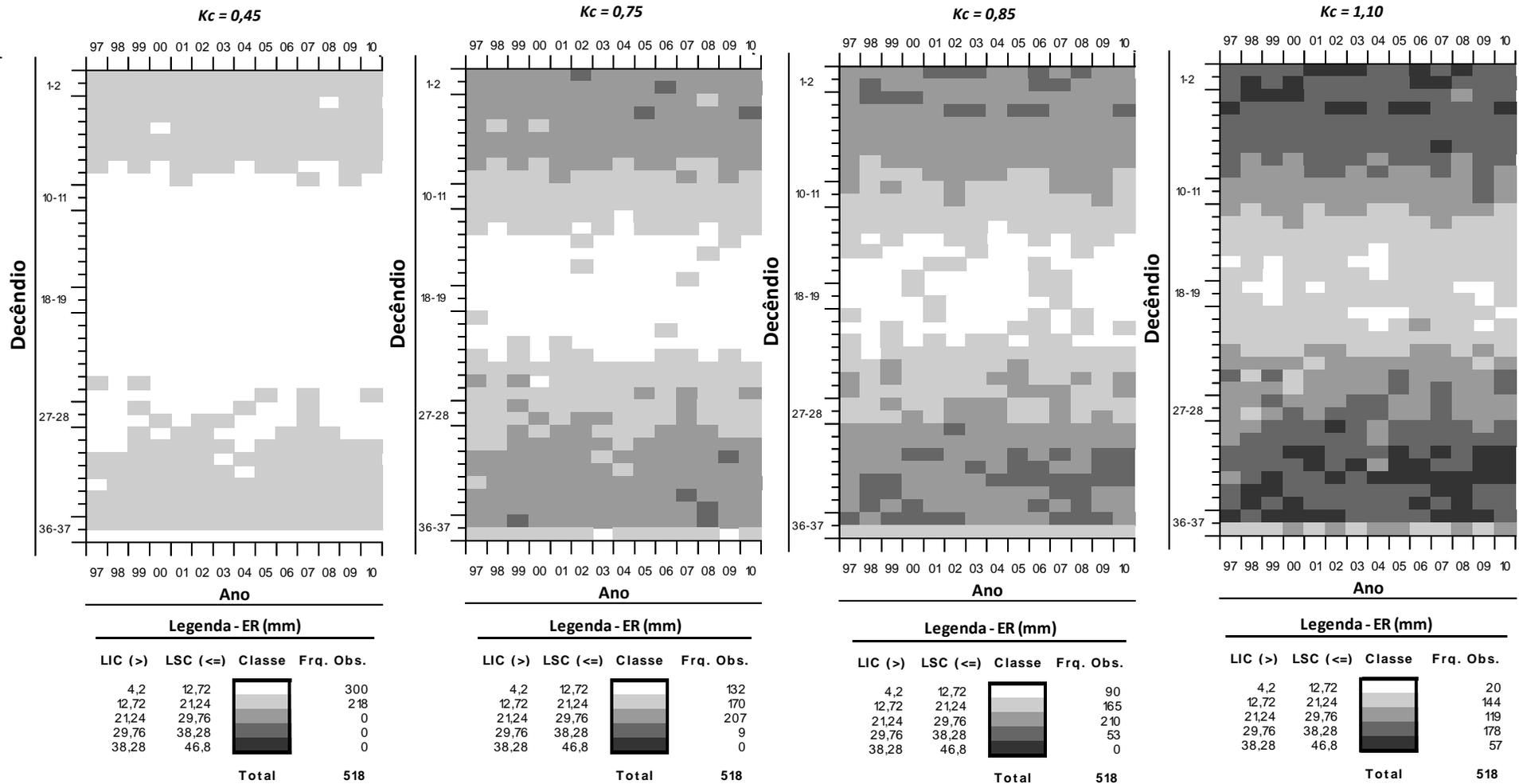
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-10 Distribuição de frequência dos valores decendiais de ER (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



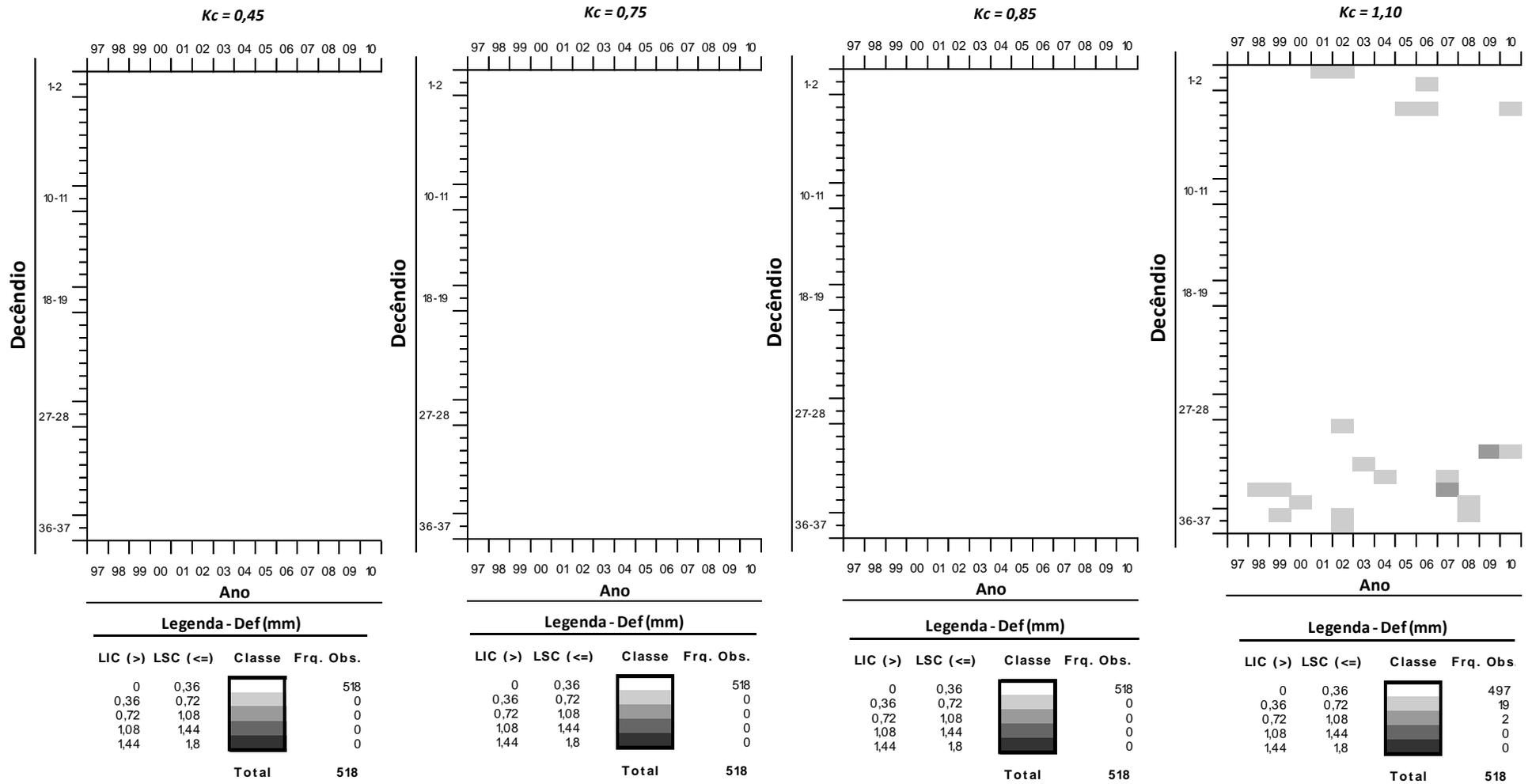
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-11 Distribuição de frequência dos valores deceniais de ER (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



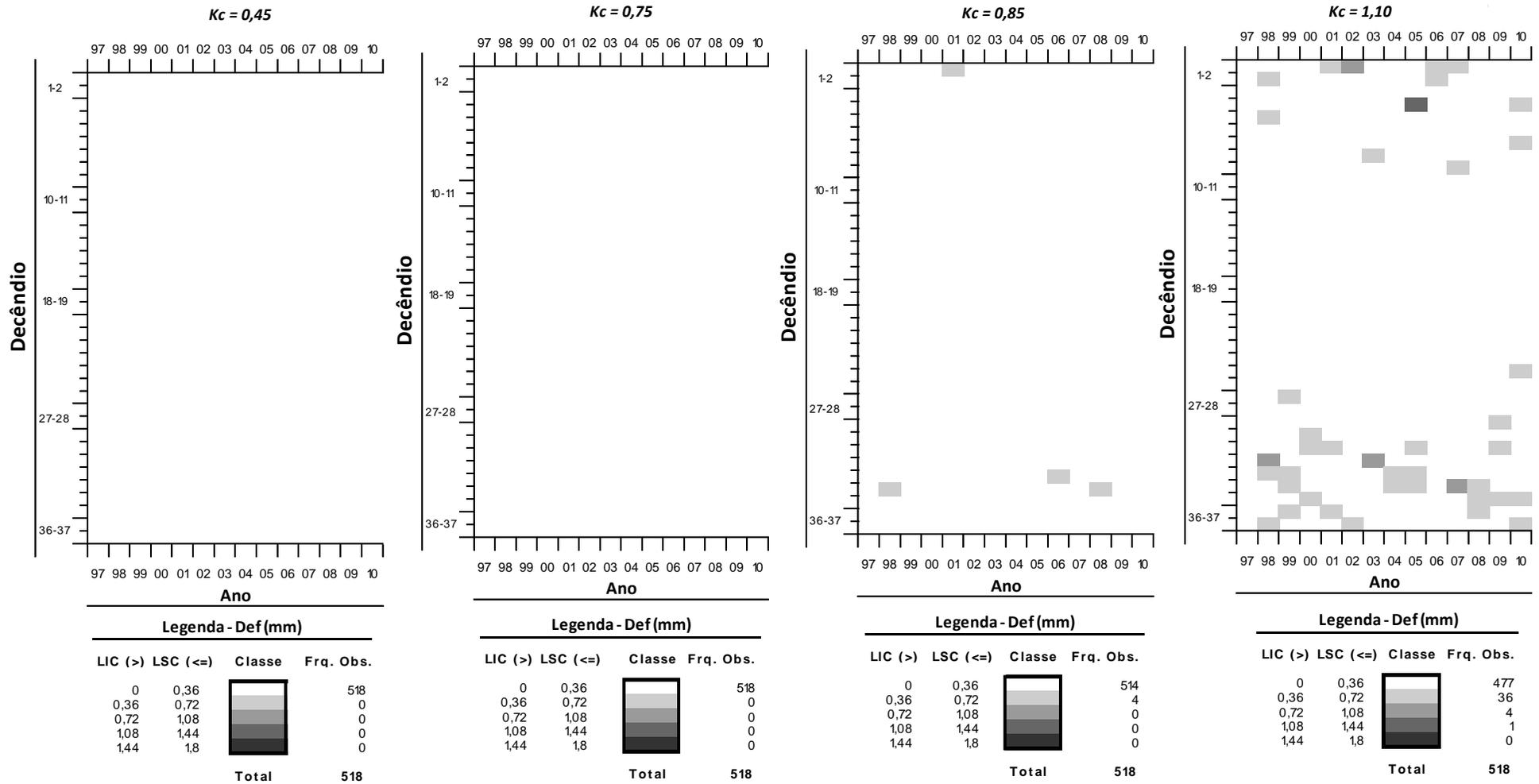
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-12 Distribuição de frequência dos valores decendiais de ER (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



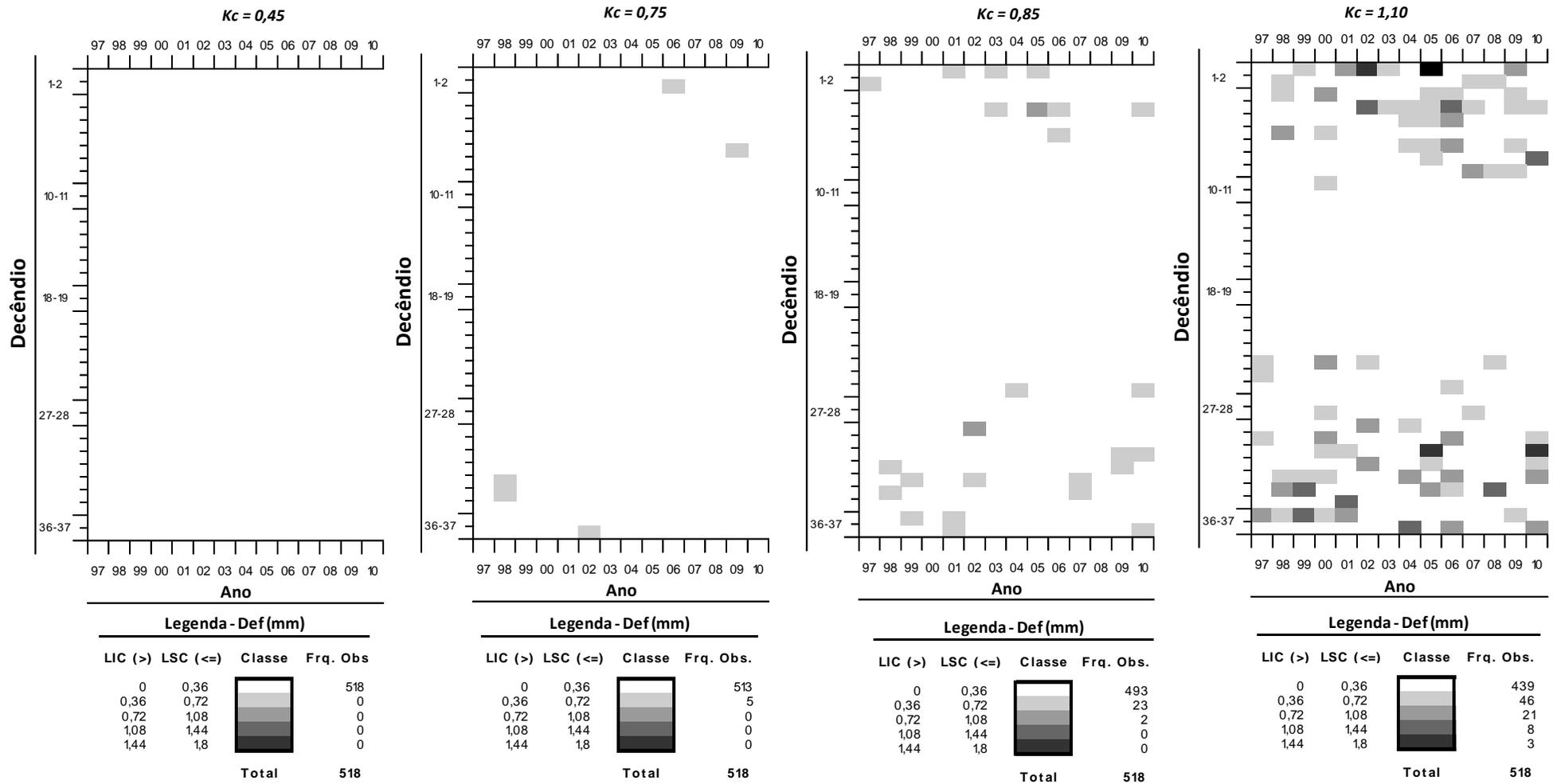
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-13 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Def ($mm\ decênio^{-1}$), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



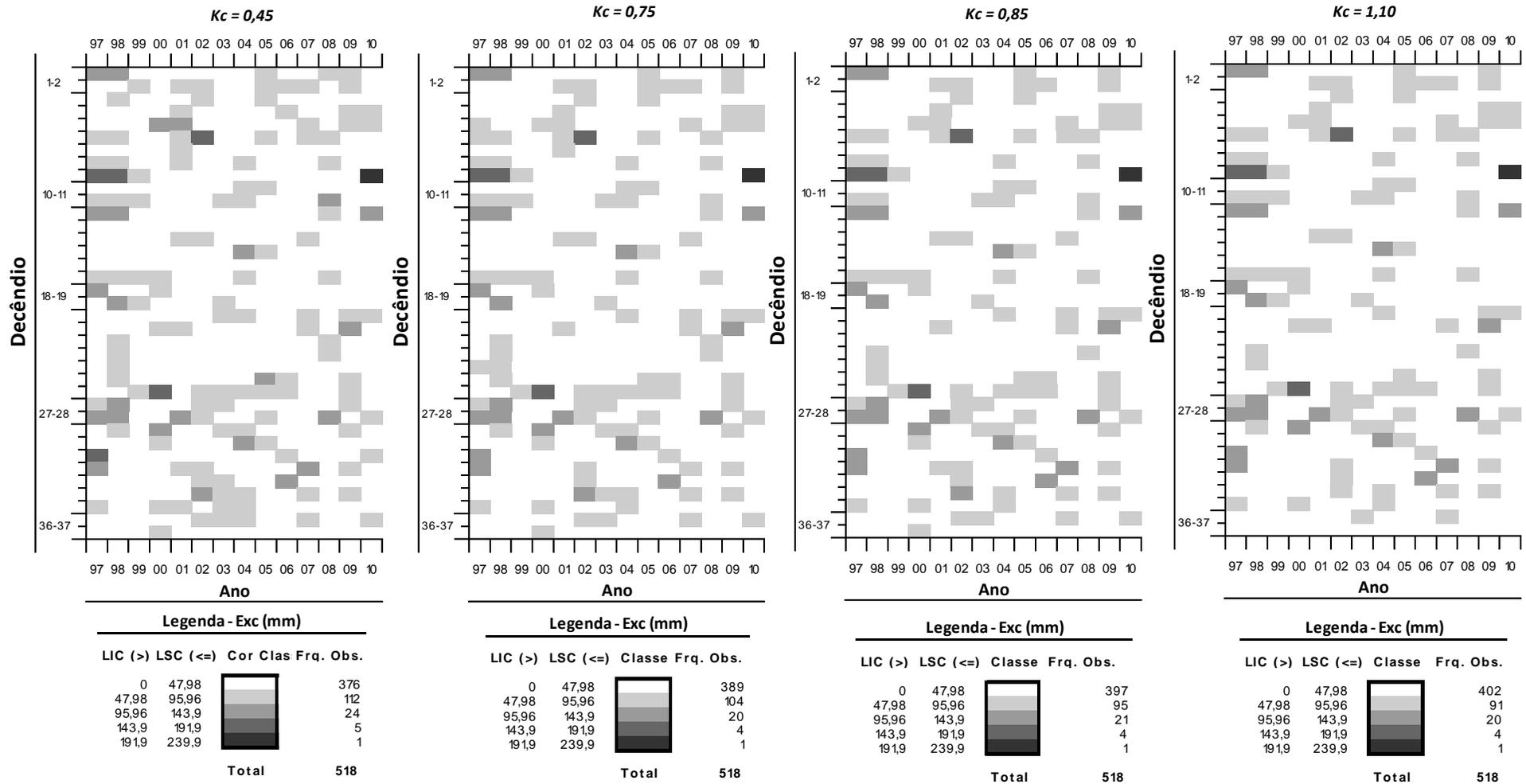
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A4-14 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



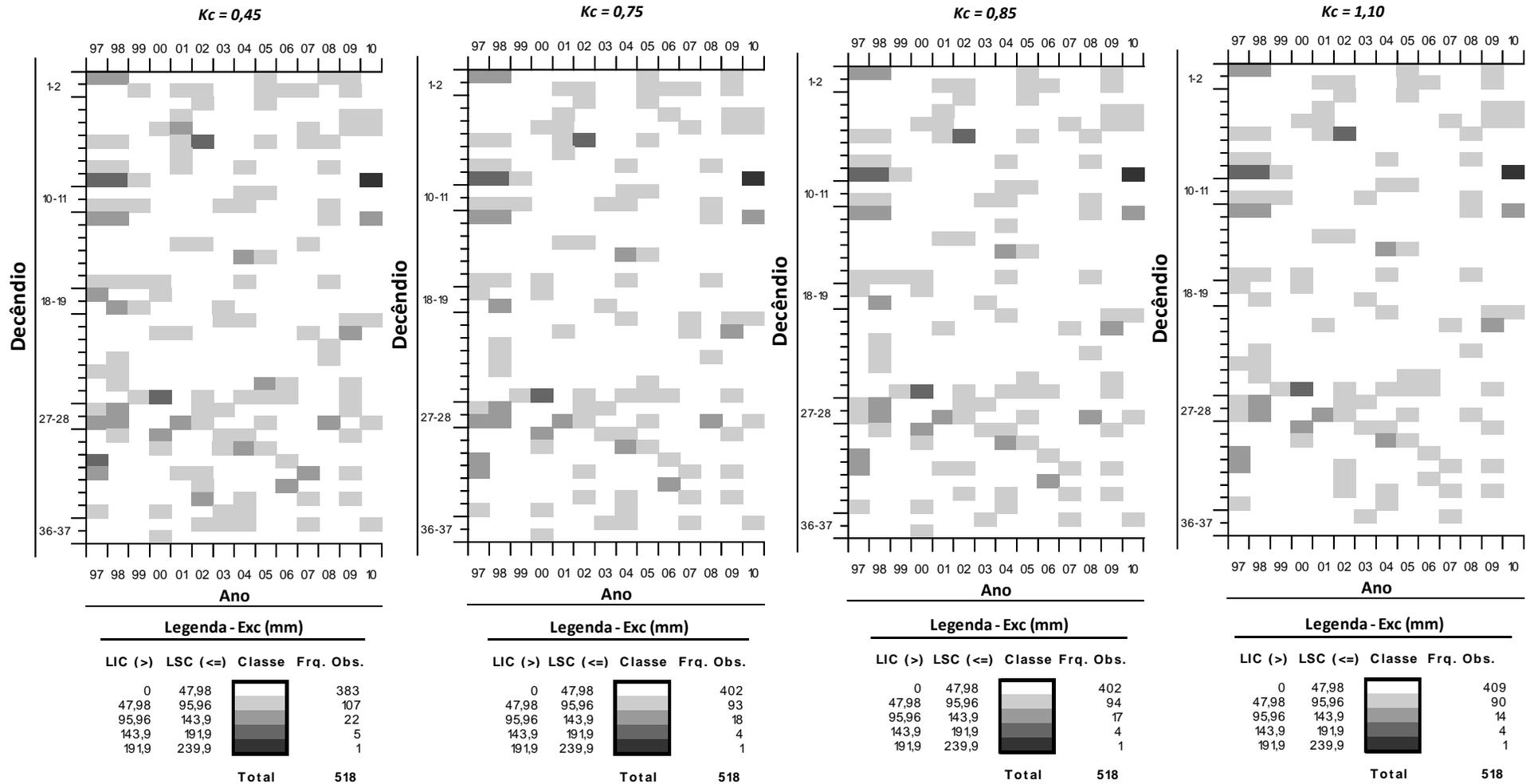
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-15 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



