Những mô hình phân bố đường kính và chiều cao của rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới ở khu vực Tân Phú thuộc tỉnh Đồng Nai

Nguyễn Văn Thêm[1], Lê Hồng Việt[2*], Nguyễn Văn Quý[2], Ngô Thị Thu Thủy[2]
[1]*Hội Khoa học Kỹ thuật Lâm nghiệp TP. HCM*
[2]*Trường Đại học Lâm nghiệp – Phân hiệu Đồng Nai*

Diameter and height distribution models of tropical evergreen semi-moist closed forests in Tan Phu area of Dong Nai province

Nguyen Van Them[1], Le Hong Viet[2*], Nguyen Van Quy[2], Ngo Thi Thu Thuy[2]
[1]*Forestry Science and Technology Association of Ho Chi Minh City*
[2]*Vietnam National University of Forestry – Dongnai Campus*
[*]*Corresponding author: hongvietdhln@gmail.com*

https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.1.2026.080-088

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 15/09/2025
Ngày phản biện: 21/10/2025
Ngày quyết định đăng: 18/11/2025

Từ khóa:
Cấu trúc rừng, hàm phân bố chiều cao, hàm phân bố xác suất tích lũy, mật độ xác suất, phân bố đường kính.

Keywords:
Cumulative probability disribution function, diameter disribution, forest structure, height disribution, probability density function.

TÓM TẮT

Xây dựng các hàm phù hợp để ước lượng nhanh số cây (N, cây/ha) trong các cấp đường kính (N/D) và cấp chiều cao (N/H) của rừng tự nhiên nhiệt đới là nhiệm vụ quan trọng của lâm học và điều tra rừng. Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm phù hợp để ước lượng phân bố N/D và phân bố N/H của rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới ở 5 trạng thái khác nhau. Số liệu nghiên cứu bao gồm 25 ô tiêu chuẩn với diện tích 2000 m^2; trong đó mỗi trạng thái rừng là 5 ô tiêu chuẩn. Để chọn hàm phân bố mô tả tốt phân bố N/D và phân bố N/H của rừng Climax và rừng bị suy thoái, nghiên cứu này đã làm phù hợp 8 hàm phân bố với phân bố N/D thực nghiệm và 4 hàm phân bố với phân bố N/H thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy phân bố N/D và phân bố N/H của rừng Climax và rừng bị suy thoái không phù hợp với một hàm phân bố duy nhất nào. Hàm phân bố Gompertz-Verhust (1825) mô tả tốt phân bố N/D của rừng Climax và trạng thái rừng IIIA2A-2. Trái lại, hàm phân bố mũ nghịch đảo, hàm phân bố mũ tổng quát và hàm phân bố mũ biến đổi mô tả tốt tương ứng phân bố N/D của trạng thái rừng IIIA3A, IIIA2A-1 và IIIA1A. Hàm phân bố Richards (1980) mô tả tốt phân bố N/H của rừng Climax. Trái lại, hàm phân bố Gompertz-Verhust (1825) mô tả tốt phân bố N/H của 4 trạng thái rừng bị suy thoái.

ABSTRACT

Constructing appropriate functions to quickly estimate the number of trees (N, trees/ha) in diameter classes (N/D) and height classes (N/H) of tropical natural forests was an important task of silviculture and forest inventory. The objective of this study was to develop suitable functions to estimate the number of trees in diameter and height classes of tropical semi-moist evergreen closed forests in 5 different states. The study data includes 25 standard plots with an area of 2000 m^2, in which each forest state has 5 standard plots. To select a distribution function that best describes the N/D distribution and N/H distribution of Climax forests and degraded forests, this study fitted 8 distribution functions to experimental N/D distributions and 4 distribution functions to experimental N/H distributions. The results showed that the N/D distribution and N/H distribution of Climax forests and degraded forests do not fit a single distribution function. The Gompertz-Verhust's distribution function describes well the N/H distribution of Climax forests and forest state IIIA2A-2. In contrast, the inverse exponential distribution function, the generalized exponential distribution function and

the transformed exponential distribution function describe well the N/H distribution of forest states IIIA3A, IIIA2A-1 and IIIA1A, respectively. The Richards's distribution function describes well the N/H distribution of Climax forests. In contrast, the Gompertz-Verhust's distribution function describes well the N/H distribution of the four degraded forest states.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới (Rkn) là hệ sinh thái rừng đặc sắc ở khu vực Đông Nam Bộ [1]. Kiểu rừng này đóng vai trò quan trọng về khoa học, kinh tế và môi trường. Để thống kê tài nguyên rừng và xây dựng các phương thức lâm sinh đối với kiểu rừng này, lâm học và điều tra rừng cần phải xác định các đặc tính của chúng; trong đó kết cấu loài cây gỗ và cấu trúc của rừng được quan tâm nhiều nhất [2, 3]. Khi nghiên cứu về cấu trúc rừng, các nhà lâm học và điều tra rừng quan tâm đến phân bố số cây (N, cây/ha) theo các cấp đường kính (N/D) và các cấp chiều cao (N/H) của quần thụ.

