

Quantificação da estação polínica das Poaceae e das Urticaceae na atmosfera do Porto utilizando um modelo de emissão polínica

Using a pollen emission model to define the main Poaceae and Urticaceae pollen seasons in the atmosphere of Porto

Rev Port Imunoalergologia 2008; 16 (3): 285-297

Helena Ribeiro^{1,2}, Mário Cunha^{1,3}, Ilda Abreu²

¹ Secção Autónoma de Ciências Agrárias, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto / Agrarian Sciences Autonomous Section, Faculty of Sciences, University of Porto

² Grupo Ambiente, Sociedade e Educação, Centro de Geologia, Universidade do Porto / Environment, Society and Education Group, Geology Centre, University of Porto

³ Centro de Investigação em Ciências Geoespaciais Faculdade de Ciências da Universidade do Porto / Geo-Spatial Sciences Research Centre, Faculty of Sciences, University of Porto

RESUMO

Introdução: A definição da estação polínica é importante, pois os primeiros sintomas respiratórios alérgicos surgem, geralmente, acima de um valor limite de concentração aeropolínica. Várias metodologias têm sido propostas para determinar a estação polínica, obtendo-se normalmente uma estação de duração superior ao período de emissão devido à especificidade do pólen, que possibilita a sua recirculação ou ressuspensão, mantendo-se na atmosfera, embora em menor concentração, durante longos períodos de tempo. **Objectivo:** Definir um modelo de emissão polínica para a caracterização da estação polínica das Poaceae e das Urticaceae, utilizando uma análise de regressão não linear. **Material e métodos:** O conteúdo polínico atmosférico da cidade de Porto foi amostrado entre 2003 e 2007 usando um captador volumétrico tipo-Hirst. A estação polínica foi definida ajustando um modelo de regressão não linear logístico, pelo mé-

todo Levenberg-Marquardt, aos valores acumulados da concentração polínica atmosférica diária das Poaceae e das Urticaceae. Baseado neste modelo, definiu-se o início e fim da estação polínica, aplicando o teste *t* de Student, assim como o dia com máxima concentração polínica, ponto de inflexão da equação do modelo. Foi efectuada uma comparação entre este método de determinação da estação polínica e outros dois baseados em valores percentuais. **Resultados:** O modelo de emissão polínica apresentou aderência superior a 98% aos dados acumulados de pólen, verificando-se coerência entre o período de maior concentração polínica atmosférica diária observada e a estimada pelo modelo. A forma do modelo adaptou-se aos padrões interanuais da emissão. Verificou-se a tendência geral para a estimação mais tardia do início da estação polínica utilizando o modelo de emissão polínica, enquanto estações mais longas foram obtidas com os métodos percentuais. **Conclusão:** O modelo de emissão polínica permitiu determinar a estação polínica baseada em parâmetros mensuráveis, possibilitando a comparação interanual, a adaptação a diferentes padrões de emissão polínica e a identificação do período de maior concentração polínica atmosférica.

Palavras-chave: Aerobiologia, estação polínica, modelo de emissão polínica, pólen.

ABSTRACT

Introduction: Defining the main pollen season is important since allergic respiratory symptoms only appear when exposure reaches certain thresholds. Several methods have been proposed for determining the season, with longer pollen seasons usually obtained due to pollen recirculation and resuspension. This maintains the pollen airborne for longer periods, albeit in lower concentrations. **Aim:** Definition of a pollen emission model based on nonlinear regression analysis to determine the main Poaceae and Urticaceae pollen seasons. **Material and methods:** The aerobiological study was performed in Porto between 2003 and 2007, using a seven day Hirst-type volumetric spore trap. The Levenberg-Marquardt method was used to define the main pollen season, adjusting a nonlinear logistic regression model to the values of Poaceae and Urticaceae accumulated sum of daily airborne pollen concentration. Based on this model, the start and end dates of the main pollen seasons, using a Student *t*-test, and the day with maximum airborne pollen concentration corresponding to the model's equation inflexion point were determined. A comparison between this method and two others based on percentages was also performed. **Results:** There was an agreement of over 98% between the values of the accumulated sum of daily airborne pollen concentration and the estimated model, with correspondence seen between the predicted and observed higher atmospheric pollen concentration period. The model shape adapted well to the different pollen emission patterns. A general trend for a later start of the pollen seasons was observed with the pollen emission model while the percentage methods gave a longer duration of the main pollen seasons. **Conclusion:** The pollen emission model allowed the main pollen seasons to be defined based on measurable parameters, permitting yearly comparisons, adaptation to different pollen emission patterns and the identification of the highest airborne pollen concentration period.

Key-words: Aerobiology, pollen, pollen emission model, pollen season.

INTRODUÇÃO

Um dos objectivos da aerobiologia centra-se no estudo da dinâmica e concentração dos fluxos polínicos atmosféricos, na elaboração de calendários polínicos característicos para cada região e no desenvolvimento de modelos de previsão das datas de ocorrência e concentração diária do conteúdo polínico atmosférico.

O pólen é considerado um dos agentes com maior influência no desencadear da doença alérgica respiratória¹. No caso particular de Portugal, os grãos de pólen provenientes das plantas pertencentes à família das Poaceae e das Urticaceae são os principais causadores de polinose²⁻⁴ e os mais abundantes na atmosfera do Porto⁵, tornando-se importante a sua monitorização e a determinação da estação polínica (EP). A EP corresponde ao período onde se regista maior concentração polínica atmosférica de uma determinada espécie e que, normalmente, está associada à época de maior expressão sintomatológica⁴ e mais desestabilizadora do quotidiano dos doentes com alergias. Assim, a determinação exacta da EP é fundamental na orientação de doentes alérgicos, na prevenção de sintomas, na decisão terapêutica e na adequação dos hábitos diários dos doentes⁶⁻⁸.