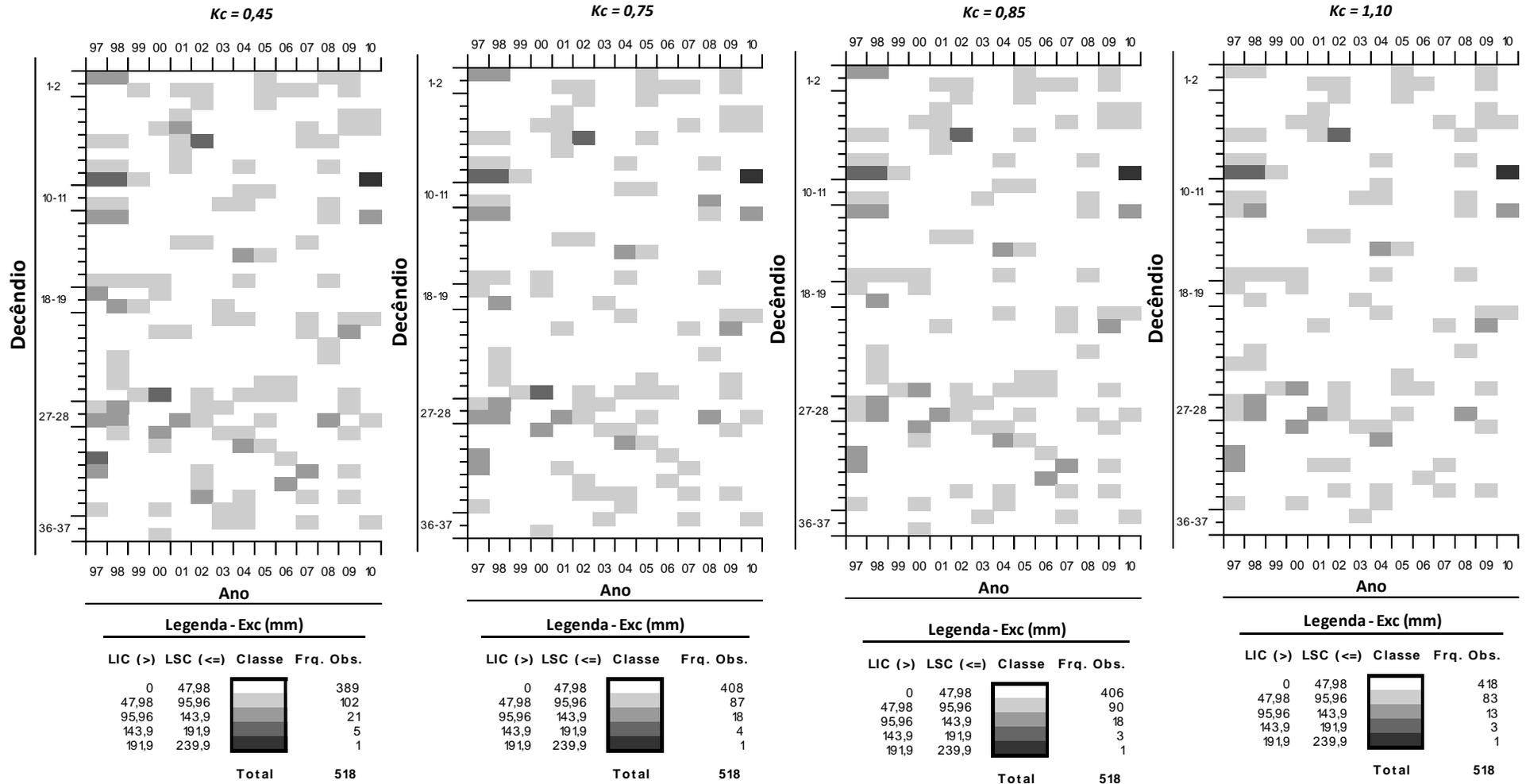
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A5-16 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Exc ($mm\ decênio^{-1}$), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

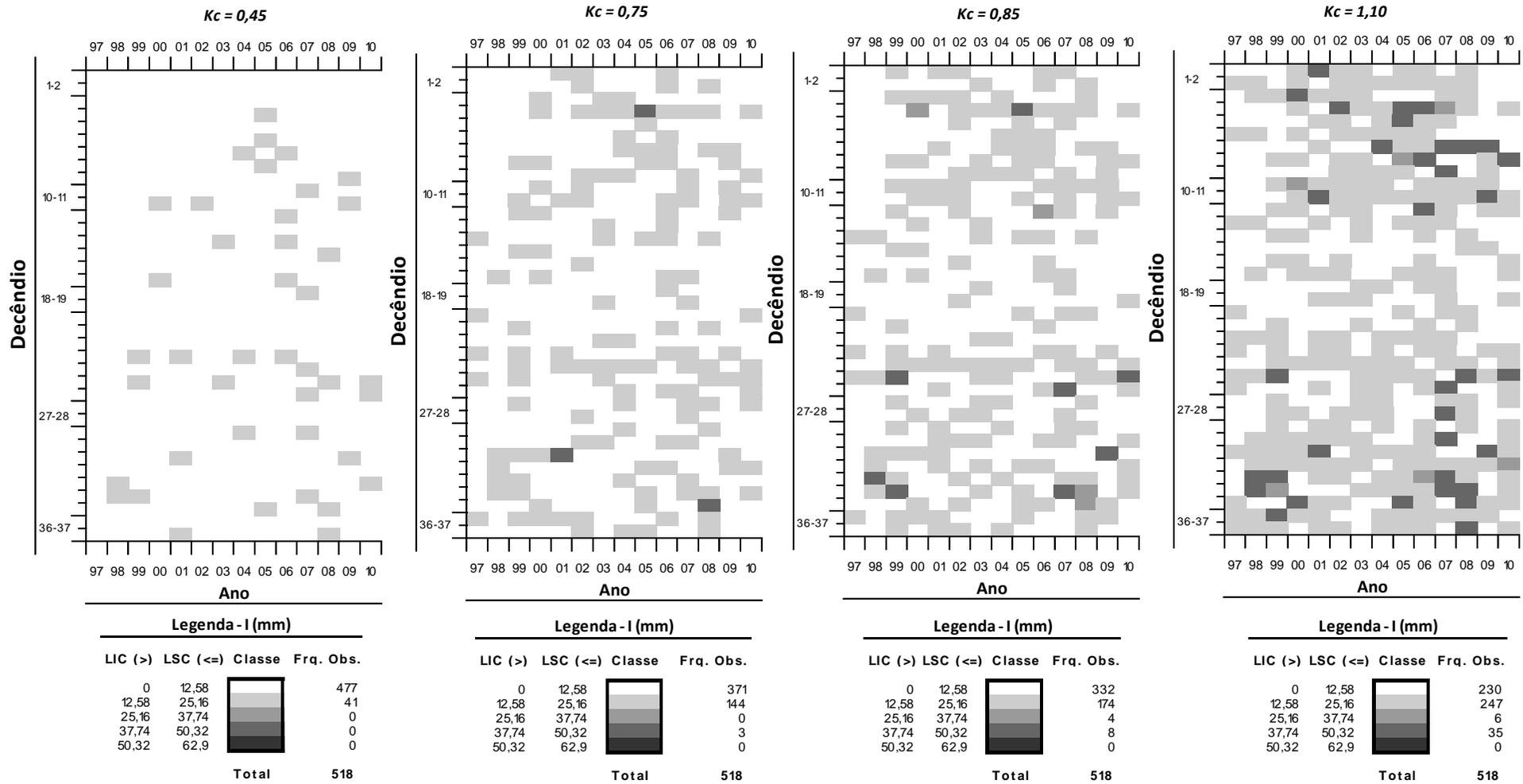
Figura A5-17 Distribuição de frequência dos valores decenais de Exc (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

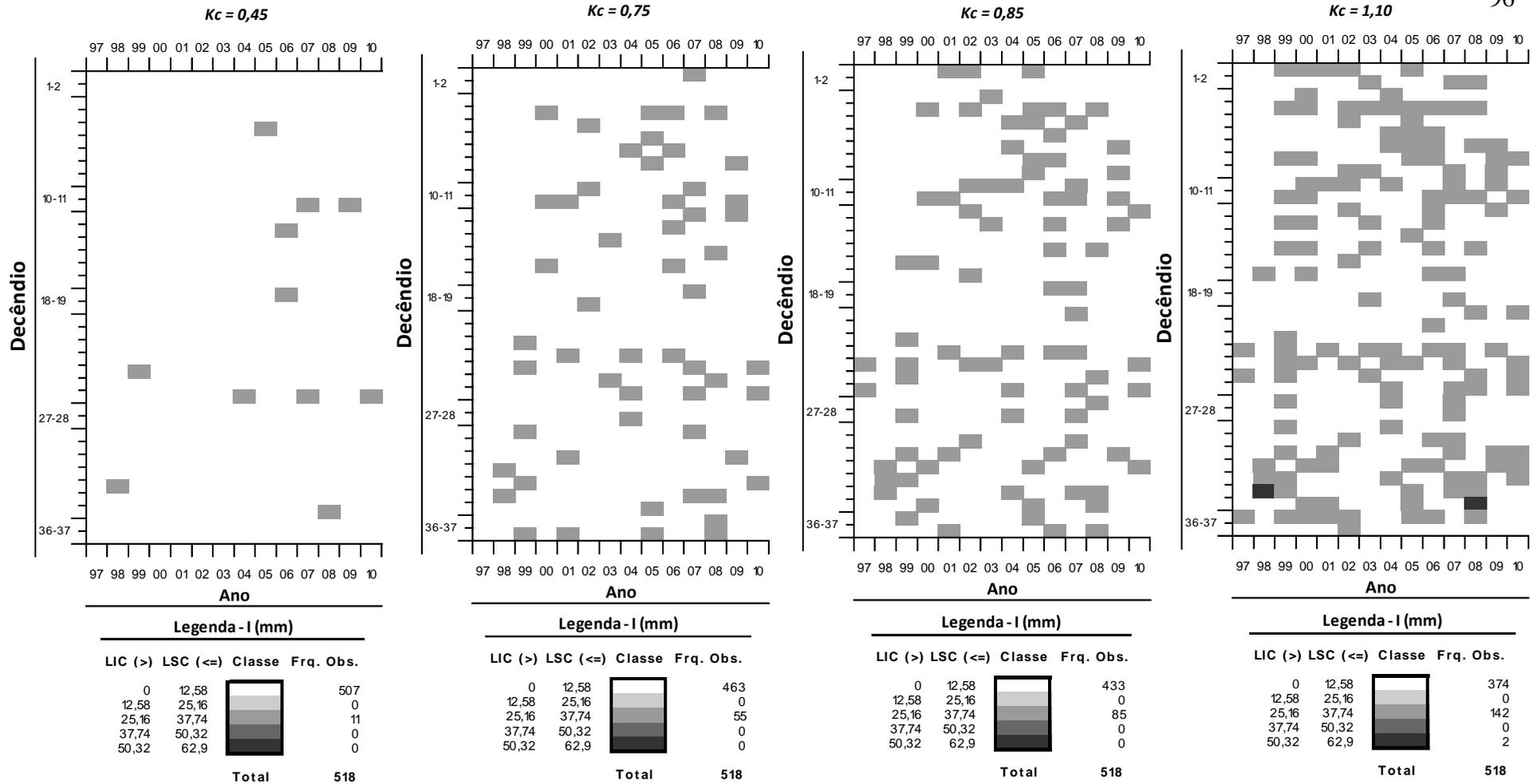
Figura A5-18 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Exc (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.

APÊNDICE 06 – Distribuição de frequência dos valores decendiais das componentes do balanço hídrico (mm decêncio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 60 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



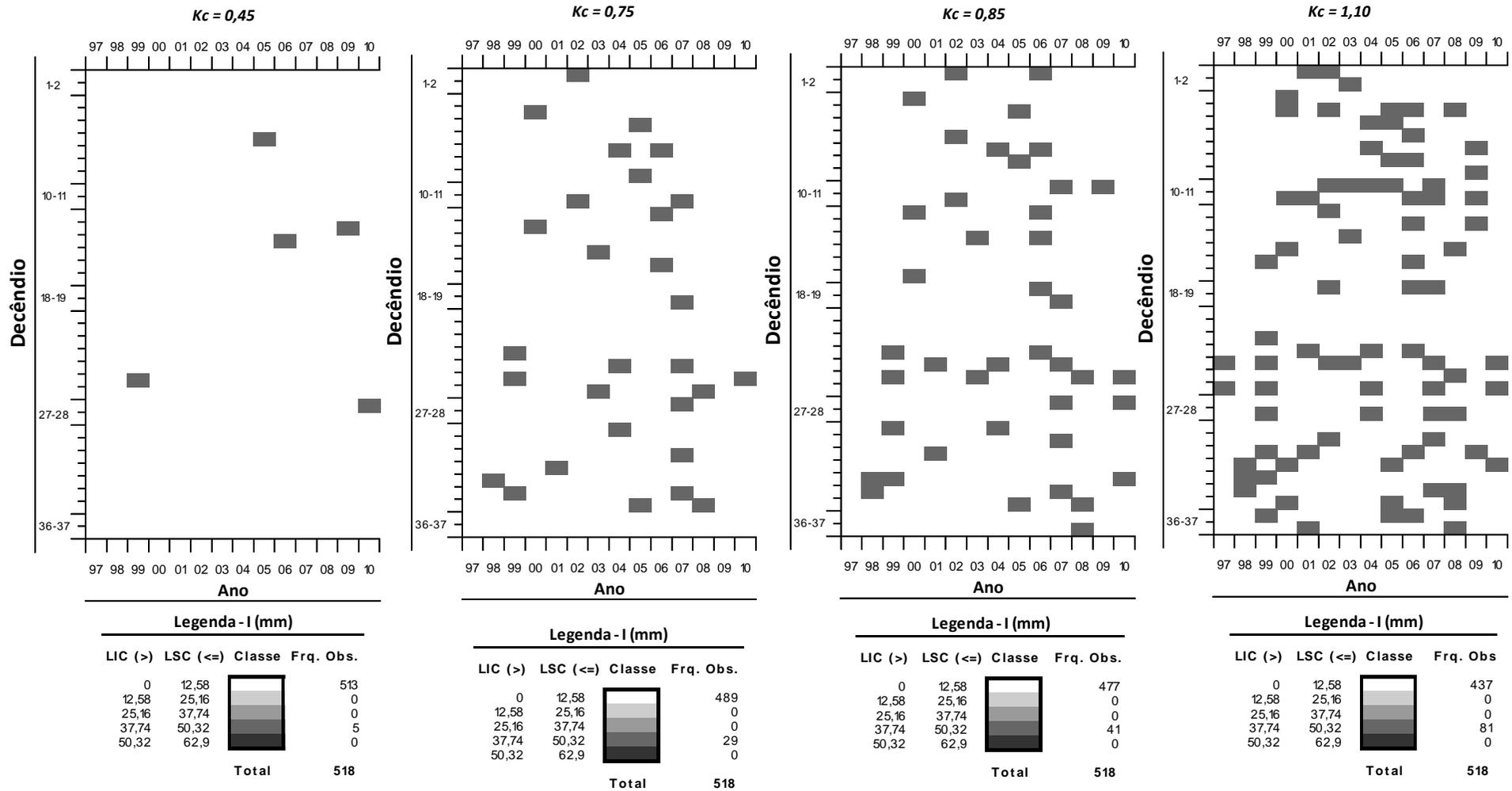
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-1 Distribuição de frequência dos valores decendiais de I (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



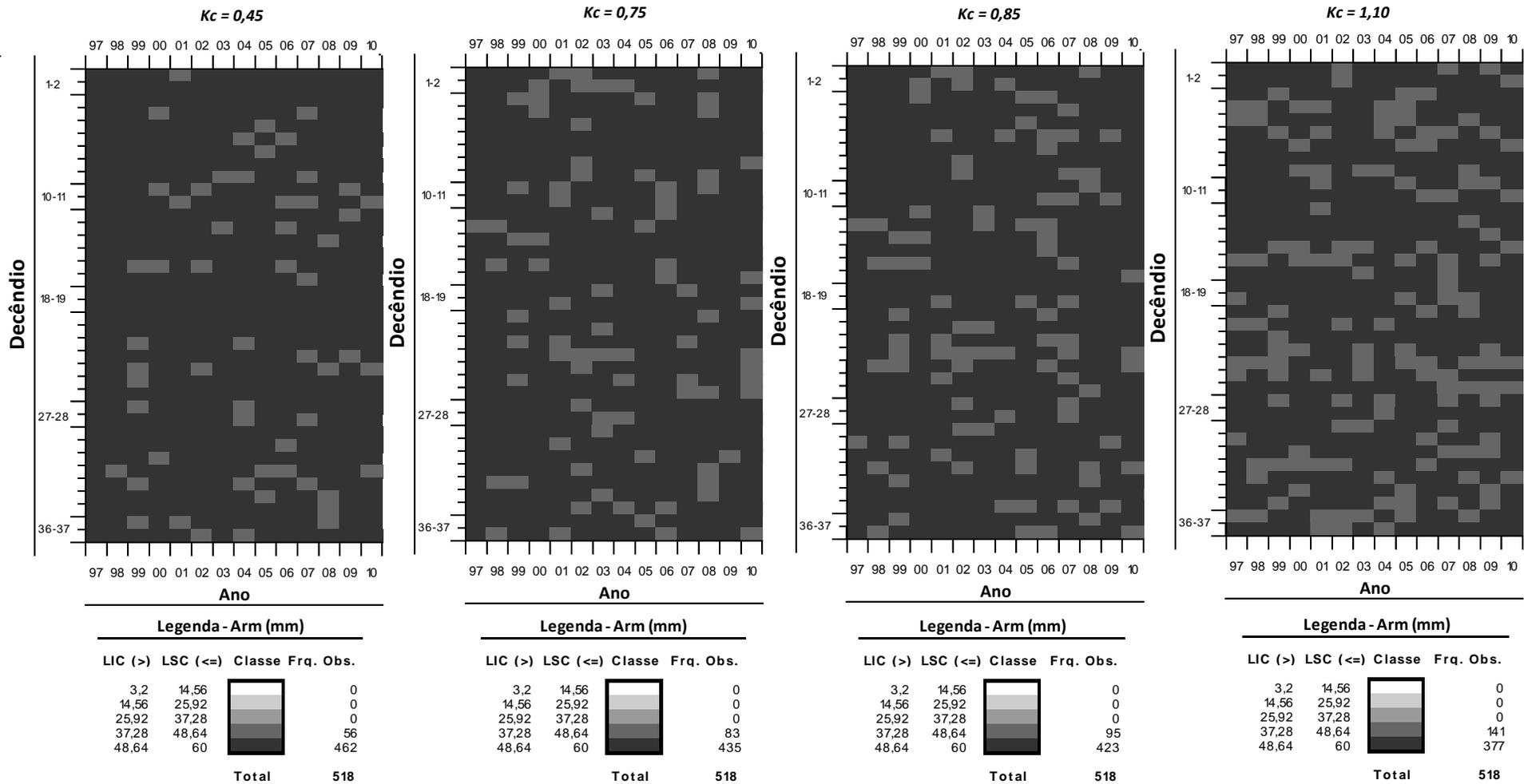
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-2 Distribuição de frequência dos valores decendiais de I (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



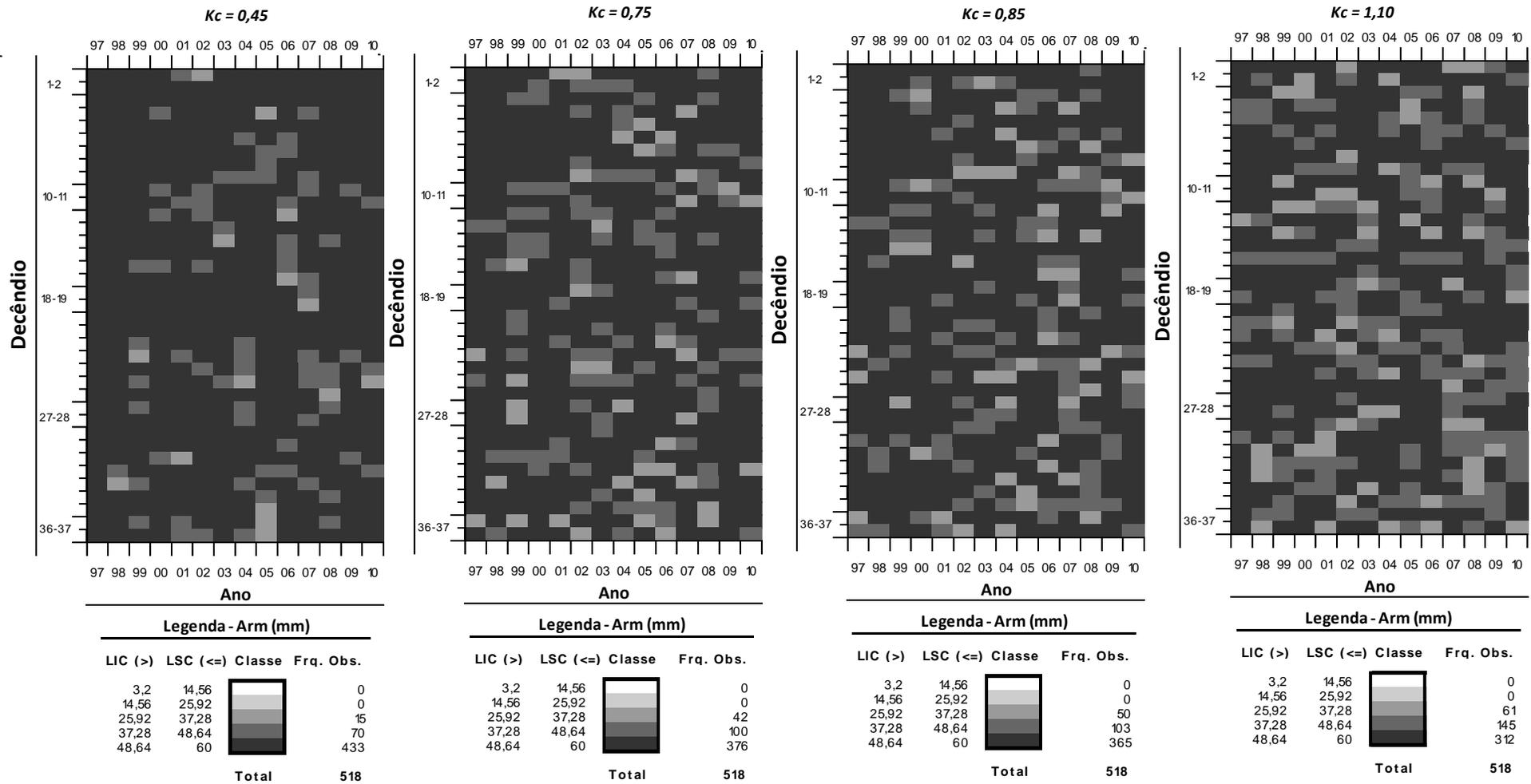
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-3 Distribuição de frequência dos valores decendiais de I (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