Phân bố N/D của rừng tự nhiên nhiệt đới giảm dần từ cấp D nhỏ đến cấp D lớn, còn phân bố N/H có dạng một đỉnh hoặc nhiều đỉnh. Theo quy luật này, phân bố N/D của rừng tự nhiên nhiệt đới có thể được mô tả bằng hàm phân bố lũy thừa âm (Negative power distributions), hàm phân bố mũ âm (Negative exponential distributions) [4] và hàm phân bố mũ tổng quát (Generalized exponential distributions) [5]. Phân bố N/H được mô tả bằng hàm phân bố Weibull 2 tham số [6, 7]. Sau khi mô tả phân bố N/D của rừng tự nhiên nhiệt đới ở Brasil bằng 10 hàm khác nhau, De Lima [8] nhận thấy phân bố N/D thay đổi tùy theo loài cây gỗ và kiểu rừng.

Kiểu Rkn ở khu vực Tân Phú thuộc tỉnh Đồng Nai đã bị khai thác chọn vào thập niên 1980. Khi nghiên cứu cấu trúc của kiểu Rkn này, một số tác giả [9-12] chỉ làm phù hợp phân bố N/D và phân bố N/H của các quần thụ tương ứng với hàm phân bố mũ biến đổi và hàm phân bố Richards (1980). Theo lí thuyết thống kê toán học, để chọn được hàm mô tả tốt phân bố N/D và phân bố N/H của các kiểu rừng tự nhiên nhiệt đới, trình tự xử lí số liệu bắt đầu từ chọn và kiểm định nhiều hàm dự tuyển khác nhau. Sau đó phân tích sai lệch của các hàm dự tuyển và chọn hàm phù hợp. Mục đích của phân tích hồi quy là tìm hàm mô tả phân bố N/D và N/H với sai lệch nhỏ nhất. Theo mục đích này, hàm dự tuyển phù hợp nhất được chọn theo tiêu chuẩn "Tổng sai lệch bình phương nhỏ nhất = SSE" hoặc "Sai số ước lượng nhỏ nhất = SEE). Xuất phát từ đó, mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng các hàm phù hợp để ước lượng phân bố N/D và phân bố N/H của rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới ở những trạng thái khác nhau. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp các hàm phù hợp để ước lượng phân bố N/D và phân bố N/H của các quần thụ trong kiểu Rkn ở khu vực Tân Phú thuộc tỉnh Đồng Nai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và vị trí nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là phân bố N/D và phân bố N/H của kiểu Rkn ở trạng thái cao đỉnh (Climax) và 4 trạng thái bị suy thoái. Địa điểm nghiên cứu được đặt tại Ban quản lý rừng phòng hộ Tân Phú thuộc tỉnh Đồng Nai. Tọa độ địa lý: $11^0$02'32" - $11^0$19'00" độ vĩ Bắc, $107^0$20'73" - $107^0$27'30" kinh độ Đông.

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Kiểu Rkn ở khu vực nghiên cứu được phân chia thành 5 trạng thái theo hệ thống phân chia các trạng thái của rừng gỗ tự nhiên ở Việt Nam [13]. Phân bố N/D và N/H của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái được thu thập từ tài liệu gốc của Lê Hồng Việt (2025) [12]. Phân bố N/D và phân bố N/H của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái được xác định từ 25 ô tiêu chuẩn tạm thời (OTC) với kích thước 2.000 m^2; trong đó mỗi trạng thái rừng là 5 OTC. Bảng 1 và 2 dẫn phân bố N/D và phân bố N/H thực nghiệm của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái.

Bảng 1. Phân bố N/D thực nghiệm của rừng Climax và rừng bị suy thoái

Cấp D (cm)	Phân bố số cây (N, cây/ha) theo cấp D của 5 trạng thái rừng				
	Climax	IIIA3A	IIIA2A-1	IIIA2A-2	IIIA1A
≤10	179	421	222	420	143
16	126	196	128	158	62
22	90	104	86	85	20
28	87	61	61	37	19
34	53	40	39	23	21
40	39	29	26	6	8
46	25	15	22	6	6
52	16	16	15	6	1
58	12	9	9	-	-
64	10	11	2	-	-
70	10	-	-	-	-
≥76	8	-	-	-	-
Tổng số	**655**	**902**	**610**	**741**	**280**

Nguồn: [12]