Vários métodos têm sido propostos, diferindo consideravelmente entre si, para a determinação da EP^{6, 9-13}. Alguns baseiam-se em valores fixos percentuais, inferior e superior, da quantidade de pólen relativamente à quantidade total amostrado, entre as quais se encontra a EP; outros estabelecem valores-base inferior e superior a partir dos quais delimitam a EP¹⁴. A escolha do método a utilizar depende unicamente do critério dos autores do estudo.

Para o mesmo ano e espécie vegetal, dependendo do método utilizado, a EP correspondente apresenta datas de início, fim e duração distintas. Este facto é particularmente observado nas Poaceae e nas Urticaceae que possuem várias espécies com fenologia floral distinta e períodos de polinização distribuídos por um longo intervalo de tempo. Como resultado, podem ocorrer diferenças na quantifica-

INTRODUCTION

One facet of aerobiology is the study of the dynamics and concentration of airborne pollen movements, in order to allow the elaboration of pollen calendars particular to each region. Another is forecasting models of the airborne pollen seasons and daily counts. Pollen is an important trigger of allergic respiratory disease¹. In the case of Portugal in particular, Poaceae and Urticaceae plant pollen grains are the main causes of pollinosis²⁻⁴ and the most prevalent airborne pollens in Porto⁵. As such, it is vital to monitor and define their pollen season (PS). The PS is the period with the greatest airborne pollen concentration of a specific species and is usually the time of year when symptoms are common⁴, causing more disruption to allergy sufferers' lives. Thus, an exact delineation of the PS is crucial for allergic disease management, symptom prevention, treatment decisions and modification of patients' daily routines⁶⁻⁸.

Various different methods have been proposed for definition of the PS^{6, 9-13}. Some are based on fixed upper and lower percentages of the amount of pollen relative to the total sample, among which the PS is found, while others set lower and upper base values as a basis from which to delineate the PS¹⁴. The method used is up to the authors of a study.

The PS of a given year and species will have a different start, end and duration dates, depending on the evaluation method selected. This is seen especially in mapping Poaceae and Urticaceae, which have various species with distinct floral phenology and pollination periods occurring over long intervals. And so, there can be variations in the pollen count which can alter the aerobiology studies¹⁴. In addition, pollen dispersal is hugely affected by weather conditions. Rain, for instance, cleans the atmosphere, while wind aids long distance pollen transportation and favourable temperature and wind conditions boost recirculation. The PS duration can be skewed by low counts found at the start

ção polínica que, por conseguinte, poderão alterar as conclusões dos estudos aerobiológicos¹⁴. Também a dispersão do pólen é largamente afectada pelos factores meteorológicos, como por exemplo a precipitação, que facilita a lavagem da atmosfera, o vento, que potencia o transporte a longa distância, ou pela conjugação de regimes favoráveis de temperatura e vento, que facilitam a ocorrência de fenómenos de recirculação. Dependendo do método adoptado para a determinação da EP, a sua duração poderá ser enviesada devido à existência de baixas concentrações encontradas no início e no fim da época de amostragem¹². Nesta perspectiva, e face a esta variabilidade de condicionantes, torna-se necessário definir um método que reduza a subjectividade inerente à sua escolha, permita avaliar a influência das condições abióticas na dispersão polínica e possibilite a comparação entre diferentes regiões.

O objectivo deste estudo foi desenvolver um modelo de emissão polínica para quantificar e caracterizar a EP das Poaceae e das Urticaceae a partir de parâmetros estimados estatisticamente, possibilitando uma unificação metodológica. Para isso, foi efectuada uma comparação dos resultados obtidos entre o método desenvolvido neste estudo e outros dois critérios comumente utilizados baseados em valores percentuais (representando a soma acumulada de pólen entre 5 e 95% e entre 10 e 90% do total anual).

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem polínica atmosférica

A concentração polínica atmosférica de Poaceae e Urticaceae na área metropolitana do Porto foi determinada continuamente entre 1 de Janeiro de 2003 e 30 de Novembro de 2007, utilizando um captador volumétrico tipo Hirst (Lanzoni VPPS2000), situado no telhado do centro de informática da Universidade do Porto (41°11' N, 8°39' W; altura: 20 m). O captador está equipado com uma bomba de vácuo que faz uma aspiração de um fluxo de dez litros de ar por minuto. Os grãos de pólen ficam re-

and end of the collection period, depending on the definition method used¹². Accordingly, and in view of these variable conditions, a method with reduced inherent subjectivity, that allows the evaluation of the abiotic conditions on pollen dispersal and regional comparison is necessary.

Our aim was to define a pollen emission model to map out the Poaceae and Urticaceae PS using statistically estimated parameters, making a unified method possible. Accordingly, we compared results obtained by the method used in this study and those of two other commonly used methods, which are based on percentage values (the accumulated sum of pollen between 5-95% and 10-90% of the annual total).

MATERIAL AND METHODS

Airborne pollen sample

The Poaceae and Urticaceae pollen in the atmosphere of Porto were continuously determined, from 1 January 2003 to 30 November 2007, using a Hirst-type volumetric trap (Lanzoni VPPS2000) placed on the roof of the IT centre of the university of Porto (41°11' N, 8°39' W; height: 20 m). The trap's vacuum pump aspirated an airflow of ten litres per minute. The pollen grains were captured on a silicone coated Melinex[®] strip, which was changed weekly and then cut into 48mm strips, representing 24 hours of exposure, before staining with basic fuchsin and mounted on microscope slides. We used an optical microscope (x400) for the daily pollen mapping. Meteorological data (temperature, relative humidity, rainfall and wind speed) were gathered by the Geophysics Institute of the University of Porto (Serra do Pilar – 41°08' N, 8°36' W).