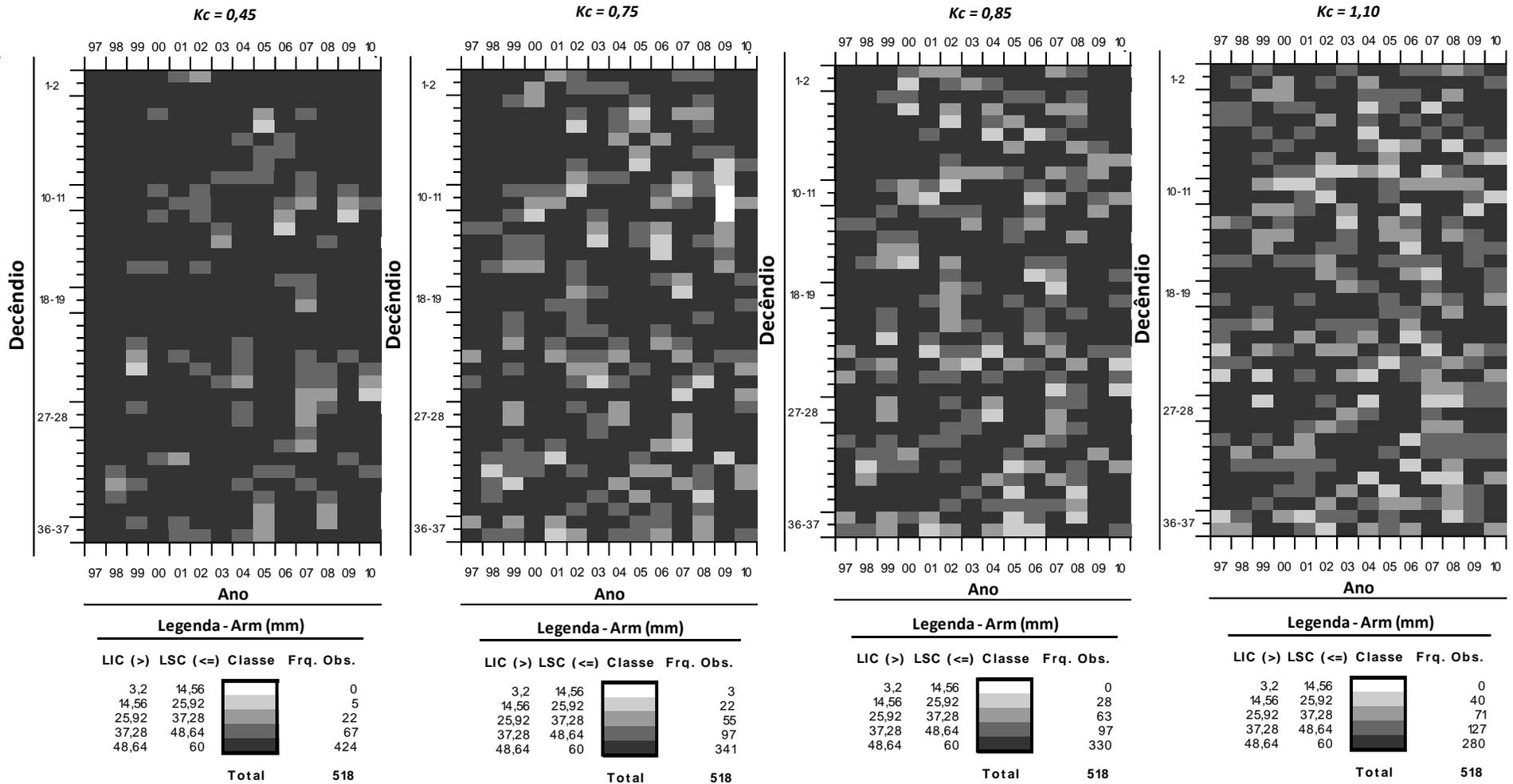
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-4 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



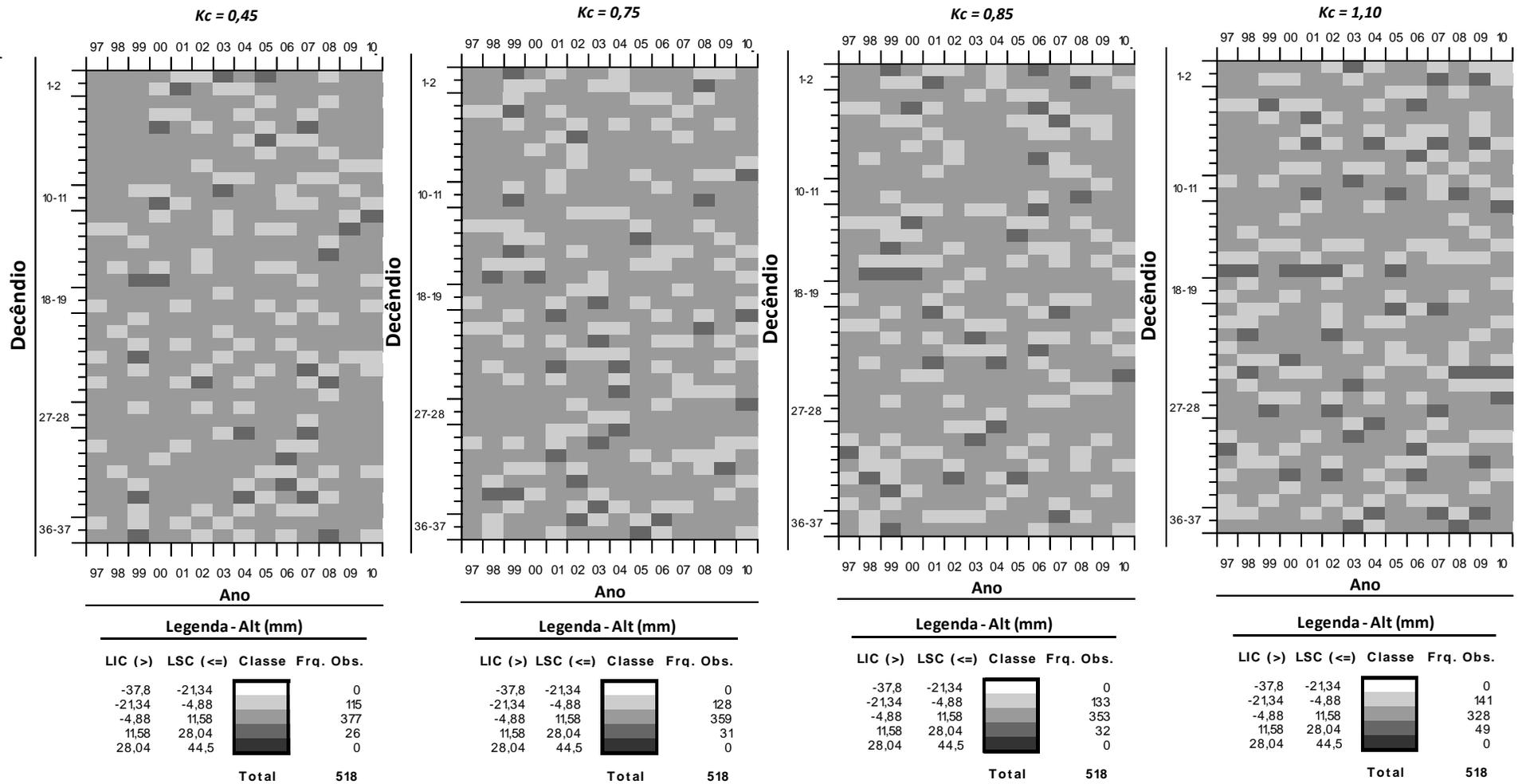
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-5 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



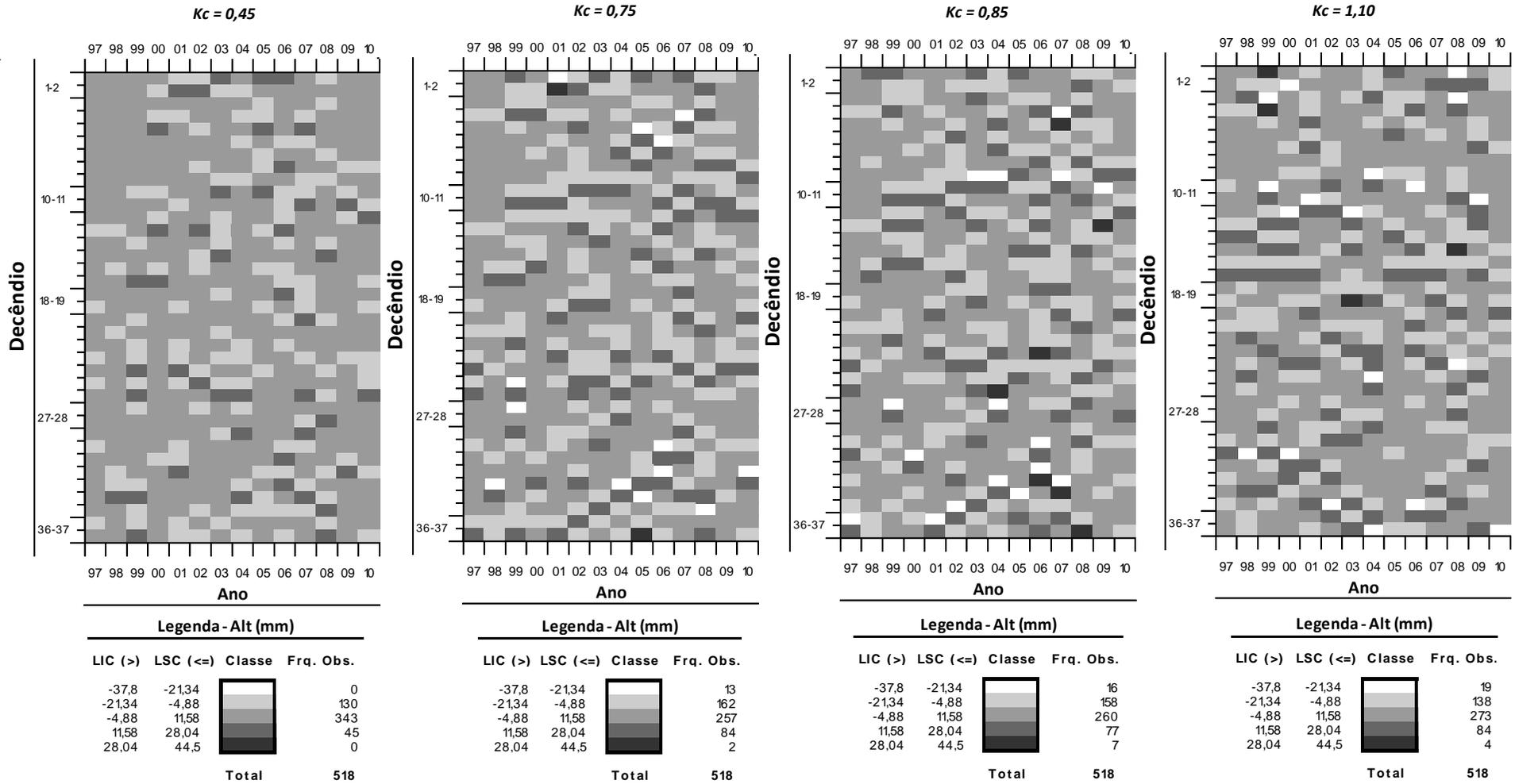
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-6 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Arm (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



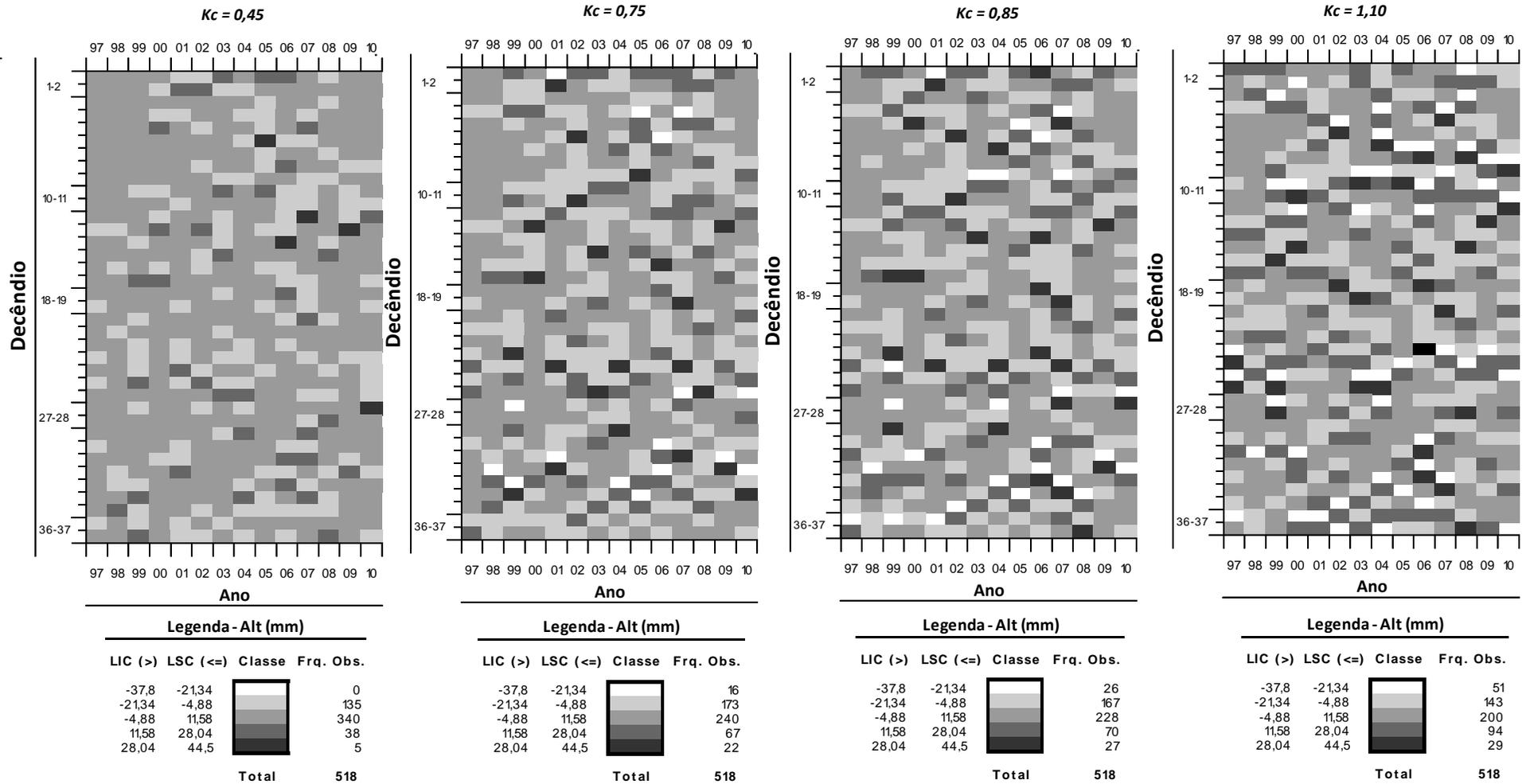
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-7 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Alt (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



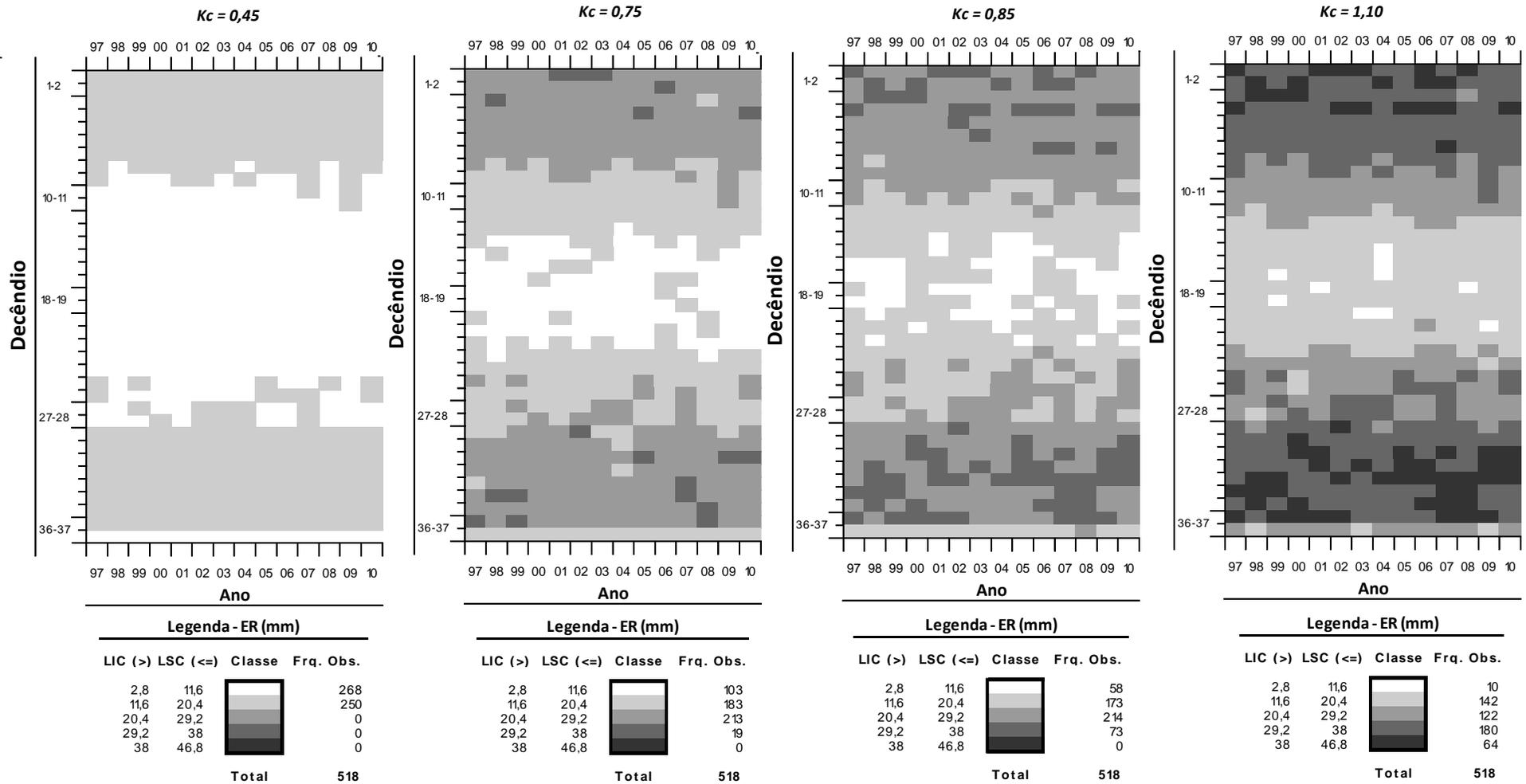
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-8 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Alt (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



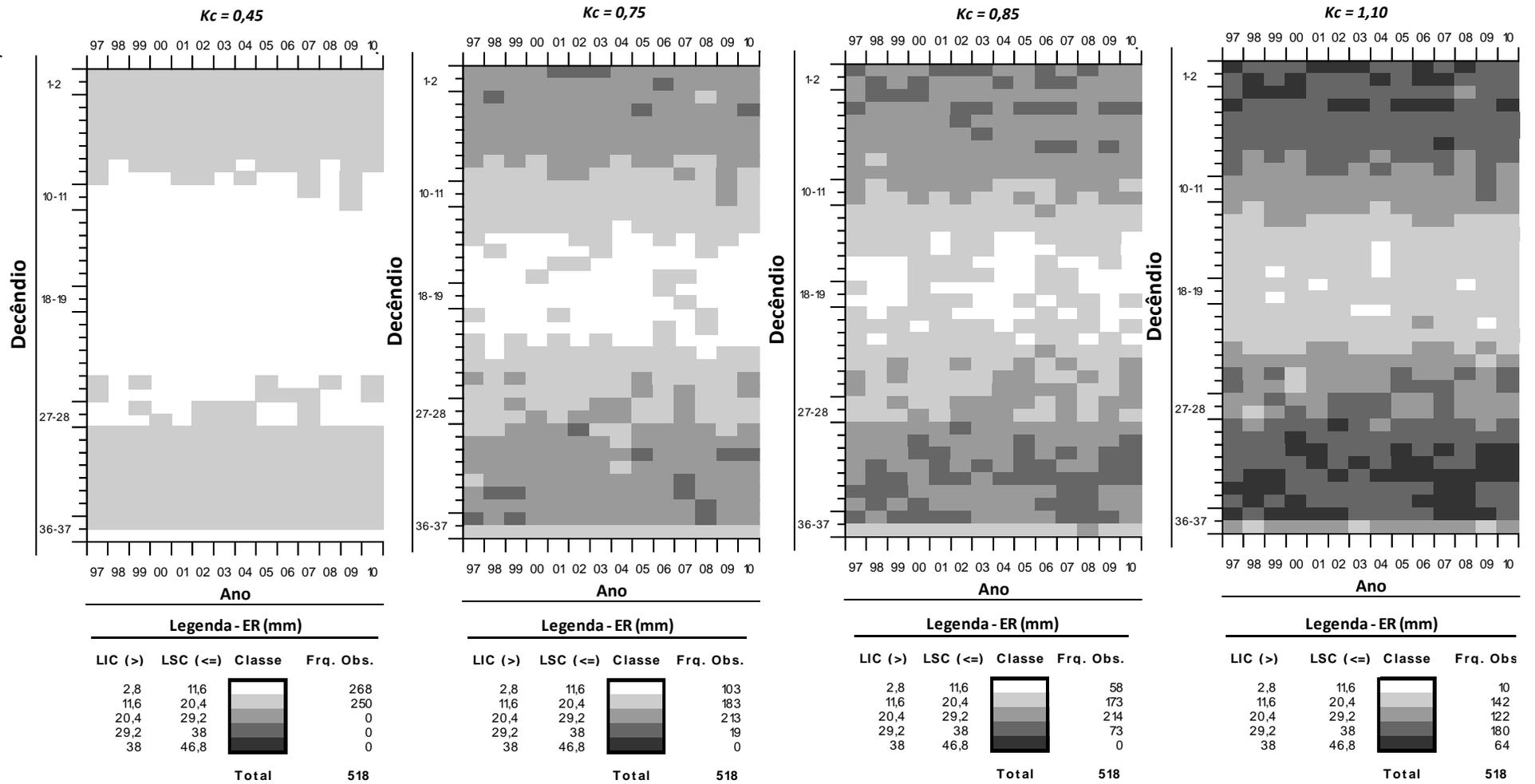
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-9 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Alt (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



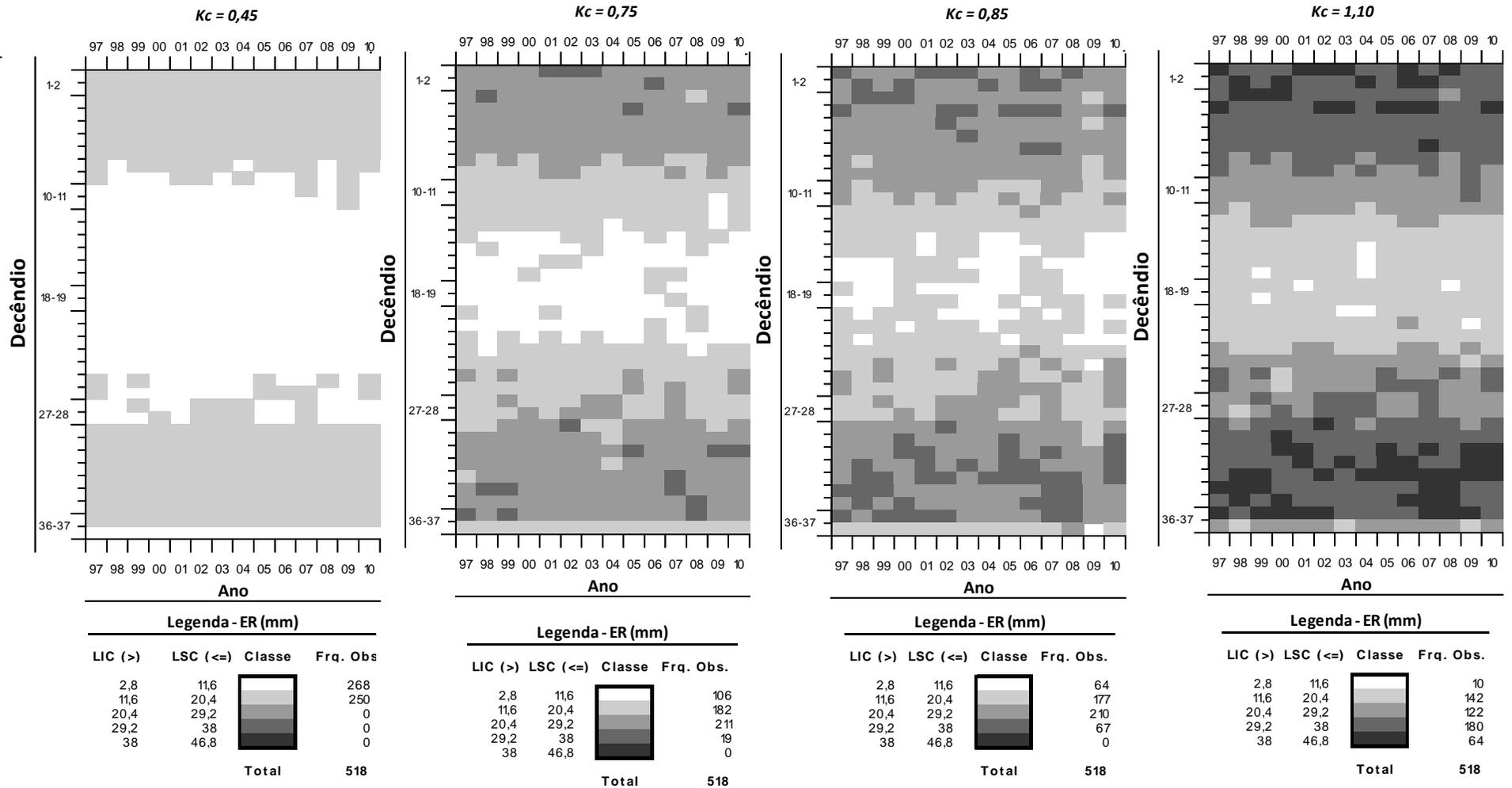
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-10 Distribuição de frequência dos valores decendiais de ER (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



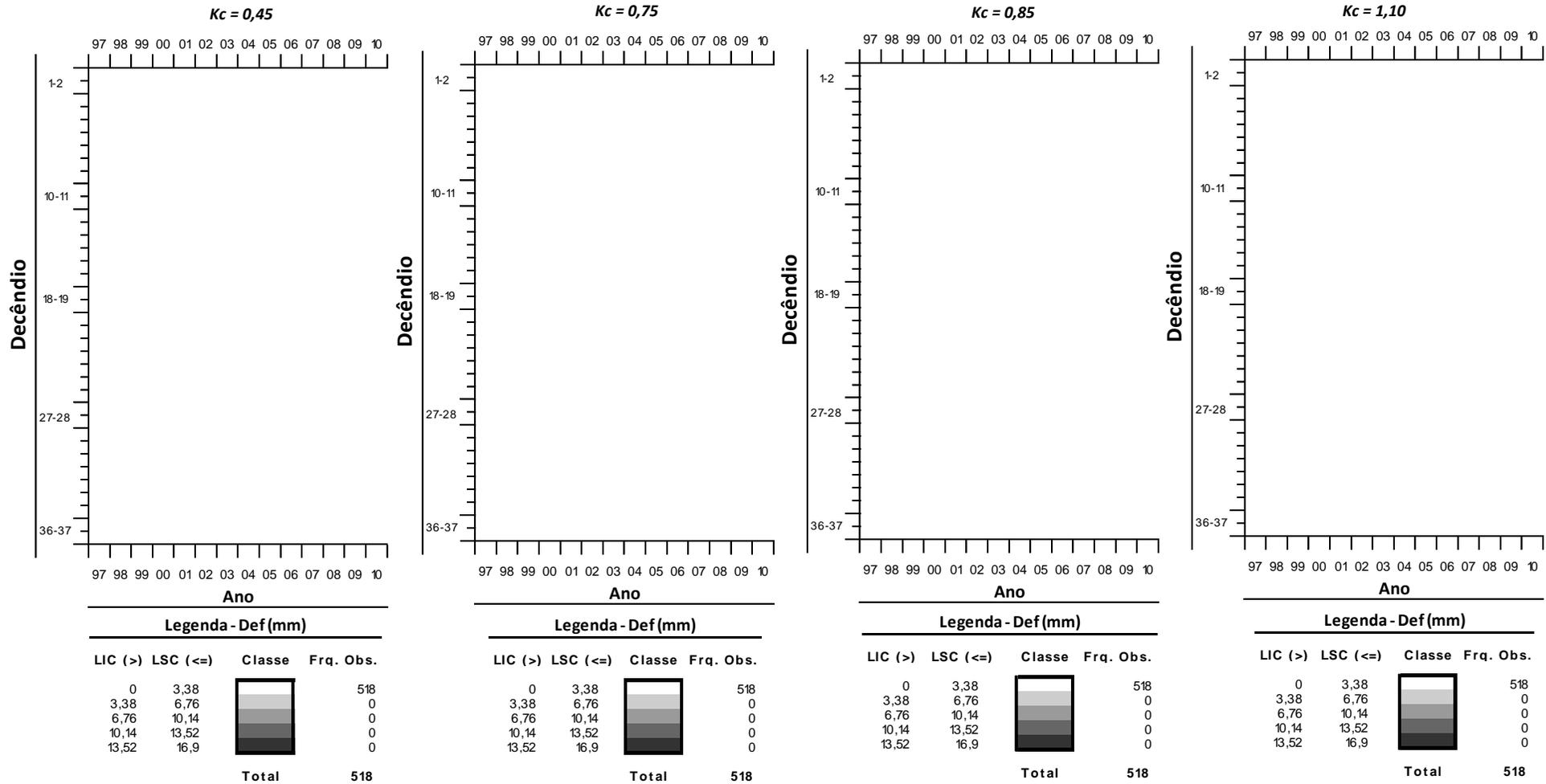
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-11 Distribuição de frequência dos valores decendiais de ER (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



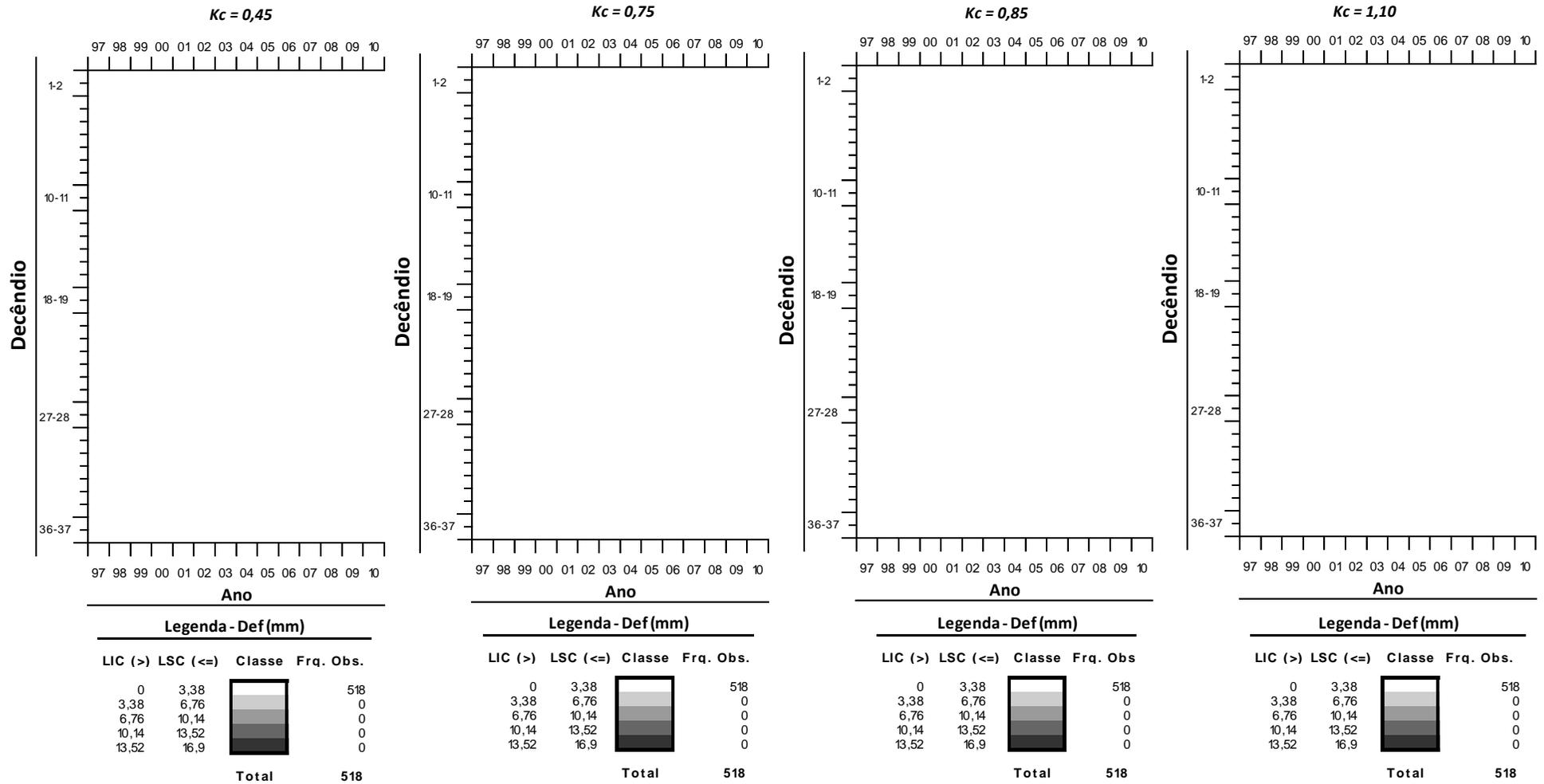
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-12 Distribuição de frequência dos valores decenciais de ER (mm decênio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



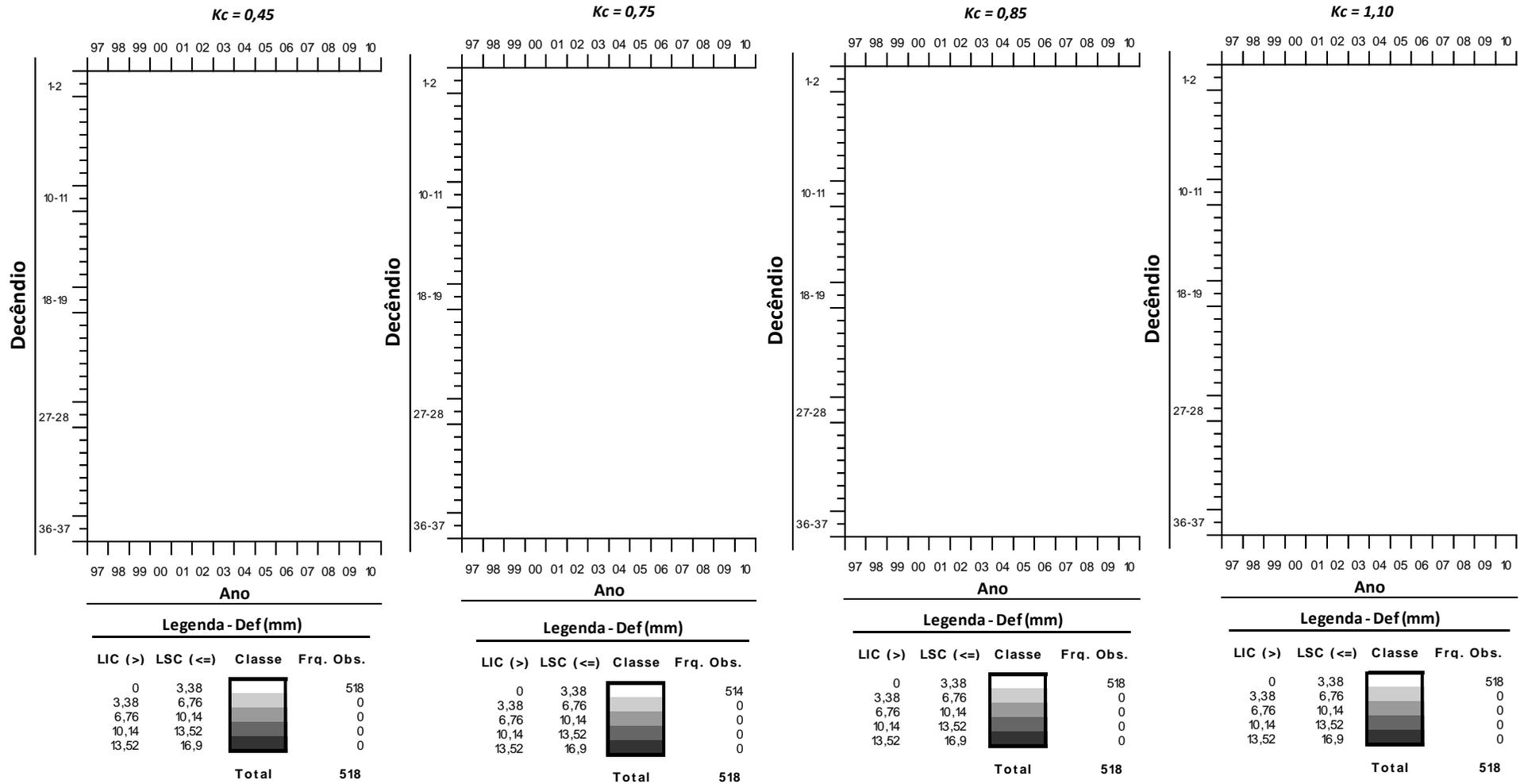
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-13 Distribuição de frequência dos valores deceniais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



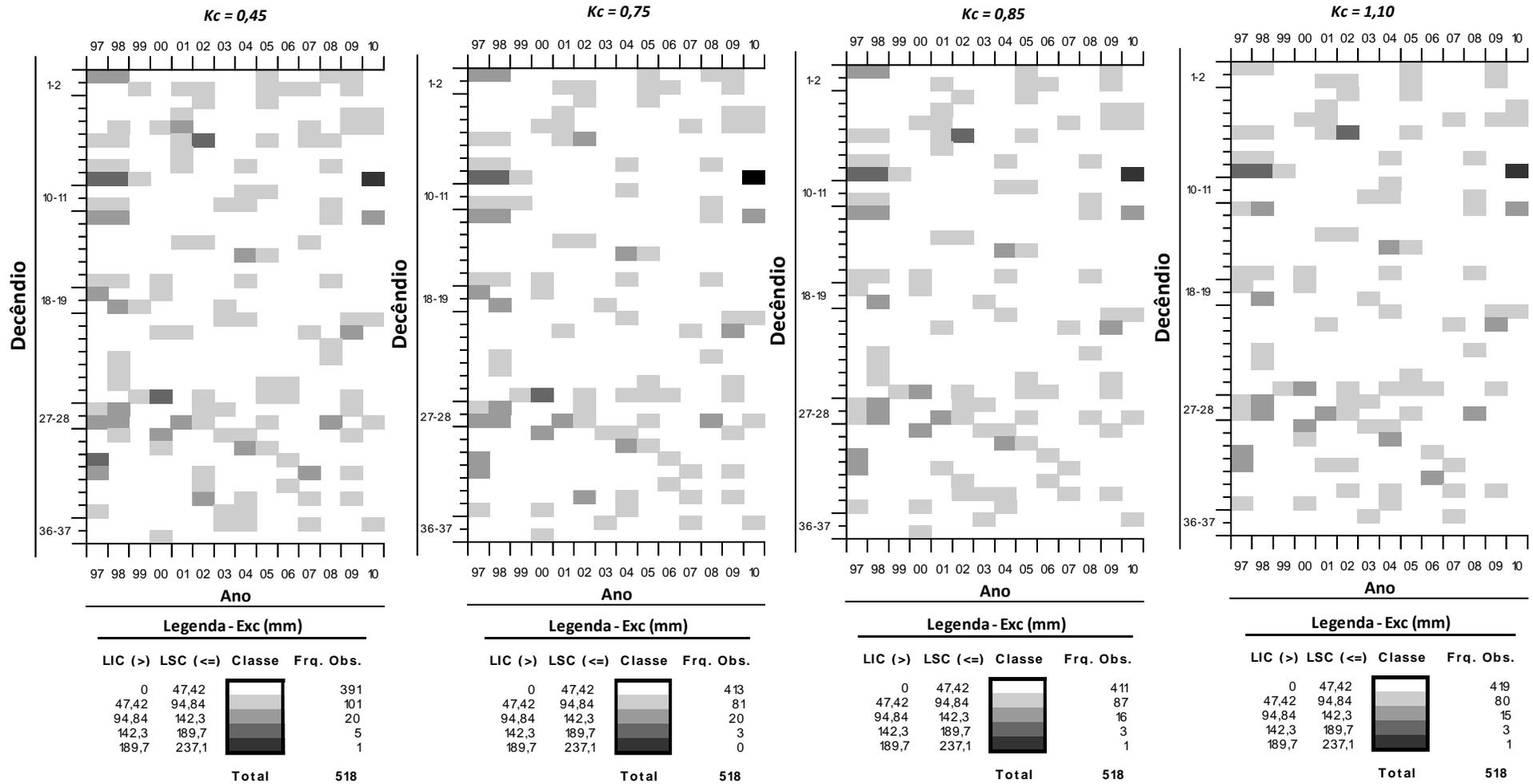
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-14 Distribuição de frequência dos valores decenciais de *Def* (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração *p* 0,5; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



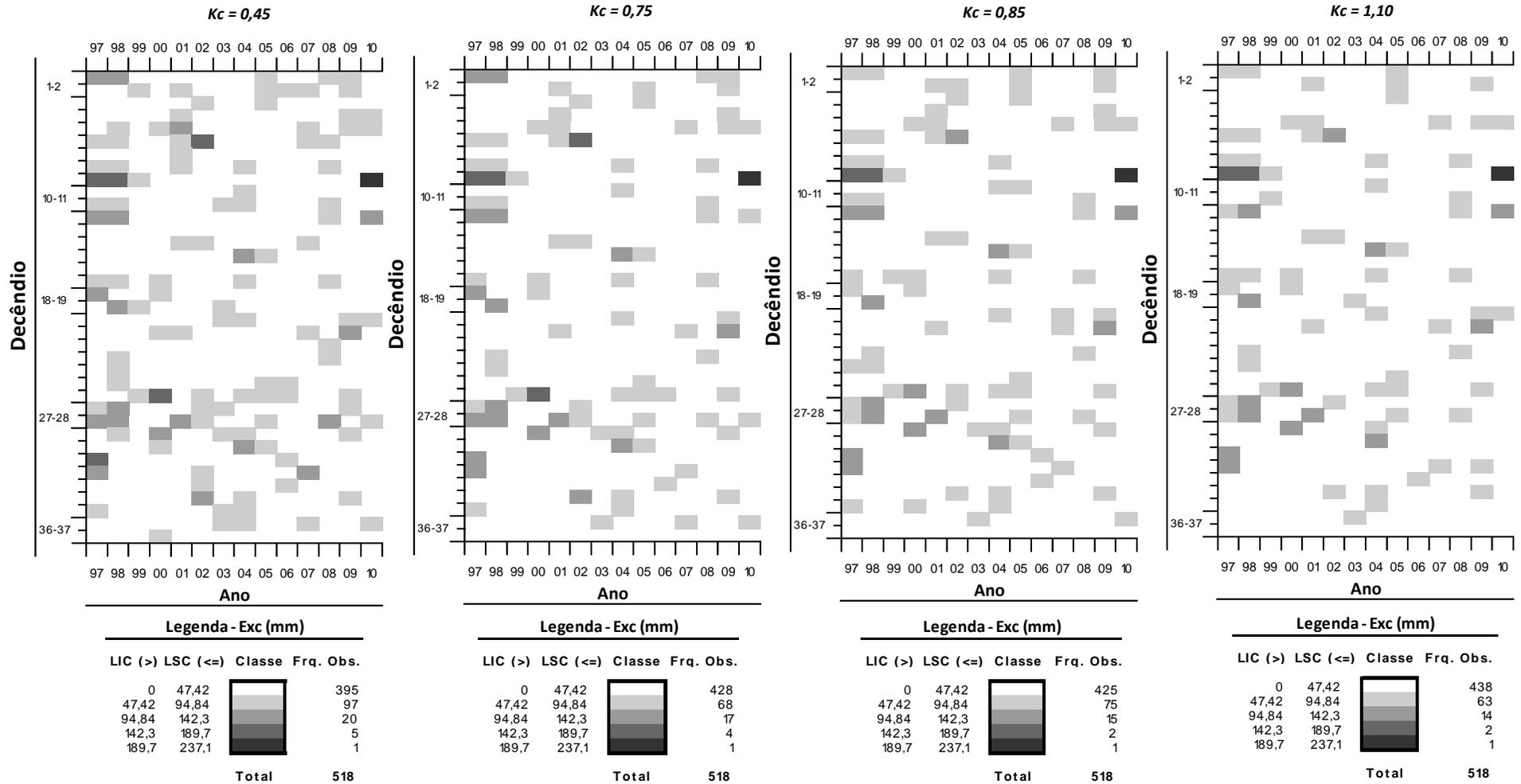
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-15 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