Pollen emission model (PEM)

In this study, a pollen emission model (PEM) to map the Poaceae and Urticaceae PS was defined. This model was based on that of Pathirane¹², which delineated the PS in graphical form using a Sigmoid curve for the accumulated fraction of the daily airborne pollen sample. This was

tidos numa fita de Melinex® previamente revestida por uma fina película de silicone. Estas fitas são substituídas semanalmente, cortadas em tiras de 48 mm, representando cada secção 24 horas de exposição, coradas com fucsina básica e montadas em lâminas de microscópio. A qualificação e quantificação polínica diária são determinadas recorrendo a um microscópio óptico (x400)

Os dados meteorológicos (temperatura, humidade relativa, precipitação e velocidade do vento) foram recolhidos pelo Instituto Geofísico da Universidade do Porto (Serra do Pilar – 41.°08' N, 8.°36' W).

Modelo de emissão polínica (MEP)

Neste trabalho foi definido um modelo de emissão polínica (MEP) para caracterizar a EP das Poaceae e das Urticaceae. Este modelo foi baseado no trabalho de Patherane¹², que delimitou graficamente a EP através de uma curva sigmóide de acumulação da fracção polínica diária amostrada, posteriormente adaptado por Cunha et al.¹⁵ na previsão de colheita da vinha.

O MEP foi calculado através do ajuste de um modelo de regressão não linear logístico (Quadro 1) aos valores acumulados da fracção polínica de Poaceae e Urticaceae observados ao longo do período de amostragem. Os parâmetros do modelo foram estimados pelo método Levenberg-Marquardt utilizando a função *regression non-linear* do software SPSS 15.0. Este método minimiza a soma dos quadrados médios de uma função não linear utilizando como método de procura do mínimo uma combinação entre o método Gauss-Newton e o método *steepest descent*.

Com base no MEP procedeu-se à definição do início (x_i) e do fim (x_f) da EP (Figura 1). Para isso, após o ajuste,

subsequentemente adaptado por Cunha et al.¹⁵ for estimating wine production.

The PEM was calculated adjusting a nonlinear logistic regression model (Table 1) to the accumulated Poaceae and Urticaceae pollen fraction values throughout the sample period. The model parameters were estimated using the Levenberg-Marquardt method, using the non-linear regression function of the SPSS 15.0 software. This method minimises the sum of mean squares of nonlinear functions, using a combination of the Gauss-Newton and steepest descent methods to find the minimum.

Based on the PEM, we firstly defined the start (x_i) and end (x_f) of the PS (Fig. 1). After adjusting, we used a unilateral Student's *t*-test with a 5% level of significance to determine the points where the daily differences between the estimated PEM and its upper ($d_{t[s]}^* = \hat{\alpha} - \hat{\gamma}_t$) and lower ($d_{t[i]}^* = 0 - \hat{\gamma}_t$) asymptotes were significant. This method allowed the PS to be delineated, with $d_{t[i]}$ corresponding to the start date and $d_{t[s]}$ to the period end date. The dates use the Julian calendar and the count begins on the first day of January.

The d_t^* differences calculated were a function of x , and determining when these differences attain significance depends on the initial value and the number of observations considered. The day with the heaviest pollen count was defined as the starting point and obtained using the first derivative of the model's equation corresponding to the inflexion point (PI.) = $[-\hat{\beta}/\hat{\gamma}; \hat{\alpha}/2]$ and separating the interval of exponential growth of airborne pollen concentration from the interval of descending growth of the region's pollen emission.

We compared the dates obtained for defining the PS via the PEM with two other criteria based on percentage values (representing the accumulated sum of pollen from 5-95% and from 10-90% of the annual total).

Quadro 1. Equação do modelo de emissão polínica

$$yt = \alpha[1 + \exp(-\beta - \gamma \cdot xt)]^{-1} + et; t = 1, \dots, n$$

yt – quantidade de pólen acumulado até ao dia xt ; α : distância entre as duas assíntotas; β – parâmetro de posição; γ – taxa; t – tempo; et – erro do modelo.

Table 1. Pollen emission model equation

$$yt = \alpha[1 + \exp(-\beta - \gamma \cdot xt)]^{-1} + et; t = 1, \dots, n$$

yt – sum of accumulated pollen until day xt ; α – distance between the two asymptotes; β – position parameters; γ – rate; t – time; et – model error.