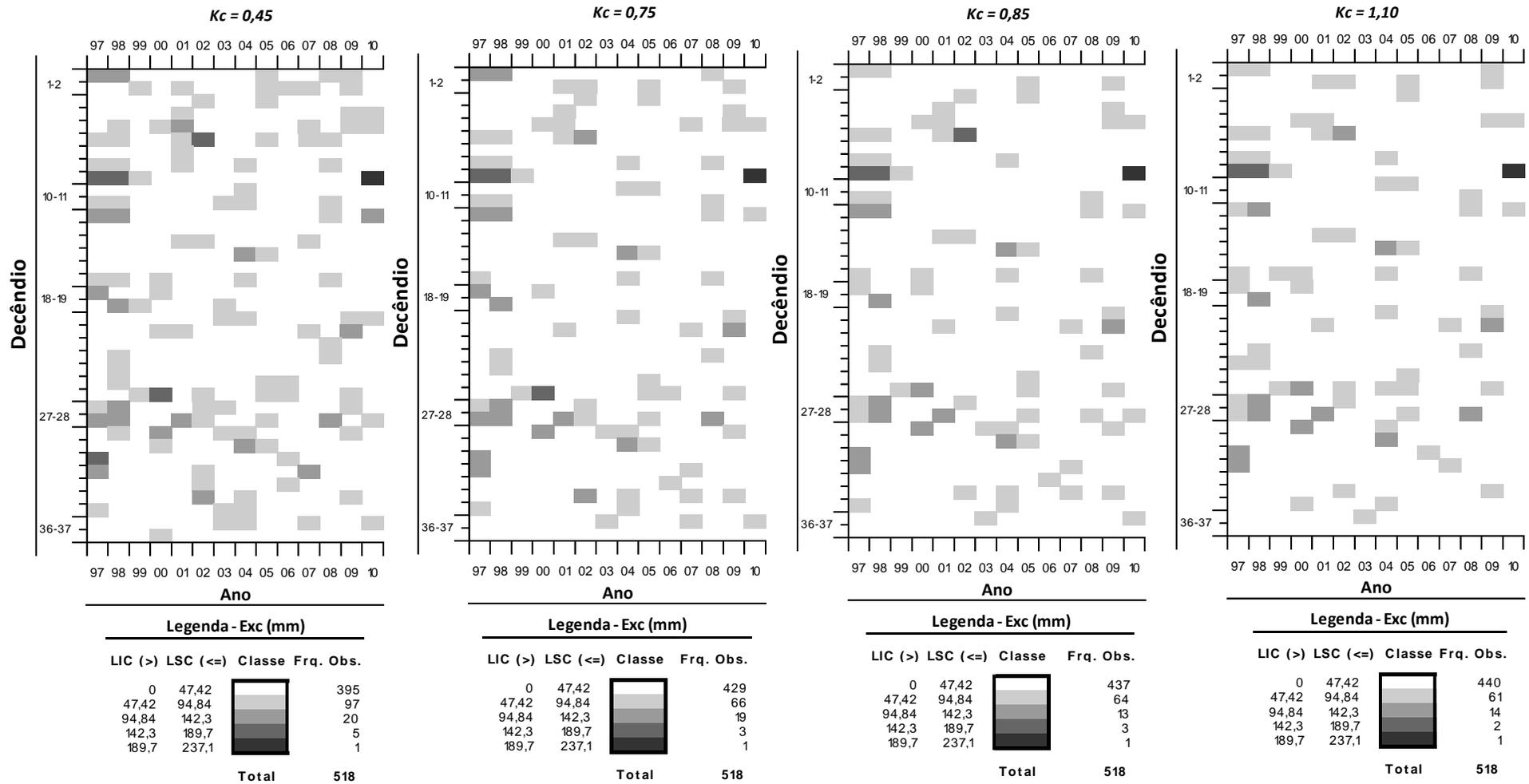
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-16 Distribuição de frequência dos valores deceniais de Exc (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,3; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-17 Distribuição de frequência dos valores decendiais de Exc (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A6-18 Distribuição de frequência dos valores decenciais de Exc ($mm\ decênio^{-1}$), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.

APÊNDICE 07 – Probabilidade dos valores decêndiais das componentes do balanço hídrico (%), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 e 60 mm; fração p de 0,3, 0,5 e 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.

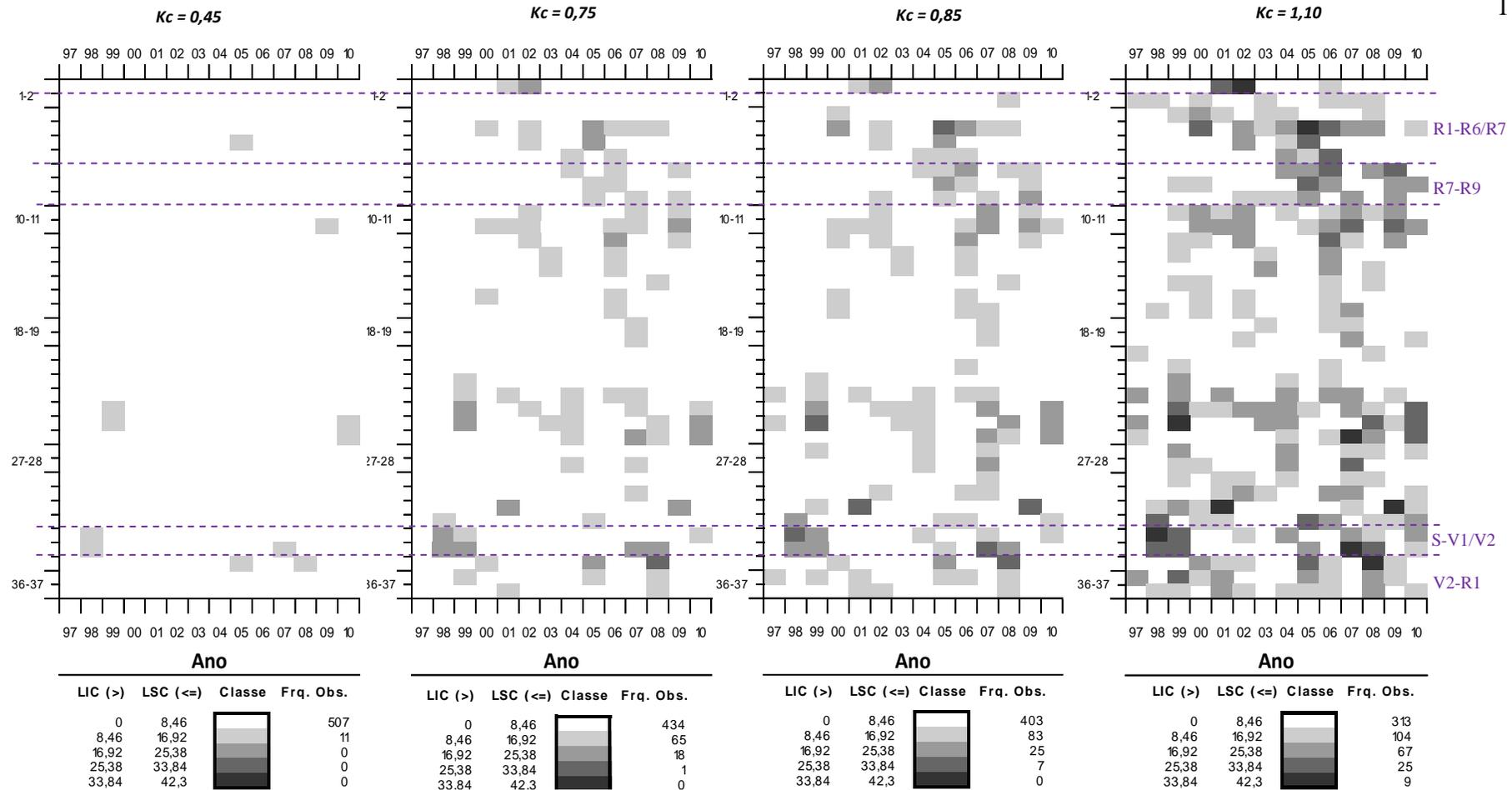
Tabela A7-3: Probabilidade dos valores decenciais de *Arm* (%), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 e 60 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência da <i>Arm</i> (%) -----											
Limite Inferior	Limite Superior	<i>kc</i> = 0,45			<i>kc</i> = 0,75			<i>kc</i> = 0,85			<i>kc</i> = 1,10		
		---- Fração <i>p</i> ----			---- Fração <i>p</i> ----			---- Fração <i>p</i> ----			---- Fração <i>p</i> ----		
		0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Capacidade de água disponível (CAD) de 20 mm													
3	6	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	8,7
6	10	0,0	1,5	8,1	0,0	5,8	9,1	0,0	5,2	11,2	0,0	11,0	16,0
10	13	1,0	11,2	10,0	7,1	16,6	15,4	7,5	19,5	16,6	15,1	21,0	15,4
13	17	27,2	20,8	18,5	29,9	25,9	23,6	30,9	25,9	23,6	36,1	27,0	22,8
17	20	71,8	66,4	61,6	62,9	51,7	47,7	61,6	49,4	43,2	48,8	40,9	37,1
Capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm													
3	15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	26	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	7,7
26	37	0,0	2,9	4,2	0,0	8,1	10,6	0,0	9,7	12,2	0,0	11,8	13,7
37	49	10,8	13,5	12,9	16,0	19,3	18,7	18,3	19,9	18,7	27,2	28,0	24,5
49	60	89,2	83,6	81,9	84,0	72,6	65,8	81,7	70,5	63,7	72,8	60,2	54,1

Tabela A7-4: Probabilidade dos valores decenciais de *Alt* (%), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 e 60 mm; fração *p* de 0,3, 0,5 e 0,7; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; com irrigação.

---- Classes ----		----- Probabilidade de ocorrência da <i>Alt</i> (%) -----											
Limite Inferior	Limite Superior	<i>kc</i> = 0,45			<i>kc</i> = 0,75			<i>kc</i> = 0,85			<i>kc</i> = 1,10		
		---- Fração <i>p</i> ----			---- Fração <i>p</i> ----			---- Fração <i>p</i> ----			---- Fração <i>p</i> ----		
		0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70	0,30	0,50	0,70
Capacidade de água disponível (CAD) de 20 mm													
-16	-10	0,0	1,5	5,6	0,0	2,7	7,1	0,0	3,5	7,9	0,0	3,7	10,8
-10	-3	16,2	20,5	21,8	19,9	23,2	23,4	19,3	23,7	22,6	22,4	26,4	22,0
-3	4	71,6	58,5	48,6	65,6	48,8	43,8	64,7	48,8	40,5	58,7	42,5	37,3
4	10	12,2	19,5	19,7	14,5	21,8	19,5	16,0	22,2	22,8	18,9	24,3	20,7
10	17	0,0	0,0	4,2	0,0	3,5	6,2	0,0	1,7	6,2	0,0	3,1	9,1
Capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm													
-38	-21	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	3,1	0,0	3,1	5,0	0,0	3,7	9,8
-21	-5	22,2	25,1	26,1	24,7	31,3	33,4	25,7	30,5	32,2	27,2	26,6	27,6
-5	12	72,8	66,2	65,6	69,3	49,6	46,3	68,1	50,2	44,0	63,3	52,7	38,6
12	28	5,0	8,7	7,3	6,0	16,2	12,9	6,2	14,9	13,5	9,5	16,2	18,1
28	44	0,0	0,0	1,0	0,0	0,4	4,2	0,0	1,4	5,2	0,0	0,8	5,6

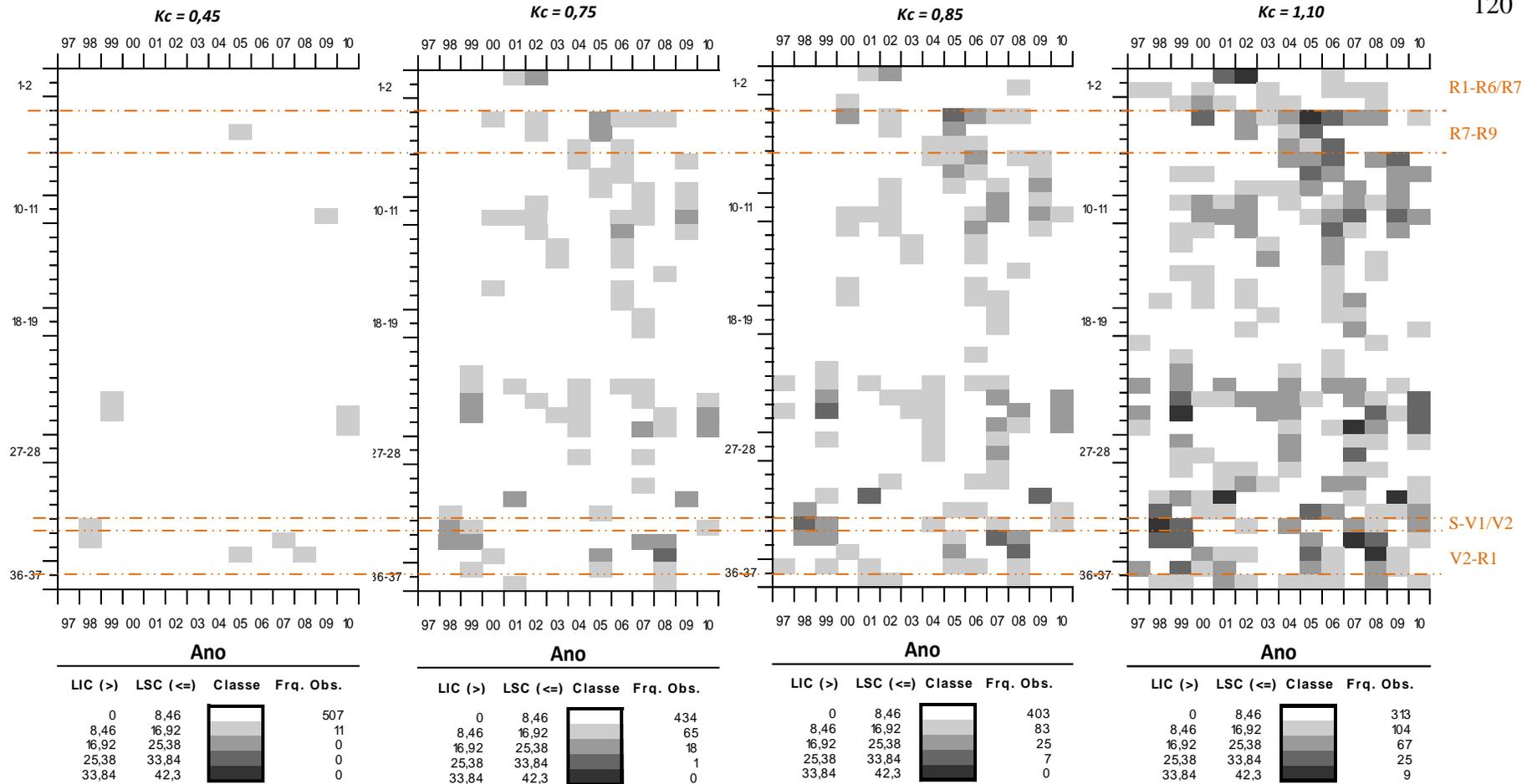
APÊNDICE 08 – Interpolação dos períodos de plantio e estádios de desenvolvimento da soja com as distribuições de frequência dos valores decendiais da *Def* e *Exc* (mm decêncio^{-1}), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm e 60 mm; fração *p* de 0,5; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



S: semeadura; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

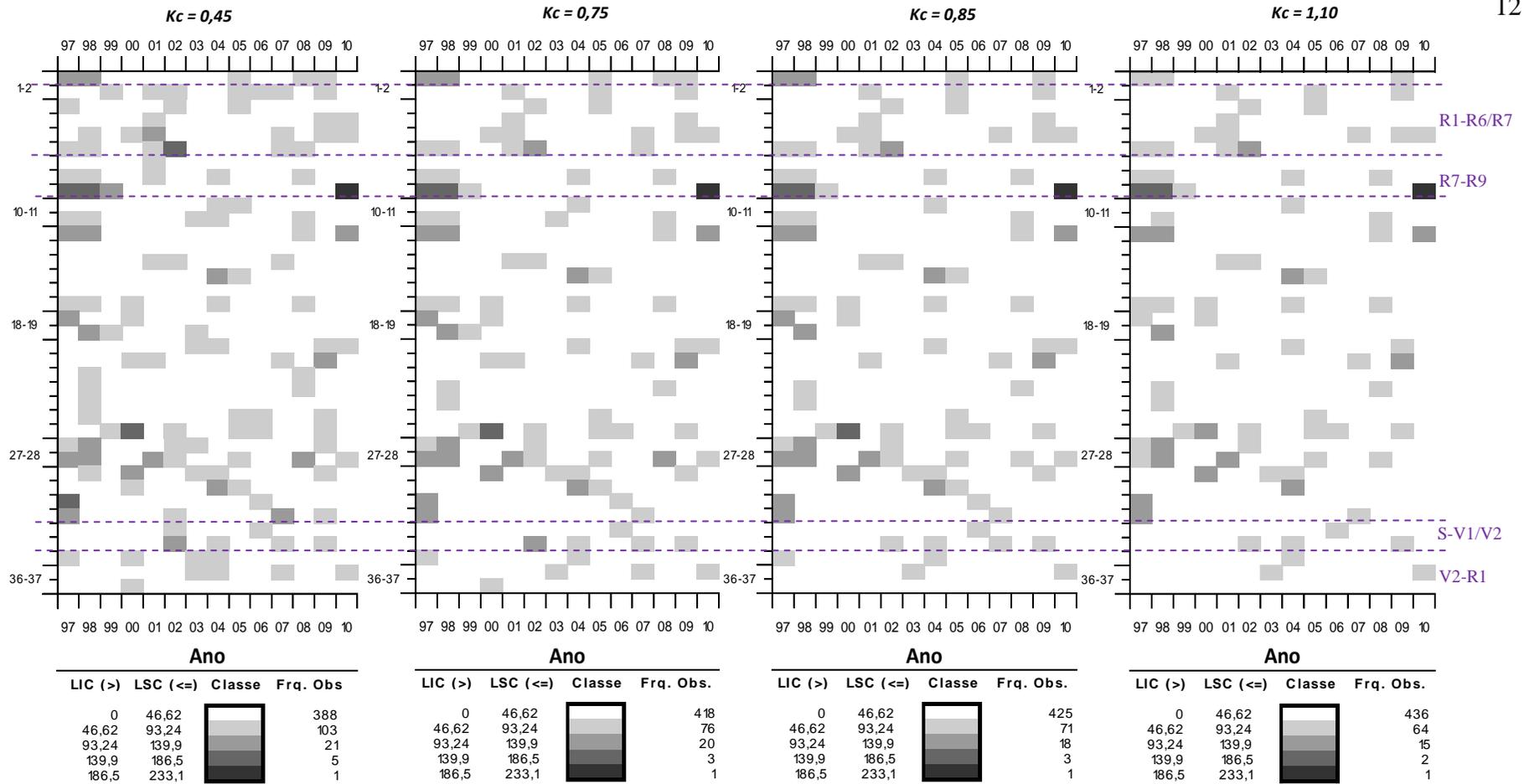
Figura A8-1: Distribuição de frequência dos valores decendiais de *Def* (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração *p* 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.



S: semeadura; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

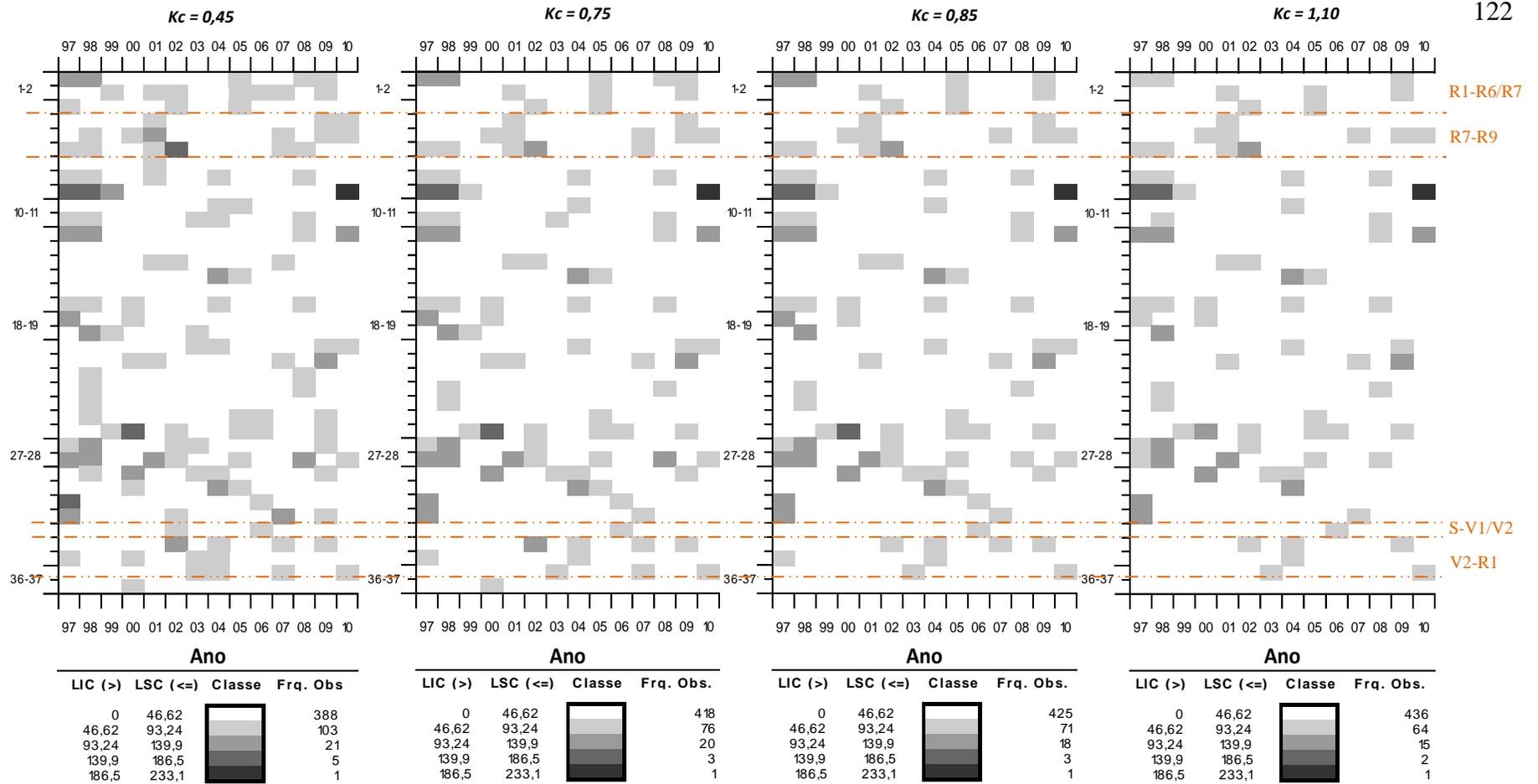
Figura A8-2: Distribuição de frequência dos valores decendiais de Def (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 110 dias.



S: sementeira; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

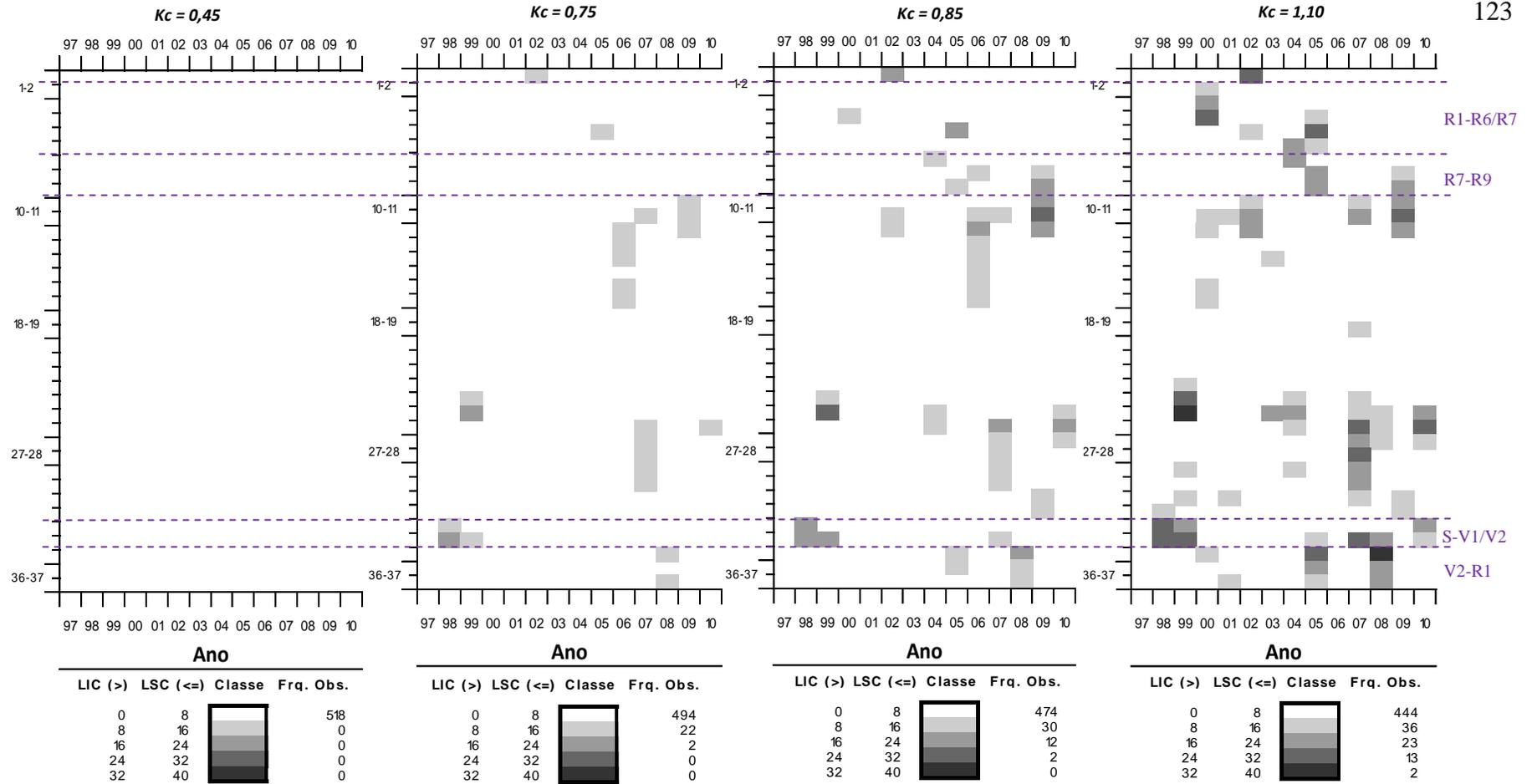
Figura A8-3: Distribuição de frequência dos valores decendiais de Exc (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.

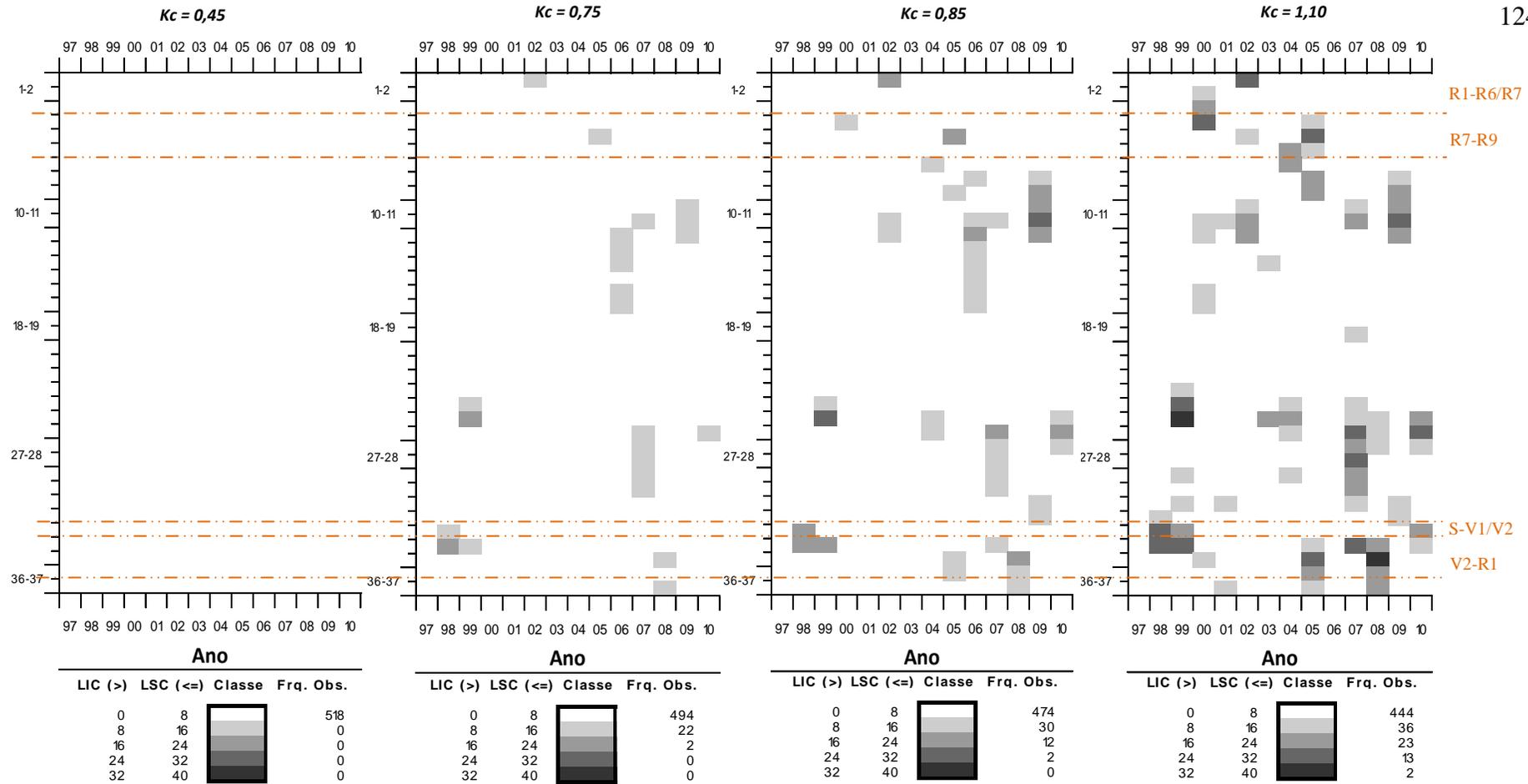


S: sementeira; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A8-4: Distribuição de frequência dos valores decendiais de *Exc* (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração *p* 0,5; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 110 dias.

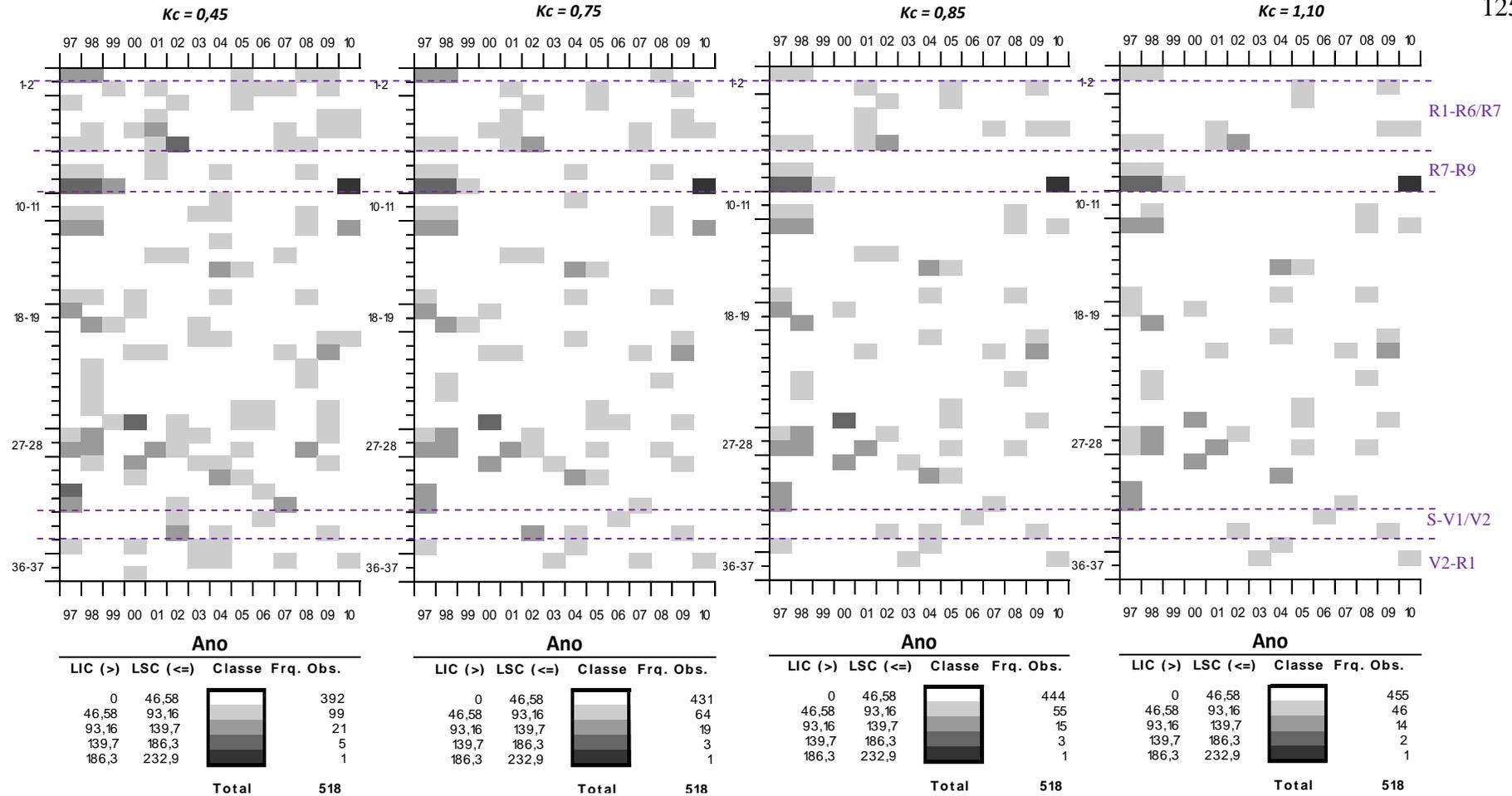




S: semeadura; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

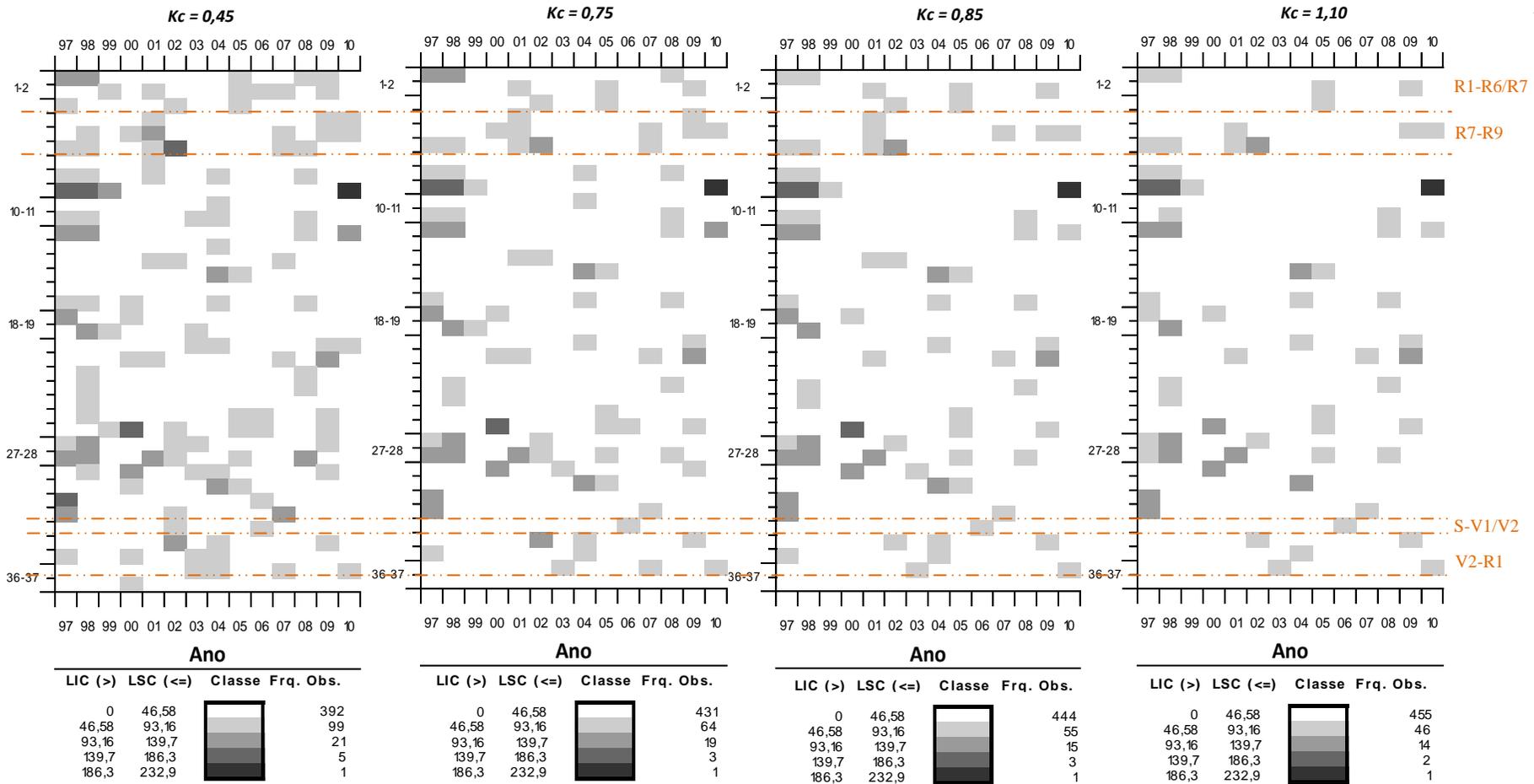
Figura A8-6: Distribuição de frequência dos valores decendiais de *Def* (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração *p* 0,5; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 110 dias.



S: sementeira; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A8-7: Distribuição de frequência dos valores decendiais de *Exc* (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração *p* 0,5; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.

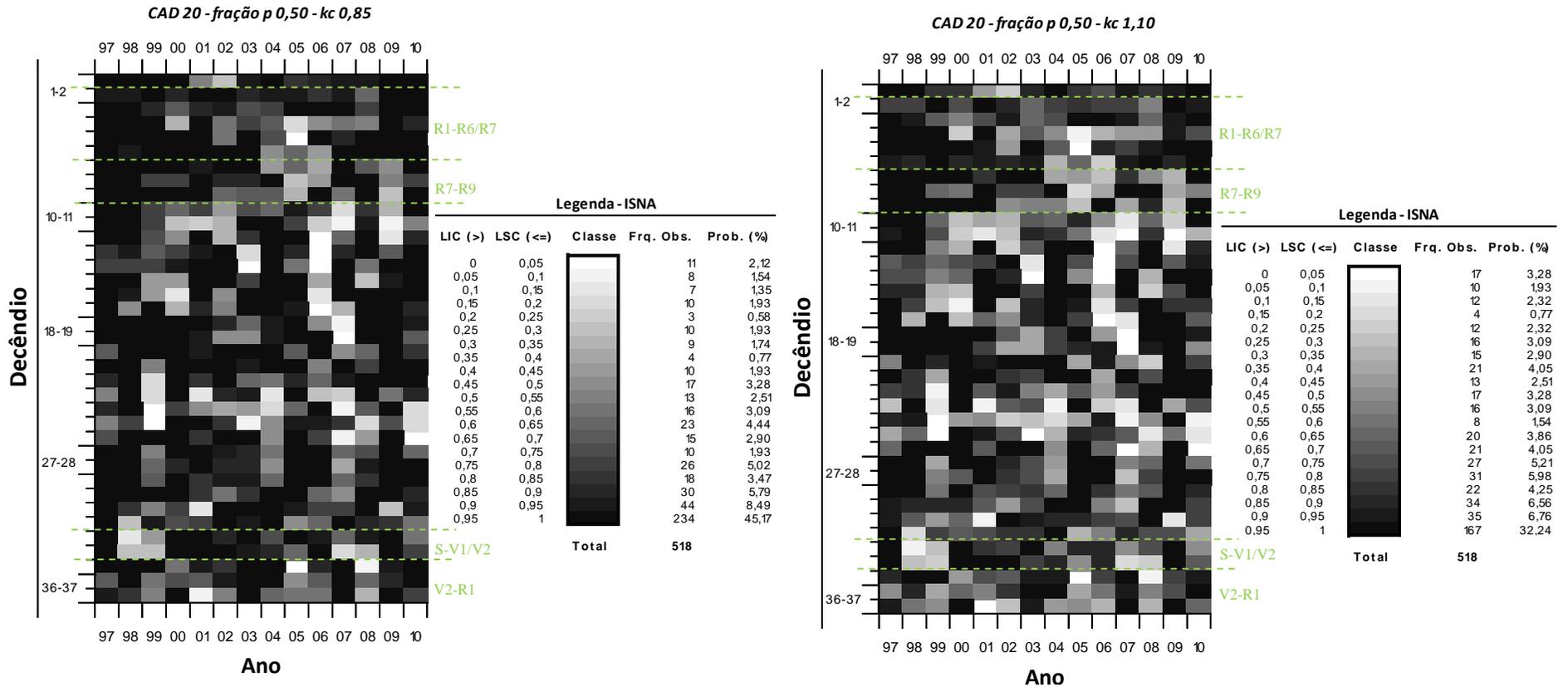


S: semeadura; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A8-8: Distribuição de frequência dos valores decendiais de *Exc* (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração *p* 0,5; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 110 dias.

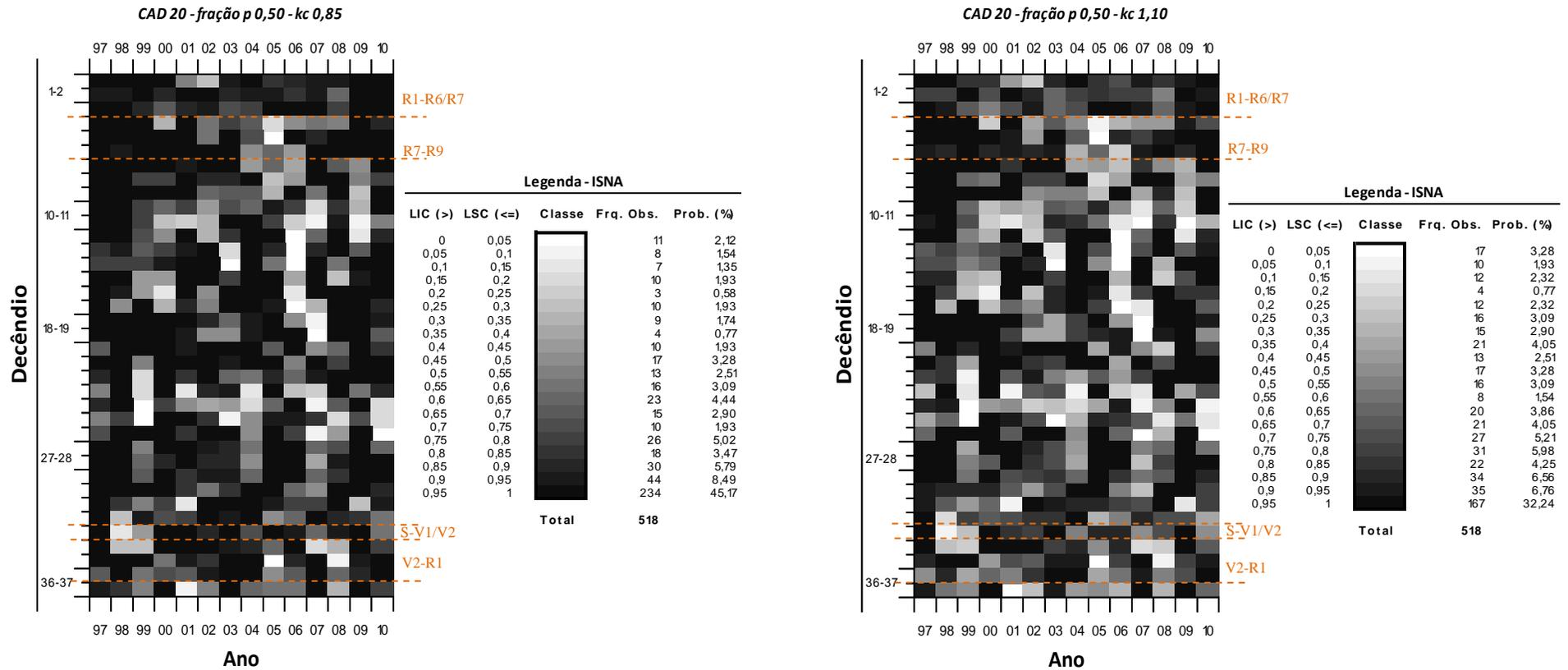
APÊNDICE 09 – Interpolação dos períodos de plantio e estádios de desenvolvimento da soja com as distribuições de frequência dos valores decendiais do ISNA, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm e 60 mm; fração *p* de 0,5; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



S: semeadura; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada encontrada para cada classe (%).