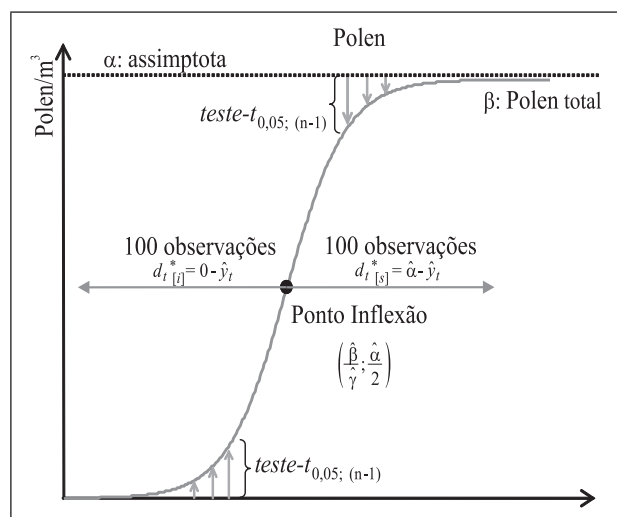


Figura 1. Modelo de emissão polínica

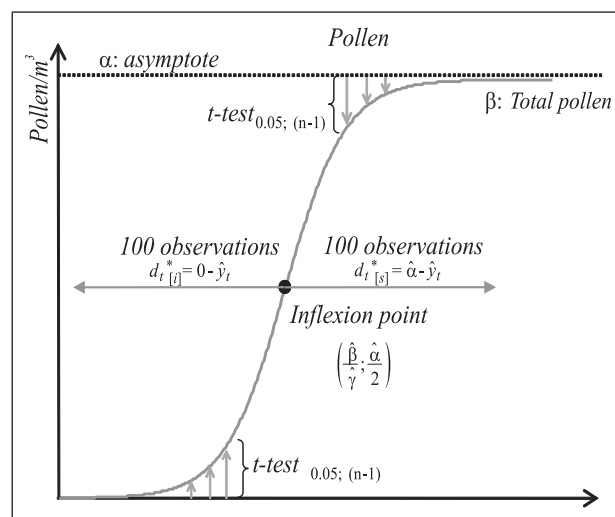


Figure 1. Pollen emission model

usou-se um teste *t* Student unilateral ao nível de significância de 5%, de modo a determinar os pontos onde as diferenças diárias entre o MEP estimado e a sua assíntota superior ($d_{t[s]}^* = \hat{\alpha} - \hat{\gamma}_t$) e inferior ($d_{t[i]}^* = 0 - \hat{\gamma}_t$) são significativas. Este método permitiu delimitar a EP, correspondendo $d_{t[i]}$ à data de início e $d_{t[s]}$ à data do fim deste período. As datas correspondem a dias do calendário juliano, iniciando-se a sua contagem a partir do dia 1 de Janeiro.

As diferenças d_t^* calculadas são uma função de x e a determinação dos pontos a partir dos quais estas diferenças passam a ser significativas dependem do valor inicial e do número de observações consideradas. O dia com máxima concentração de pólen foi definido como o ponto inicial e foi obtido através da primeira derivada da equação do modelo correspondente ao ponto de inflexão (PI) = $[-\frac{\hat{\beta}}{\hat{\gamma}}; \frac{\hat{\alpha}}{2}]$ e separa o intervalo de crescimento exponencial da concentração de pólen na atmosfera do intervalo de crescimento decrescente da emissão polínica da região.

Efectuámos uma comparação entre as datas obtidas para a definição da EP através do MEP e entre outros dois critérios baseados em valores percentuais (representando a soma acumulada de pólen entre 5 e 95% e entre 10 e 90% do total anual).

RESULTS

Table 2 shows the annual values of the PEM's estimated parameters for definition of the PS. It also shows the coefficient of determination R^2 and the period's characteristics, calculated according to the estimated parameters.

The PEM adjusted to the accumulated pollen data for every year and pollen type studied have a coefficient of determination R^2 , which was always above 0.98.

Each PEM estimated parameter has a biological significance: α is the total fraction of pollen monitored throughout the sample period, γ corresponds to the total pollen emission rate and D is the duration of the PS, calculated by the difference between the start date ($d_{t[i]}$) and the end date ($d_{t[s]}$), determined by the PEM. The equation coordinates of the model $[-\frac{\hat{\beta}}{\hat{\gamma}}; \frac{\hat{\alpha}}{2}]$ represent the inflexion point considered as the date of the pollen count peak and $\hat{\alpha}/D$ is the daily pollen emission rate.

The total amount of Urticaceae pollen collected was on average three times that of the total Poaceae collected. There were no major yearly variations in the total amount of pollen collected throughout the period, with the exception of 2007, when very high atmospheric levels of both pollen types were seen (mean 3 to 4 times higher than previous

RESULTADOS

Os valores anuais dos parâmetros estimados do MEP para a definição da EP, assim como o coeficiente de determinação (R^2) e todas as características deste período, calculadas com base nos parâmetros estimados, são apresentados no Quadro 2.

Os MEP ajustados aos dados acumulados de pólen para todos os anos e tipos polínicos estudados apresentaram coeficientes de determinação (R^2) sempre superiores a 0,98.

Cada parâmetro estimado do MEP tem um significado biológico: α indica a fracção total de pólen contabilizado ao longo do período de amostragem, γ corresponde à taxa de emissão total de pólen, D é a duração da EP, calculada pela diferença entre a data de início ($d_{(i)}$) e a data do fim ($d_{(f)}$), determinadas pelo MEP. As coordenadas da equação do modelo $[-\hat{\beta}/\hat{\gamma}; \hat{\alpha}/2]$ representam o ponto de inflexão considerado como a data do pico de concentração polínica e $\hat{\alpha}/D$ corresponde à taxa de emissão polínica diária.

A quantidade total de pólen amostrada de Urticaceae foi em média três vezes superior à quantidade amostrada de Poaceae. Com excepção do ano de 2007, onde se registaram na atmosfera níveis muito elevados de ambos os tipos de pólen (em média 3 a 4 vezes superiores aos anos anteriores), não se verificaram grandes variações interanuais da quantidade total de pólen amostrada durante o restante período. Os valores mínimos de quantidade polínica total amostrada foram observados em 2003 para as Poaceae e em 2006 para as Urticaceae. As datas mais precoces de início da EP para as Poaceae e Urticaceae foram observadas em 2004 e as mais tardias em 2007 (Poaceae) e em 2005 (Urticaceae). As datas mais precoces do fim da EP das Poaceae e das Urticaceae foram observadas em 2005 e as mais tardias em 2007. A duração média da EP ao longo destes anos foi de cerca de $8 \pm 1,5$ semanas para as Poaceae e de $14 \pm 5,0$ semanas para as Urticaceae.