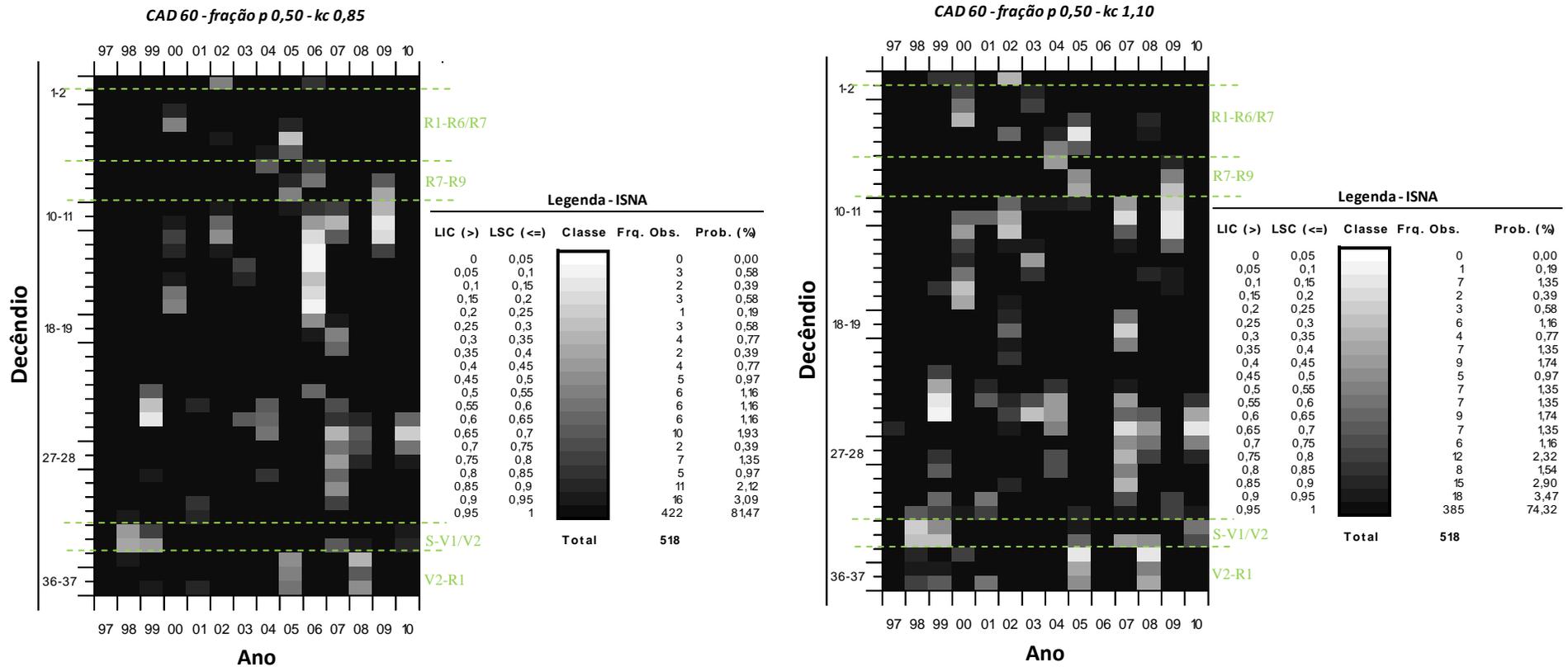
Figura A9-1: Distribuição de frequência dos valores decendiais de ISNA, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; kc de 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.



S: semeadura; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada encontrada para cada classe (%).

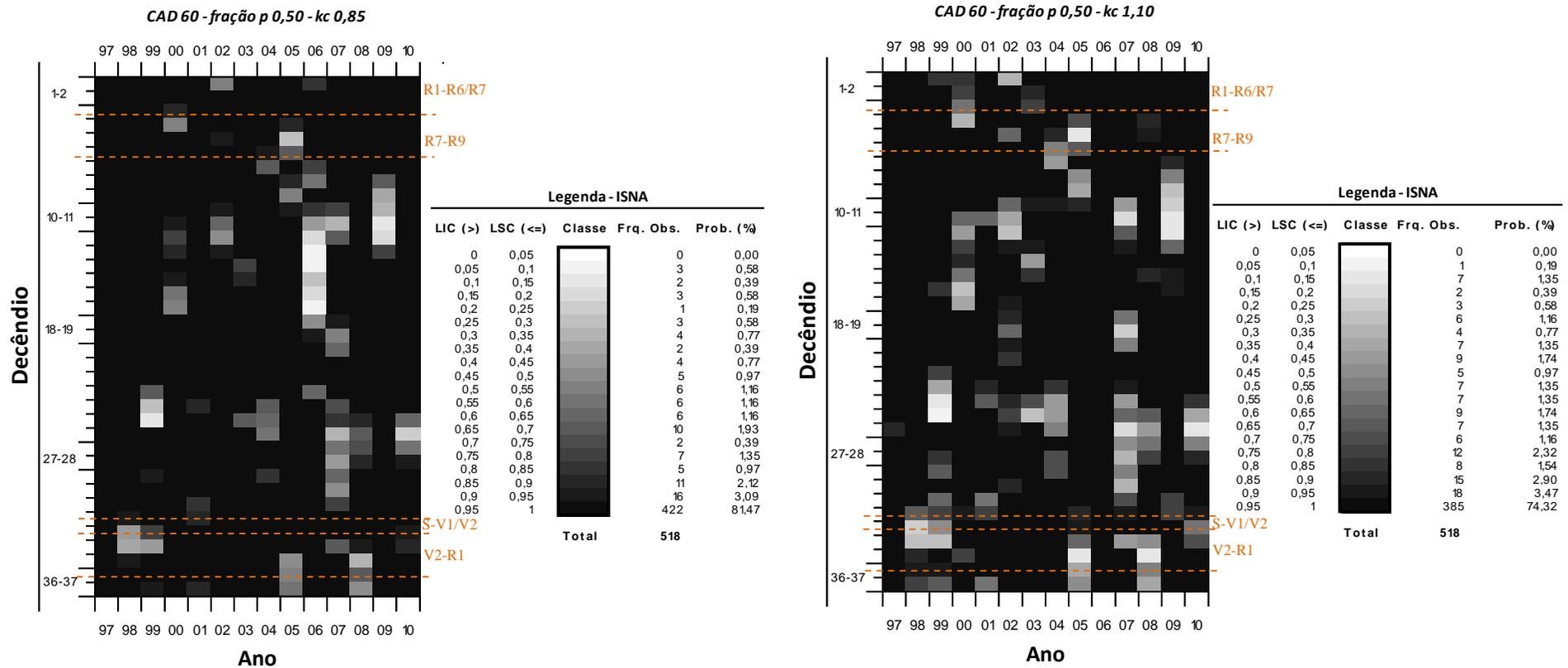
Figura A9-2: Distribuição de frequência dos valores decenciais de ISNA, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,5; kc de 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 110 dias.



S: semeadura; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada encontrada para cada classe (%).

Figura A9-3: Distribuição de frequência dos valores decendiais de ISNA, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; kc de 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.

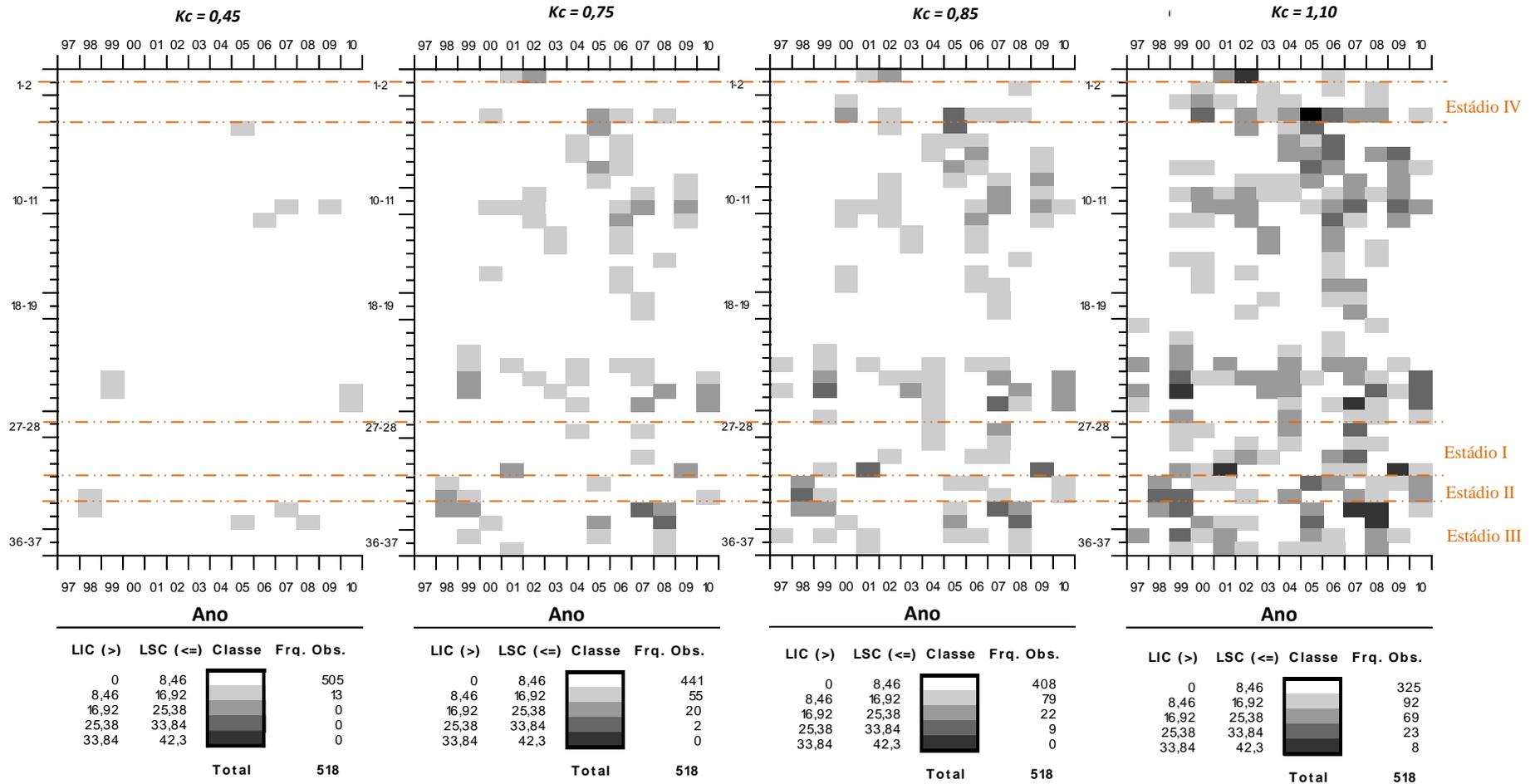


S: sementeira; V1: folhas primárias desenvolvidas; V2: folha trifoliada desenvolvida no nó acima das folhas primárias; R1: início da floração; R6: grãos com 3 mm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida; R7: legume contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, em um dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida, R9: 95% dos legumes atingiram a cor de legume maduro do referido cultivar, segundo COSTA (1996).

Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada encontrada para cada classe (%).

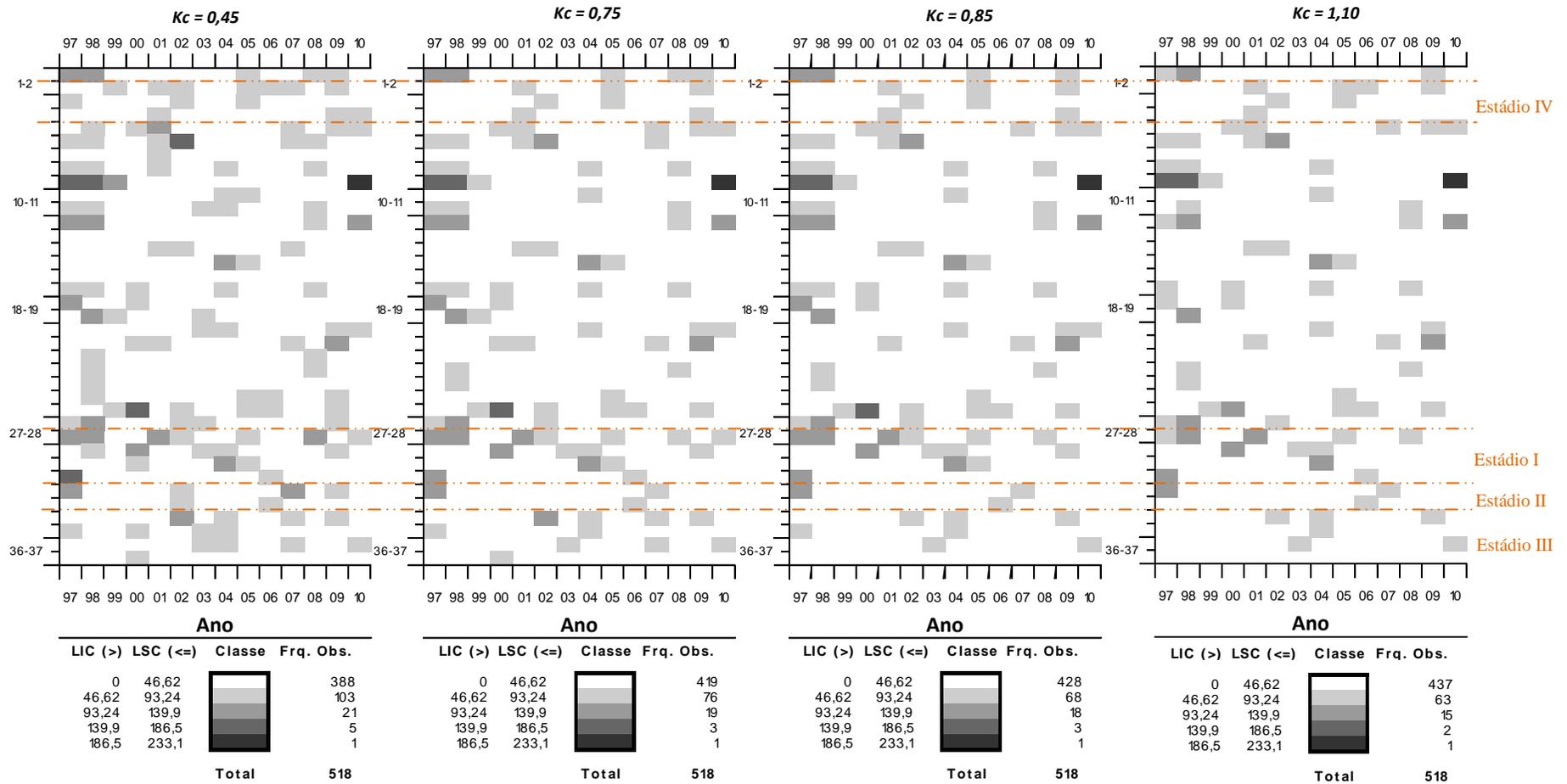
Figura A9-4: Distribuição de frequência dos valores decendiais de ISNA, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,5; kc de 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 110 dias.

APÊNDICE 10 – Interpolação dos períodos de plantio e estádios de desenvolvimento do algodão com as distribuições de frequência dos valores decendiais da *Def* e *Exc* (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm e 60 mm; fração *p* de 0,5; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



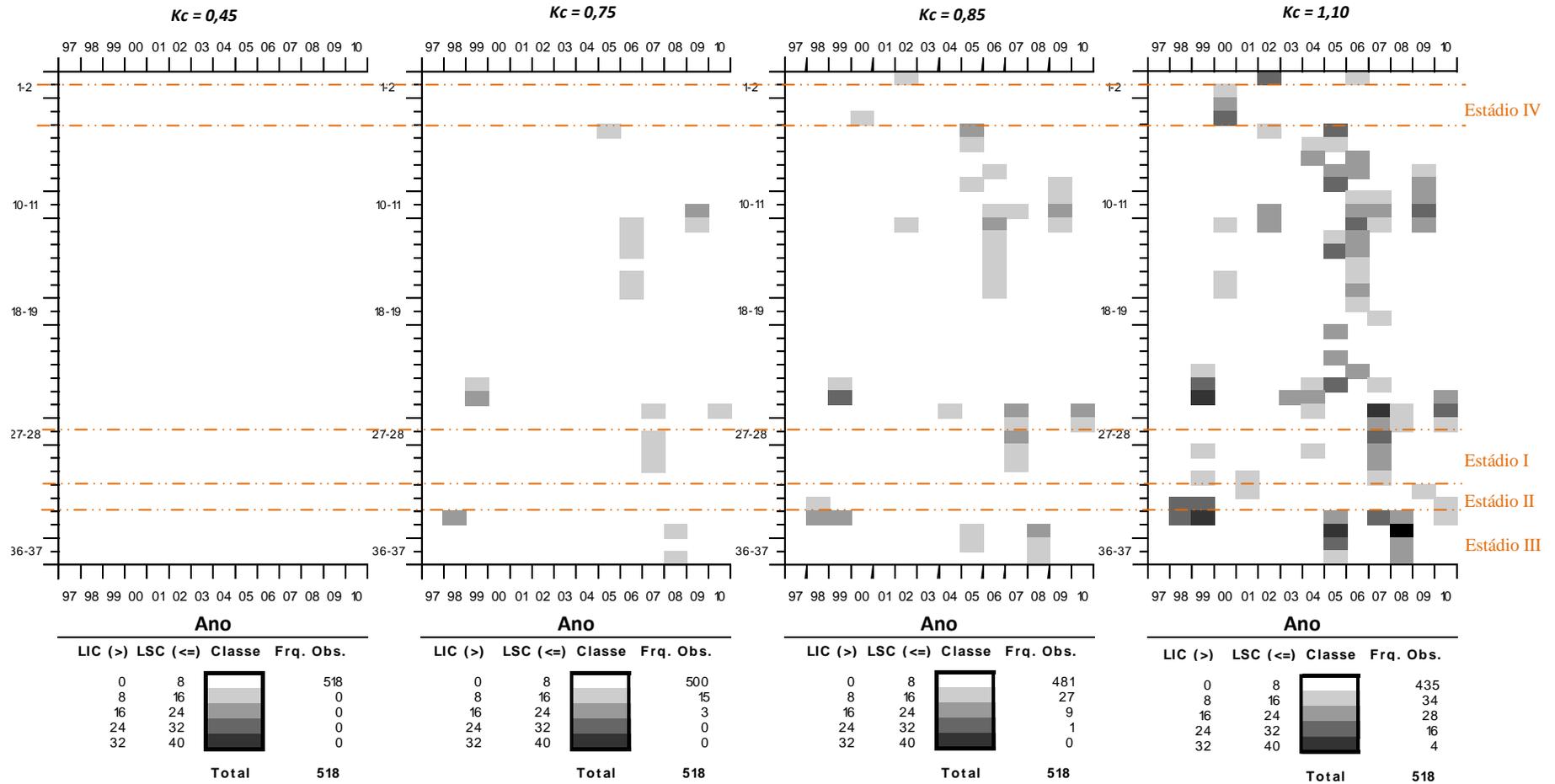
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A10-1: Distribuição de frequência dos valores decendiais de Def (mm decênio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; k_c de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.