As flutuações anuais do pólen amostrado, o MEP e as condições meteorológicas durante o período de amostragem para cada tipo polínico podem ser observados na Figura 2.

years). The minimum amount of total pollen collected was in 2003 for Poaceae and in 2006 for Urticaceae. The earliest start dates of the Poaceae and Urticaceae PS occurred in 2004 and the latest in 2007 (Poaceae) and 2005 (Urticaceae). The earliest end dates of the Poaceae and Urticaceae PS occurred in 2005 and the latest in 2007. The mean duration of the PS throughout the study was approximately 8 ± 1.5 weeks for Poaceae and 14 ± 5.0 weeks for Urticaceae.

Figure 2 shows the annual variations in the pollen collected, the PEM and the weather conditions during the sample period for both pollens.

There was agreement between the PEM's exponential interval and the time interval with the highest airborne count of each pollen type, confirming the successful adjustment of the model.

One result worth highlighting is the fact that the PEM adapts to the different yearly patterns of the PS. For example, there was a greater amount of Urticaceae in 2003 and 2004 and the exponential interval was slightly greater than in 2005 and 2006

Table 3 shows the results of the comparison of the three models tested to define the PS. The PEM showed a general trend towards Poaceae and Urticaceae with later PS start dates, while the percentage-based methods obtained longer PS, particularly the 5-95% method.

DISCUSSION

Statistically the PEM, estimated for each year and each pollen type studied, showed > 98% correspondence with the data. Together with the strong overlap between the PEM exponential interval and the heaviest airborne Poaceae and Urticaceae pollen concentration, these results demonstrate the model's ability to describe different yearly PS patterns in differing environmental conditions.

The PEM-determined PS can be characterised by the model's estimated parameters, which present a biological significance with the phenology of blooming (x_i, x_s, D e $[-\hat{\beta}/$

Quadro 2. Parâmetros estimados do modelo de emissão polínica

		Poaceae					Urticaceae				
		2003	2004	2005	2006	2007	2003	2004	2005	2006	2007
Parâmetros	α	496,0	591,5	500,0	519,1	1860,9	1418,6	1696,5	1542,4	1036,5	4794,5
	β	-7,50	-5,80	-9,30	-7,56	-10,17	-3,30	-2,50	-4,50	-4,31	-3,38
	γ	-0,04	-0,03	-0,06	-0,05	-0,06	-0,02	-0,02	-0,04	-0,04	-0,03
	R^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99
EP (dias Julianos)	x_i	141	131	140	133	151	80	49	82	81	78
	x_s	195	203	184	185	208	194	190	144	145	193
	D	54	72	44	52	57	114	141	62	64	115
	α/D	9,2	8,2	11,4	10,0	32,6	12,4	12,0	24,9	16,2	41,7
PI	x	168	167	162	159	184	137	119	113	113	134
	y	248	296	250	260	930	709	848	771	518	2397

R^2 – coeficiente de determinação; **EP** – estação polínica; x_i – data de início; x_s – data do fim; **D** – duração; **PI** – ponto de inflexão

Table 2. Pollen emission model estimated parameters

		Poaceae					Urticaceae				
		2003	2004	2005	2006	2007	2003	2004	2005	2006	2007
Parameters	α	496.0	591.5	500.0	519.1	1860.9	1418.6	1696.5	1542.4	1036.5	4794.5
	β	-7.50	-5.80	-9.30	-7.56	-10.17	-3.30	-2.50	-4.50	-4.31	-3.38
	γ	-0.04	-0.03	-0.06	-0.05	-0.06	-0.02	-0.02	-0.04	-0.04	-0.03
	R^2	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99
PS (Julian days)	x_i	141	131	140	133	151	80	49	82	81	78
	x_s	195	203	184	185	208	194	190	144	145	193
	D	54	72	44	52	57	114	141	62	64	115
	α/D	9.2	8.2	11.4	10.0	32.6	12.4	12.0	24.9	16.2	41.7
P.I.	x	168	167	162	159	184	137	119	113	113	134
	y	248	296	250	260	930	709	848	771	518	2397

R^2 – coefficient of determination; **PS** – pollen season; x_i – start date; x_s – end date; **D** – duration; **P.I.** – inflexion point

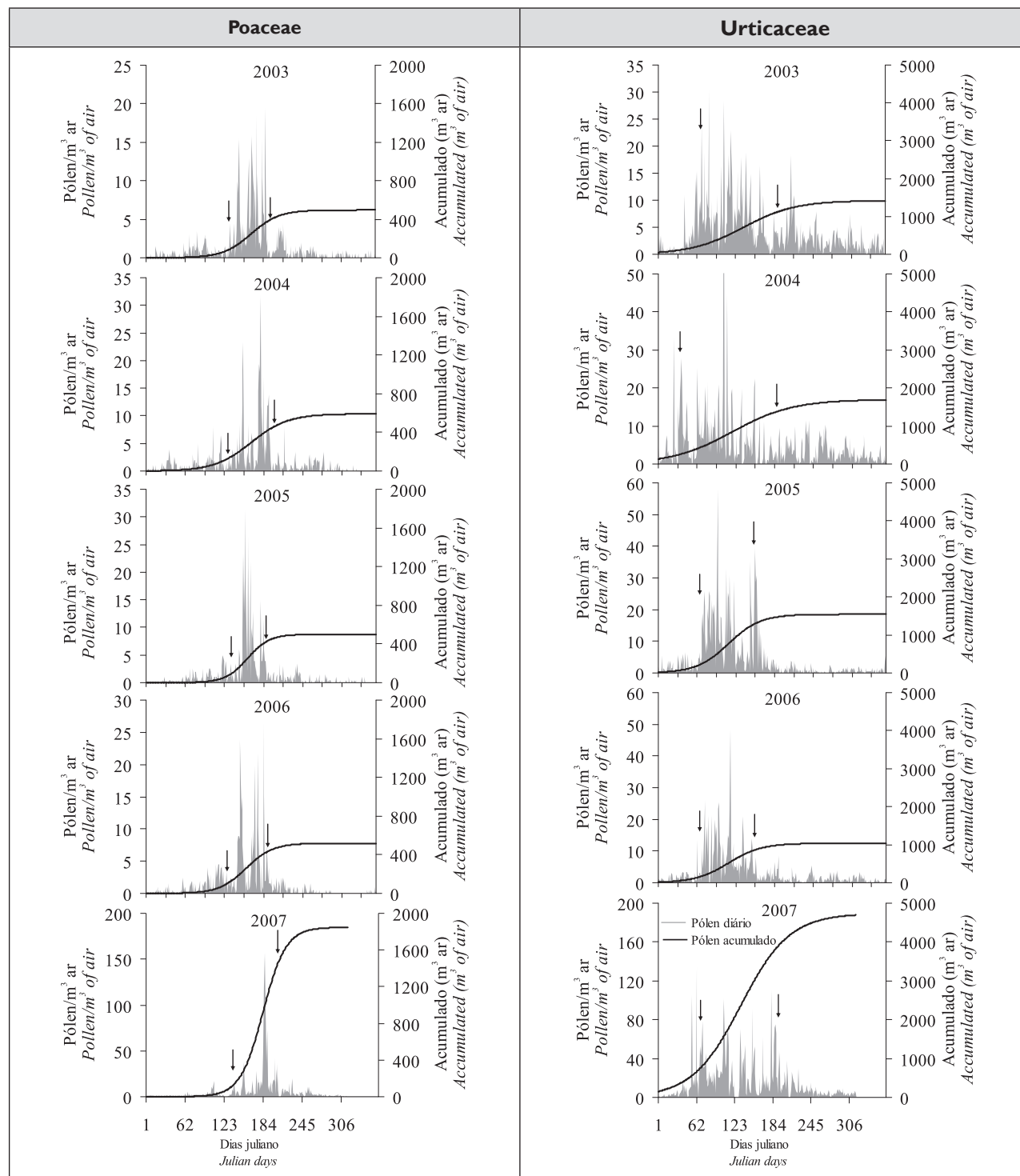


Figura 2. Variação diária da concentração polínica atmosférica (pólen/m³ de ar) e modelo de emissão polínica (acumulado por m³ de ar) nos 5 anos de estudo

Figure 2. Daily variation in airborne pollen count (pollen/m³ of air) and pollen emission model (accumulated per m³ of air) over the 5 years of the study

Verificou-se coerência entre o intervalo exponencial do MEP e o intervalo de tempo onde a concentração atmosférica de cada tipo polínico é mais elevada, confirmando assim o bom ajuste do modelo.

Um resultado a salientar é o facto de o MEP se adaptar aos diferentes padrões interanuais verificados na EP. Como exemplo, no caso das Urticaceae, salientam-se os anos de 2003 e 2004, observando-se que a zona exponencial se estendeu um pouco mais, comparativamente com a dos anos de 2005 e 2006.

Os resultados da comparação entre os três métodos testados para a determinação da EP estão apresentados no Quadro 3. Utilizando o MEP, a tendência observada, para ambos os tipos polínicos analisados, foi a ocorrência de datas de início da EP mais tardias. Com os métodos baseados em percentagens obtiveram-se EP mais longas, particularmente quando se utiliza o método 5-95%.

DISCUSSÃO

Estatisticamente, os MEP estimados para cada ano e tipo polínico estudados apresentaram uma aderência aos dados superior a 98%. Estes resultados, aliados a uma boa coincidência entre o intervalo exponencial do MEP e o período de maior concentração polínica atmosférica das Poaceae e das Urticaceae, evidenciam a capacidade explicatória do modelo para descrever diferentes padrões interanuais de EP em condições ambientais diversas.

A EP determinada pelo MEP pode ser caracterizada pelos parâmetros estimados do modelo, que apresentam um significado biológico relacionado com a fenologia da floração (x_i, x_s, D e $[-\hat{\beta}/\hat{\gamma}; \hat{\alpha}/2]$) e a intensidade polínica ($(\alpha, \gamma, \hat{\alpha}/D)$). Assim, esta metodologia para a determinação da EP apresenta vantagens relativamente aos métodos baseados em percentagens ou em valores predefinidos que só permitem a determinação das datas de início, do fim e duração da estação.

Outra vantagem do MEP, relativamente aos outros métodos, está na quantificação da emissão polínica diária. A concentração polínica atmosférica diária e anual de uma dada

$(\hat{\gamma}; \hat{\alpha}/2]$) and the intensity of the pollen ($(\alpha, \gamma, \hat{\alpha}/D)$). Thus, this method of defining the PS has several advantages over percentage-based methods or methods based on pre-defined values, since these only allow the start dates, end dates and season length to be determined.

A further advantage of the PEM over other methods is that the daily pollen emission can be quantified. A region's daily and annual airborne pollen count can be influenced by various factors, namely the type of spore-trap used, its placement, the height and regional phytodiversity. Therefore, direct quantitative comparisons between different sample collection points should not be made when there is no uniformity of these factors. However, dividing the α parameter (related to the total pollen collected as it equals the y coordinate of the upper asymptote of the model representing the value at which the total sum of pollen collected stabilises) by the duration of the PS (D) gives the quantification of the daily pollen emission that can be used as a means of comparison between the different collection points.