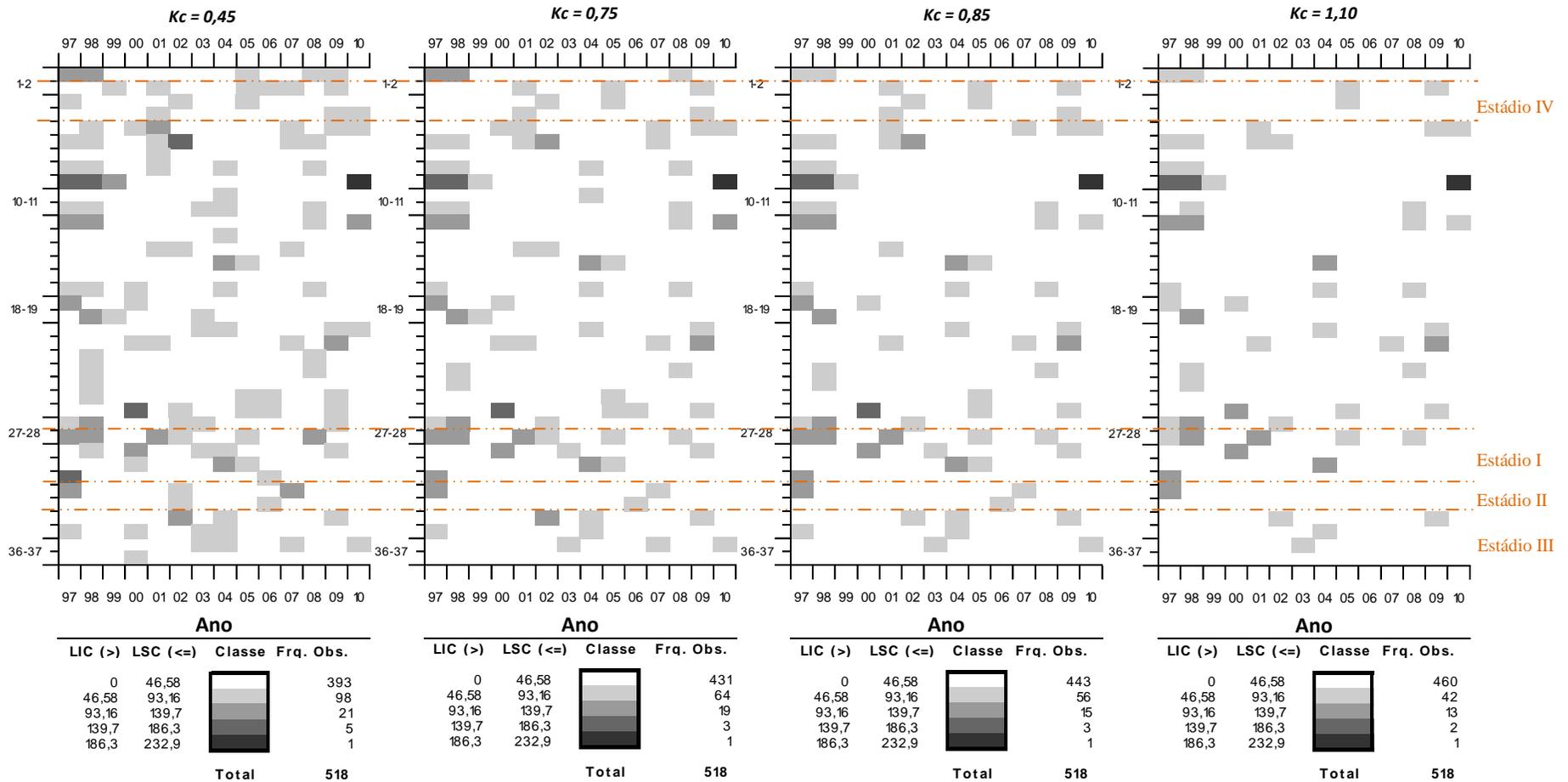
Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

Figura A10-2: Distribuição de frequência dos valores decenciais de *Exc* (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração *p* 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

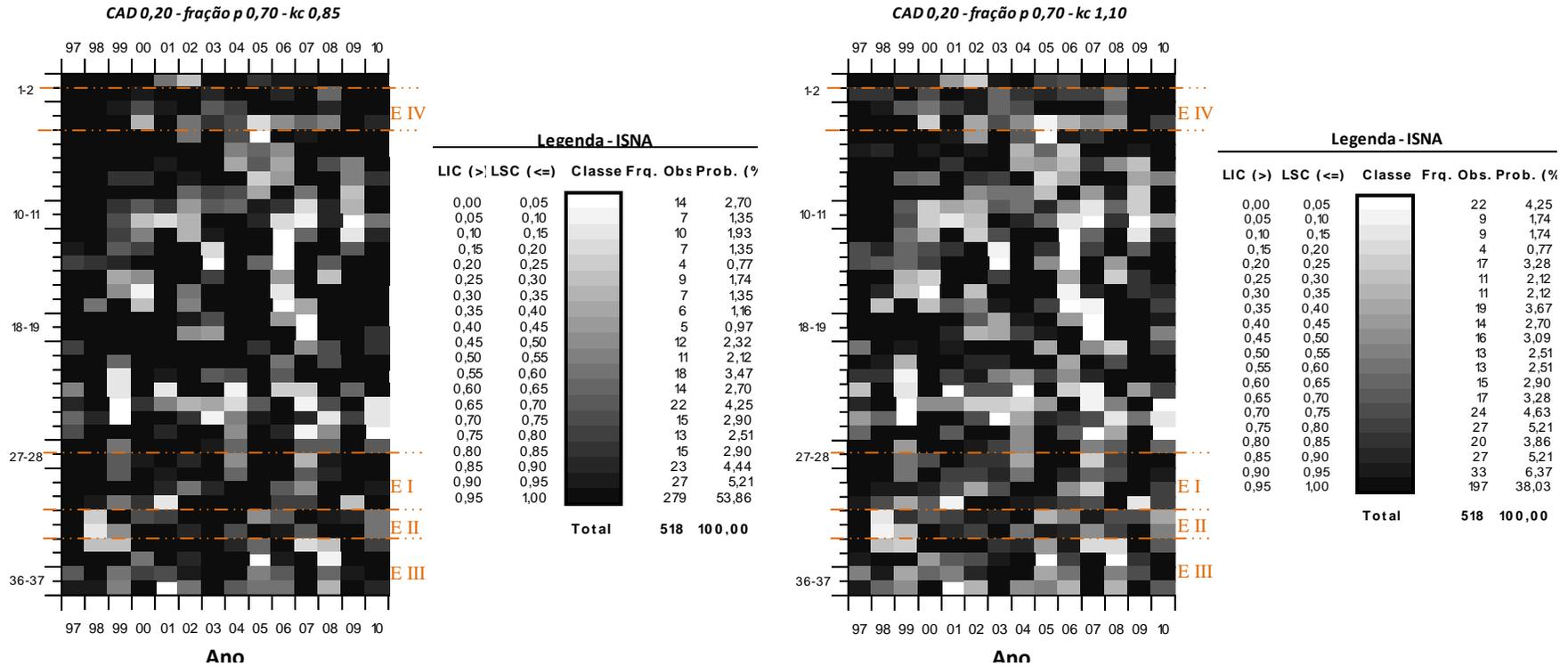
Figura A10-3: Distribuição de frequência dos valores decendiais de Def (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe.

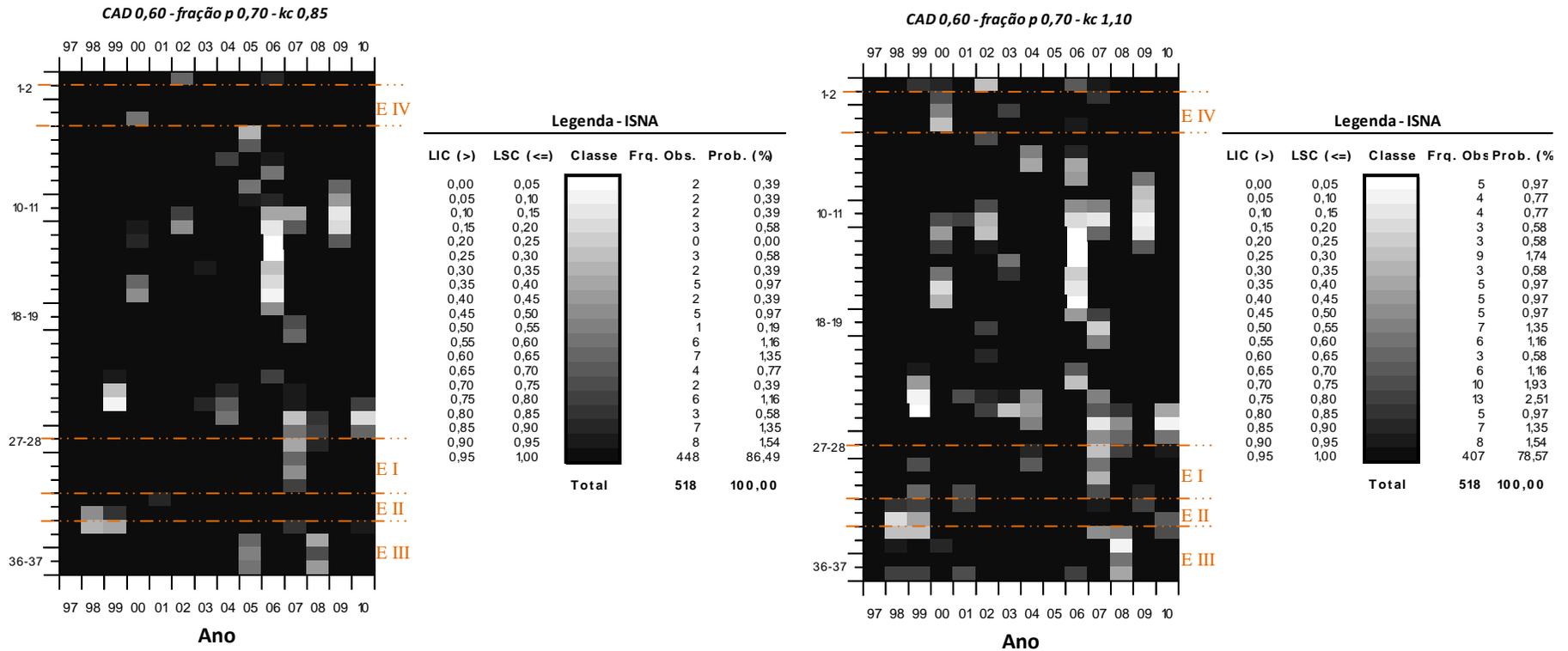
Figura A10-4: Distribuição de frequência dos valores decendiais de *Exc* (mm decêncio⁻¹), entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração *p* 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.

APÊNDICE 11 – Interpolação dos períodos de plantio e estádios de desenvolvimento do algodão com as distribuições de frequência dos valores decendiais da ISNA, entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm e 60 mm; fração *p* de 0,5; *kc* de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada encontrada para cada classe (%).

Figura A11-1: Distribuição de frequência dos valores decenciais de ISNA entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 20 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.



Sendo: LIC – limite inferior da classe; LSC – limite superior da classe; Classe – cor da classe apresentada no diagrama de distribuição de frequência em cores; Fra. Obs. – frequência observada em cada classe; Prob. (%) – probabilidade observada encontrada para cada classe (%).

Figura A11-2: Distribuição de frequência dos valores decendiais de ISNA entre os anos de 1997 e 2010, em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm; fração p 0,7; kc de 0,45, 0,75, 0,85 e 1,10; sem irrigação no ciclo de 140 dias.

APÊNDICE 12 – Valores Prováveis de P , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em
Ponta Grossa-PR.

Tabela A12-1: Valores prováveis para a P , em Ponta Grossa-PR para a cultura de algodão com ciclo de 140 dias, considerando: CAD de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	P(prec = 0) (%)	Prec. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	1,6	163,8	51,6	39,7	32,0	1,5	35,7	0,1831	0,0256	G	0,0	20,9	75,0	56	56	0	0,0
II	1,6	133,8	44,8	33,8	11,0	1,1	40,3	0,2589	0,0815	E	0,0	12,9	75,0	28	28	0	0,0
III	1,4	128,4	47,0	30,7	9,3	1,7	27,0	0,1713	0,0365	T	9,2	16,6	75,0	64	58	6	9,2
IV	1,4	108,0	46,4	28,5	69,9	1,7	27,0	0,2140	0,0492	N	2,4	25,6	75,0	41	40	1	2,4

Tabela A12-2: Valores prováveis para a P , em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 110 dias, considerando: CAD de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	P(prec = 0) (%)	Prec. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	3,2	121,6	39,0	32,6	13,1	1,5	36,2	0,3408	0,0804	N	0,0	17,0	75,0	14	14	0	0,0
II	1,4	120,8	46,8	29,4	9,9	1,7	27,6	0,2140	0,0816	N	2,3	25,3	75,0	42	41	1	2,3
III	1,4	128,4	48,6	29,3	25,2	1,9	25,4	0,1918	0,0533	N	8,8	21,5	75,0	56	51	5	8,8
IV	2,0	177,2	55,7	37,8	64,6	1,5	36,2	0,2166	0,0683	N	4,7	25,7	75,0	42	40	2	4,7

Tabela A12-3: Valores prováveis para a P em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 140 dias, considerando: CAD de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	P(prec = 0) (%)	Prec. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	2,8	121,6	46,3	33,4	52,3	1,4	33,2	0,2589	0,0844	N	0,0	23,8	75,0	28	28,0	0	0,0
II	1,4	128,4	44,5	29,8	9,3	1,7	25,6	0,1938	0,0627	N	10,5	15,0	75,0	56	50	6	10,53
III	1,4	177,2	53,4	33,1	56,3	1,7	31,5	0,1661	0,0535	N	2,8	28,8	75,0	70	68	2	2,82
IV	4,8	251,2	48,3	55,0	22,4	1,2	41,5	0,2166	0,0774	G	4,7	13,6	75,0	42	40	2	4,65

APÊNDICE 13 – Valores Prováveis para I , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm.

Tabela A13-1: Valores prováveis para a *I*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de algodão com ciclo de 140 dias, considerando *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	I(I = 0) (%)	I. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	14,1	31,6	17,0	5,3	15,9	15,2	1,1	0,2797	0,2995	G	56,1	15,9	25,0	56	24	32	56,1
II	14,3	47,5	22,2	8,9	17,1	6,3	3,5	0,2687	0,1256	E	6,9	29,1	25,0	28	26	2	6,9
III	1,3	42,0	14,7	10,5	4,2	1,6	9,1	0,1998	0,0406	G	32,4	15,4	25,0	70	47	23	32,4
IV	14,1	31,6	17,0	5,3	15,9	15,2	1,1	0,2797	0,2429	E	41,9	14,3	25,0	42	24	18	41,9

Tabela A13-2: Valores prováveis para a *I*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 110 dias, considerando: *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	I(I = 0) (%)	I. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5	9	60,0
II	10,0	34,2	16,5	6,3	12,0	7,1	2,3	0,2501	0,1789	E	27,9	17,5	25,0	42	30	12	27,9
III	10,0	39,2	18,6	7,6	11,8	6,6	2,8	0,1918	0,1593	E	8,8	24,0	25,0	56	51	5	8,8
IV	10,0	35,8	16,9	7,5	12,1	5,9	2,9	0,2501	0,1465	E	27,9	17,9	25,0	42	30	12	27,9

Tabela A13-3: Valores prováveis para a *I*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 140 dias, considerando: *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	I(I = 0) (%)	I. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	10,2	21,2	11,8	3,3	11,3	19,7	0,6	0,4211	0,2613	E	62,1	4,9	25,0	28	10	18	62,1
II	10,1	34,2	15,1	5,9	11,8	7,7	2,0	0,2222	0,1425	E	31,6	15,2	25,0	56	38	18	31,6
III	10,0	37,4	20,1	8,2	12,0	5,9	3,4	0,1784	0,1692	E	15,5	24,5	25,0	70	59	11	15,5
IV	10,6	24,5	18,2	5,5	23,3	9,9	1,8	0,2797	0,2317	N	41,9	19,2	25,0	42	24	18	41,9

APÊNDICE 14 – Valores Prováveis para Def , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR considerando: CAD de 20 mm.

Tabela A14-1: Valores prováveis para a *Def*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de algodão com ciclo de 140 dias, considerando: *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Def(Def = 0) (%)	Def. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	1,5	23,3	7,4	5,9	3,7	1,9	3,9	0,3143	0,0795	G	64,9	3,8	25,0	56	19	37	64,9
II	2,6	29,1	13,5	8,4	4,8	2,3	6,0	0,2921	0,0981	G	20,7	16,0	25,0	28	22	6	20,7
III	1,3	42,0	14,7	10,5	4,2	1,6	9,1	0,1998	0,0406	G	32,4	15,4	25,0	70	47	23	32,4
IV	1,3	23,0	7,0	5,9	3,5	1,8	4,0	0,3243	0,0433	G	62,8	3,9	25,0	42	15	27	62,8

Tabela A14-2: Valores prováveis para a *Def*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 110 dias, considerando: *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Def(Def = 0) (%)	Def. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	0	14	93,3
II	1,2	27,0	9,8	7,4	3,4	1,4	7,1	0,2857	0,1054	E	44,2	7,9	25,0	42	23	19	44,2
III	1,3	34,3	9,5	6,5	3,7	1,8	5,1	0,2042	0,0343	G	19,3	11,3	25,0	56	45	11	19,3
IV	1,4	29,0	12,6	7,4	15,2	2,5	5,0	0,3323	0,0613	N	58,1	10,7	25,0	42	17	25	58,1

Tabela A14-3: Valores prováveis para a *Def*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 140 dias, considerando: *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Def(Def = 0) (%)	Def. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	6,0	22,0	75,9
II	1,2	27,0	7,4	5,8	3,4	1,5	4,9	0,2501	0,0627	G	45,6	6,4	25,0	56	30	26	45,6
III	1,5	41,6	11,3	9,2	4,0	1,4	7,8	0,1882	0,0251	E	23,9	12,6	25,0	70	53	17	23,9
IV	2,5	20,3	10,5	5,5	5,8	3,1	3,3	0,3063	0,0825	G	51,2	9,2	25,0	42	20	22	51,2

APÊNDICE 15 – Valores Prováveis para *Exc*, para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 20 mm.

Tabela A15-1: Valores prováveis para a *Exc*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de algodão com ciclo de 140 dias, considerando: *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Exc(exc = 0) (%)	Exc. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	5,3	129,3	44,6	36,2	17,7	0,8	82,5	0,2140	0,0519	E	77,2	0,0	22,8	56	12	44	77,2
II	1,9	96,6	32,0	28,5	9,8	1,0	33,7	0,3243	0,0611	E	44,8	25,3	25,0	28	15	13	44,8
III	1,4	101,8	31,3	23,3	8,6	1,3	23,4	0,2089	0,0634	G	38,0	28,4	25,0	70	43	27	38,0
IV	1,3	68,7	30,6	20,5	21,5	1,6	18,9	0,2422	0,0756	G	23,3	35,4	25,0	42	32	10	23,3

Tabela A15-2: Valores prováveis para a *Exc*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 110 dias, considerando: *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Exc(exc = 0) (%)	Exc. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	11	3,0	20,0
II	5,0	95,4	34,3	20,9	27,6	2,0	16,8	0,2461	0,0659	G	25,6	39,0	25,0	42	31	11	25,6
III	1,3	90,2	30,4	21,9	20,4	1,2	25,0	0,2385	0,0718	G	40,4	26,7	25,0	56	33	23	40,4
IV	5,3	135,8	42,9	28,4	37,9	2,3	18,9	0,2501	0,0484	G	27,9	48,0	25,0	42	30	12	27,9

Tabela A15-3: Valores prováveis para a *Exc*, em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 140 dias, considerando: *CAD* de 20 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Def(Def = 0) (%)	Def. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	2,5	105,5	40,7	24,0	45,4	2,2	18,3	0,2797	0,0872	N	13,8	54,0	25,0	28,0	24	4,0	13,8
II	3,1	103,5	31,9	24,4	10,3	1,5	21,7	0,2283	0,0628	E	35,1	30,5	25,0	56	36	20	35,1
III	1,3	130,3	34,2	22,6	28,9	1,6	22,1	0,1957	0,0455	N	29,6	42,6	25,0	70	49	21	29,6
IV	1,2	218,3	45,3	57,9	19,3	0,8	55,8	0,2740	0,0965	G	39,5	37,7	25,0	42	25	17	39,5

APÊNDICE 16 – Valores Prováveis para I , para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: CAD de 60 mm.

Tabela A16-1: Valores prováveis para a I , em Ponta Grossa-PR para a cultura de algodão com ciclo de 140 dias, considerando: CAD de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	I(I = 0) (%)	I. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	2	54	94,7
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	6	22	75,9
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	13	57	80,3
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	1	41	95,3

Tabela A16-2: Valores prováveis para a I em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 110 dias, considerando: CAD de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	I(I = 0) (%)	I. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	1	13	86,7
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	5	37	86,0
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	9	47	82,5
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	8	34	79,1

Tabela A16-3: Valores prováveis para a I em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 140 dias, considerando: CAD de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	I(I = 0) (%)	I. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	1	27	93,1
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	7	49	86,0
III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	19	51	71,8
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	6	36	83,7

APÊNDICE 17 – Valores Prováveis para *Def*, para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 60 mm.

Tabela A17-1: Valores prováveis para a *Def* em Ponta Grossa-PR para a cultura de algodão com ciclo de 140 dias, considerando: *CAD* de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Def(Def = 0) (%)	Def. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	4	52	91,2
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	9	19	65,5
III	2,3	40,0	16,1	11,1	5,4	1,6	10,3	0,1957	0,0455	G	66,2	7,0	25,0	70	23	47	66,2
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	0	42	97,7

Figura A17-2: Valores prováveis para a *Def* em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 110 dias, considerando: *CAD* de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Def(Def = 0) (%)	Def. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,0	0,0	14	93,3
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,0	7,0	35	81,4
III	1,0	30,1	8,9	6,8	3,9	1,8	5,3	0,2461	0,0643	E	73,7	0,5	25,0	56	14	42	73,7
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42,0	6,0	36	83,7

Tabela A17-3: Valores prováveis para a *Def* em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 110 dias, considerando: *CAD* de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Def(Def = 0) (%)	Def. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	0	28	96,6
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	8	48	84,2
III	1,0	28,6	11,1	8,0	3,8	1,6	6,9	0,2089	0,0591	G	77,5	0,0	22,5	70	15	55	77,5
IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	8	34	79,1

APÊNDICE 18 – Valores Prováveis para *Exc*, para a cultura de soja (110 e 140 dias) e algodão (140 dias) no em Ponta Grossa-PR, considerando: *CAD* de 60 mm.

Tabela A18-1: Valores prováveis para a *Exc* em Ponta Grossa-PR para a cultura de algodão com ciclo de 140 dias, considerando: *CAD* de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Exc(exc = 0) (%)	Exc. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	5,7	129,3	44,5	35,8	14,5	1,9	23,4	0,2222	0,0506	E	31,6	44,9	25,0	56	38	18	31,6
II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	9,0	19	65,5
III	1,3	84,4	26,5	21,6	8,2	1,2	22,4	0,2461	0,0840	E	54,9	15,6	25,0	70	31	39	54,9
IV	2,9	68,7	27,9	20,3	8,4	1,7	16,0	0,2461	0,0643	G	25,6	31,7	25,0	42	31	11	25,6

Tabela A18-3: Valores prováveis para a *Exc* em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 110 dias, considerando: *CAD* de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Exc(exc = 0) (%)	Exc. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	11,0	3,0	20,0
II	4,7	95,4	34,0	21,9	27,4	1,9	17,7	0,2637	0,0498	G	34,9	35,3	25,0	42	27	15	34,9
III	3,3	113,7	38,0	27,2	11,2	2,0	19,2	0,2089	0,0591	G	22,8	44,3	25,0	56	43	13	22,8
IV	8,8	110,8	40,9	25,2	34,3	2,7	15,4	0,2637	0,0547	G	34,9	43,2	25,0	42	27	15	34,9

Tabela A18-4: Valores prováveis para a *Exc* em Ponta Grossa-PR para a cultura de soja com ciclo de 140 dias, considerando: *CAD* de 60 mm.

Estádio	Menor Valor	Maior Valor	Média	Des. Padrão	Moda	Parâmetros		Dmax Tab. 5%	Dmax Calculado	Melhor Distribuição	Exc(Def = 0) (%)	Exc. Prov. 75% (mm)	Prob. (%)	Tamanho Amostra	Número de Decêndios	Amostra Zeros	Prob. Zeros
						Alfa	Beta										
I	5,9	105,5	40,5	23,9	30,8	2,7	14,8	0,2857	0,0499	G	17,2	48,8	25,0	28,0	23	5	17,2
II	3,5	98,3	33,8	23,0	27,2	1,7	19,6	0,2501	0,0416	G	45,6	29,9	25,0	56,0	30	26	45,6
III	1,5	95,6	30,4	21,9	8,2	1,8	17,4	0,2166	0,0499	G	42,3	29,0	25,0	70	40	30	42,3
IV	3,3	212,2	46,3	58,1	20,7	0,9	50,9	0,2857	0,0815	G	44,2	36,1	25,0	42,0	23	19	44,2