When we tested the percentage-based methods, a much more prolonged PS was found. When we used the 5-95% interval, a PS that was almost two months longer than the one obtained with the 10-90% interval was found. Different results are obtained depending on which percentage interval is considered. Further, the percentage interval chosen must agree with the plant species under study, since each has a distinct pollen emission pattern. Trees usually have a short pollen emission period concentrated over a few days, while herbaceous plants have a longer pollen emission period. The PEM overcame this obstacle and the model adapted to the yearly variations seen in the PS, broadening or shortening its exponential interval according to the emission pattern.

Although the species in our study mainly blossom in the spring and summer months, we found their airborne pollen all year round. This could be related with recirculation or resuspension caused by a combination of thermal conditions, lack of rainfall and wind. Thus, using percentage-based methods, 90 or 95% of the cumulative total amount of pollen will be attained

Quadro 3. Comparação entre as datas de início (x_i), fim (x_s) e duração (D) da estação polínica das Poaceae e das Urticaceae determinadas através do modelo de emissão polínica (MEP) e por dois métodos baseados em valores percentuais (5-95% e 10-90%)

	x_i (dias)			x_s (dias)			D (dias)		
	MEP	5-95%	10-90%	MEP	5-95%	10-90%	MEP	5-95%	10-90%
Poaceae	141	75	96	195	259	219	54	184	123
	131	47	85	203	268	237	72	221	152
	140	80	112	184	242	214	44	162	102
	133	84	104	185	218	195	52	134	91
	151	104	136	208	255	230	57	151	94
Média	139	78	107	195	248	219	56	170	112
Urticaceae	80	58	68	194	311	282	114	253	214
	49	29	38	190	312	281	141	283	243
	82	44	72	144	235	175	62	191	103
	81	47	71	145	288	245	64	241	174
	78	55	62	193	253	221	115	198	159
Média	74	47	62	173	280	241	99	233	179

Table 3. Comparison of the start dates (x_i), end dates (x_s) and duration (D) of the Poaceae and Urticaceae pollen season determined using a pollen emission model (PEM) and two percentage-based methods (5-95% and 10-90%)

	x_i (days)			x_s (days)			D (days)		
	PEM	5-95%	10-90%	PEM	5-95%	10-90%	PEM	5-95%	10-90%
Poaceae	141	75	96	195	259	219	54	184	123
	131	47	85	203	268	237	72	221	152
	140	80	112	184	242	214	44	162	102
	133	84	104	185	218	195	52	134	91
	151	104	136	208	255	230	57	151	94
Mean	139	78	107	195	248	219	56	170	112
Urticaceae	80	58	68	194	311	282	114	253	214
	49	29	38	190	312	281	141	283	243
	82	44	72	144	235	175	62	191	103
	81	47	71	145	288	245	64	241	174
	78	55	62	193	253	221	115	198	159
Mean	74	47	62	173	280	241	99	233	179

região pode ser influenciada por vários factores, nomeadamente o tipo de aparelho de amostragem utilizado, tendo em consideração o local e a altura a que se encontra, e a fitodiversidade regional. Assim, será incorrecto efectuar comparações quantitativas directas entre diferentes locais de amostragem, quando não se verifica uniformidade nestes factores. No entanto, dividindo o parâmetro α (relacionado com o total de pólen amostrado porque corresponde à coordenada y da assíntota superior do modelo que representa o valor para o qual a fracção total de pólen amostrado se estabiliza) pela duração da EP (D) obtém-se a quantificação da emissão polínica diária, que pode ser utilizada como medida comparativa entre diferentes locais de amostragem.

Quando ensaiamos os métodos baseados em percentagens, verifica-se um alongamento da EP e quando se considerou o intervalo 5-95% obtiveram-se EP quase dois meses mais longas, comparativamente com o intervalo 10-90%. Dependendo do intervalo percentual considerado, os resultados serão obrigatoriamente diferentes. Adicionalmente, a selecção do intervalo percentual deverá estar de acordo com a espécie vegetal que se pretende estudar, uma vez que o padrão de emissão polínica é distinto. Geralmente, as árvores apresentam um período de emissão polínica curto e concentrado em poucos dias e as herbáceas apresentam um período de emissão polínica mais longo. Esta limitação foi ultrapassada com a utilização do MEP, visto se ter verificado que o modelo se adaptou às variações interanuais verificadas na EP, alongando ou encurtando o seu intervalo exponencial, de acordo com o padrão de emissão.

Embora a floração das espécies abordadas neste estudo ocorra principalmente durante os meses de Primavera-Verão, verificou-se a presença do seu pólen na atmosfera ao longo de todo o ano. Este facto poderá estar relacionado com fenómenos de recirculação ou ressuspensão devido à conjugação de condições térmicas, ausência de precipitação e ocorrência de vento. Consequentemente, utilizando os métodos baseados em percentagem, 90% ou 95% do valor total anual acumulado de pólen será apenas atingido quase ao fim de um ano (Quadro 3); no entanto, o período de maior concentração polínica ocorreu alguns meses antes.

ned only at the end of the year (Table 3), despite the heaviest pollen count period having occurred some months before.

The length of the PS calculated using the PEM was on average shorter than that calculated by percentage-based methods. However, as the graphs in Figure 2 show, the PS calculated using the PEM corresponds to the highest airborne pollen concentration period. Since allergic manifestations are mainly related with the intensity of the pollen season, pollen peaks and total allergen load during these periods¹, and pollen dispersal is affected by the climate conditions of the region under study^{16,17}, we can infer that the PEM allows the definition of a PS which corresponds to the period with the greatest manifestation of allergic symptoms.

CONCLUSION

The proposed methodology enabled the PS to be defined, based on statistical analysis, by estimation of a pollen emission model. While complex to calculate, this model allowed the characterisation of the PS by means of measurable parameters, permitting: i) yearly comparisons of the parameters; ii) adaptation to different pollen emission patterns and iii) minimisation of the pollen counted during the PS resulting from recirculation, long distance transportation or resuspension. The pollen emission model also allowed the identification and limits of the period with the highest airborne pollen concentration. This period is normally associated with the greatest intensity of clinical symptoms.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partly funded by the Fundação Calouste Gulbenkian (ref: 77161). Meteorological data was kindly supplied by Prof. Doutor Manuel Barros of the Geophysics Institute of Porto University.

Correspondence to:

Ilda Abreu

e-mail: inoronha@ibmc.up.pt

A duração da EP calculada através do MEP foi em média mais curta do que a calculada pelos métodos baseados em percentagens. No entanto, como comprovado pelos exemplos gráficos da Figura 2, verificou-se que a EP calculada através do MEP corresponde ao período de maior concentração polínica atmosférica. Tendo em conta que as manifestações alérgicas estão relacionadas principalmente com a intensidade do período polínico, picos de polinização e carga alérgica total durante esses períodos¹ e que a dispersão do pólen é influenciada pelas condições climáticas da região de amostragem^{16,17}, podemos inferir que o MEP possibilita delimitar a EP correspondente ao período de maior expressão sintomatológica alérgica.

CONCLUSÃO

A metodologia proposta permitiu a determinação da estação polínica (EP) baseada numa análise estatística, pela estimação de um modelo de emissão polínica. Este modelo, apesar de apresentar maior complexidade no seu cálculo, permitiu caracterizar a EP através de parâmetros mensuráveis possibilitando: i) a comparação interanual dos seus parâmetros; ii) a adaptação a padrões de emissão polínica distintos; iii) a minimização da fracção polínica contabilizada durante a EP resultante de fenómenos de recirculação, do transporte a longa distância ou de ressuspensão. O modelo de emissão polínica estimado permitiu ainda a identificação e limitação do período de maior concentração polínica atmosférica que, normalmente, está associado a um período de maior expressão sintomatológica.

AGRADECIMENTOS

Trabalho parcialmente financiado pela Fundação Calouste Gulbenkian (ref: 77161). Os dados meteorológicos foram gentilmente cedidos pelo Prof. Doutor Manuel Barros, do Instituto Geofísico da Universidade do Porto.

Contacto:

Ilda Abreu

e-mail: inoronha@ibmc.up.pt

REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. Nunes C, Ladeira S. Polinose, meteorologia e prevenção primária na rinoconjuntivite sazonal. *Rev Port Imunoalergologia* 2007;15:321-38.
2. Caeiro E, Brandão R, Carmo S, Lopes L, Morais de Almeida M, Gaspar A, et al. Rede Portuguesa de Aerobiologia: Resultados da monitorização do pólen atmosférico (2002-2006). *Rev Port Imunoalergologia* 2007;15:235-50.
3. Diamantino C, Caeiro E, Martins L, Almeida F, Lopes L. Sensibilização aos pólenes em crianças com idade inferior a 8 anos. *Rev Port Imunoalergologia* 2006;14:245-9.
4. Todo-Bom A, Brandão R, Nunes C, Caeiro E, Leitão T, Oliveira J, et al. Allergic airborne pollen in Portugal 2002-2004. *Rev Port Imunoalergologia* 2006;14:41-9.
5. Abreu I, Ribeiro H. Allergic pollen in the city of Porto (Portugal). *Allergy* 2005;60:1452-3.
6. Giorato M, Lorenzoni F, Bordin A, De Biasi G, Gemignani C, Schiappoli M, et al. Airborne allergenic pollens in Padua: 1991-1996. *Aerobiologia* 2000;16:453-4.
7. Gioulekas D, Balafoutis C, Damialis A, Papakosta D, Gioulekas G, Patakas D. Fifteen years' of record of airborne allergenic pollen and meteorological parameters in Thessaloniki, Greece. *Int J Biometeorol* 2004;48:128-36.
8. D'Amato G, Spiekma FT, Liccardi G, Jäger S, Russo M, Kontou-Fili K, et al. Pollen-related allergy in Europe. *Allergy* 1998;53:567-78.
9. Galán C, Emberlin J, Domínguez E, Bryant RH, Villamandos FA comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana* 1995;34:189-98.
10. Jäger S, Nilsson S, Berggren B, Pessi AM, Helander M, Ramfjord H. Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980-1993. A comparison between Stockholm, Trondheim, Turku and Vienna. *Grana* 1996;35:171-8.
11. Nilsson S, Persson S. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden) 1973-1980. *Grana* 1981;20:179-82.
12. Pathirane L. Graphical determination of the main pollen season. *Pollen Spores* 1975;17:609-10.
13. Orlandi F, Romano B, Fornaciari M. Effective pollination period estimation in olive (*Olea europaea* L.): a pollen monitoring application. *Sci Hort* 2005;105:313-8.
14. Jato V, Rodríguez-Rajo FJ, Alcázar P, De Nuntiis P, Galán C, Mandrioli P. May the definition of pollen season influence aerobiological results? *Aerobiologia* 2006;22:13-25.
15. Cunha M, Abreu I, Pinto P, Castro R. Airborne Pollen Samples for Early-Season Estimates of Wine Production in a Mediterranean Climate of Northern Portugal. *Am J Enol Viti* 2003;54:189-94.
16. Weryszko-Chmielewska E, Puc M, Piotrowska K. Effect of meteorological factors on *Betula*, *Fraxinus* and *Quercus* pollen concentrations in the atmosphere of Lublin and Szczecin. *Ann Agric Environ Med* 2006;13:243-9.
17. García-Mozo H, Galán C, Jato V, Belmonte J, Guardia CD, Fernández D, et al. *Quercus* pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Ann Agric Environ Med* 2006;13:209-24.