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Phân bố N/D thực nghiệm (Bảng 1) của rừng Climax và rừng bị suy thoái được làm phù với 8 hàm dự tuyển (Bảng 3). Phân bố N/H thực nghiệm (Bảng 2) được làm phù với 4 hàm dự tuyển (Bảng 4). Ở hàm 1÷6, tham số a là số cây ở cấp D_{Min}; tham số b là tốc độ giảm số cây theo cấp D và cấp H; c là tham số hình dạng của đường cong phân bố N/D và phân bố N/H. Ở hàm 7÷10, $F_{(D)}$ và $F_{(H)}$ tương ứng là hàm phân bố xác suất tích lũy số cây theo cấp D và cấp H; tham số b là tốc độ gia tăng $F_{(D)}$ và $F_{(H)}$, c là tham số hình dạng của đường cong phân bố $F_{(D)}$ và $F_{(H}$. Ở hàm 11, q là tham số vị trí; p là tham số tỷ lệ; r là tham số hình dạng. Ở hàm 12, a là tham số vị trí, b là tham số tỉ lệ, c là tham số hình dạng. Các tham số của các 12 hàm này được xác định theo phương pháp hồi quy và tương quan phi tuyến tính. Để dễ dàng so sánh mức độ phù hợp của hàm 7 và 8 với các hàm 1÷6, số cây ở cấp D_i (N_i, cây/ha) được tính theo công thức 13; trong đó N (cây/ha) là tổng số cây ở các cấp D, i là cấp D thứ i. Mức độ phù hợp của 12 hàm này so với phân bố N/D vàN/H thực nghiệm được đánh giá theo hệ số xác định (R^2; công thức 14); tổng bình phương sai lệch (SSE; công thức 15); sai số ước lượng (SEE; công thức 17), sai số tuyệt đối trung bình (MAE; công thức 18), sai số tuyệt đối trung bình theo phần trăm (MAPE; công thức 19), sai số trung bình (ME; công thức 20) và sai số trung bình theo phần trăm (MPE; công thức 21). Ở công thức 15÷21, Y_i và Y_J tương ứng là số cây thực tế và số cây ước lượng; Y_{Bq} là số cây thực tế bình quân; n là số cấp D và cấp H; p là số tham số của hàm dự tuyển.

Bảng 2. Phân bố N/H thực nghiệm của rừng Climax và rừng bị suy thoái

Cấp H (m)	Phân bố số cây (N, cây/ha) theo cấp H của 5 trạng thái rừng				
	Climax	IIIA3A	IIIA2A-1	IIIA2A-2	IIIA1A
≤8	75	155	100	67	22
12	104	462	250	413	116
16	216	104	106	207	82
20	118	101	80	40	42
24	86	44	49	8	12
28	48	36	25	6	6
≥32	8	-	-	-	-
Tổng số	**655**	**902**	**610**	**741**	**280**

Nguồn: [12]

Bảng 3. Các hàm dự tuyển để ước lượng phân bố N/D

Dạng hàm	Hàm phân bố	Hàm
$N = a \times D^{-b}$	Lũy thừa (Power)	(1)
$N = a \times \exp(-b \times D)$	Mũ (Exponent)	(2)
$N = a \times \exp(-b \times D) + K$	Mũ biến đổi	(3)
$N = a \times \exp(b \times D^{-c})$	Mũ luật lũy thừa	(4)
$N = a \times D^{-b} \times \exp(-c \times D)$	Mũ tổng quát	(5)
$N \times \frac{(a \times b)\exp(-bD)}{1 - \exp(-b \times D)}$	Mũ nghịch đảo	(6)
$F_{(D)} = (1 - \exp(-b \times D))^c$	Gompertz-Verhulst (1825-1826)	(7)
$F_{(D)} = (1 - \exp(-b \times D^c))$	Weibull 2 tham số	(8)

Nguồn: [4-8, 14]

Bảng 4. Các hàm dự tuyển để ước lượng phân bố N/H

Dạng hàm	Hàm phân bố	Hàm
$F_{(H)} = (1 - \exp(-b \times H))^c$	Gompertz-Verhulst (1825-1826)	(9)
$F_{(H)} = (1 - \exp(-b \times H^c))$	Weibull 2 tham số	(10)
$F_{(H)} = 1 + \exp(-(H - q)/p))^{-r}$	Richards (1980)	(11)
$F_{(H)} = 1 - (1 + (H/a)^b)^{-c}$	Burr (1942)	(12)

Nguồn: [4-8, 14]

$$N_i \text{ (cây/ha)} = N \times [F_D(i+1) - F_D(i-1)] \quad (13)$$

$$R^2 = (1 - \frac{SSE}{SST})100 \quad (14)$$

$$SSE = \Sigma^n_{i=1}(Y_i - Y_J)^2 \quad (15)$$

$$SST = \Sigma^n_{i=1}(Y_i - Y_{Bq})^2 \quad (16)$$

$$SEE = \sqrt{SSE/(n-p)} \quad (17)$$

$$MAE = (1/n)\ \Sigma^n_{i=}\frac{|Y_J - Y_i|}{Y_i} \quad (18)$$

$$MAPE = (1/n)\ \Sigma^n_{i=}\frac{|Y_J - Y_i|}{Y_i}100 \quad (19)$$

$$ME = Y_i - Y_J \quad (20)$$

$$MPE = (1/n)\Sigma^n_{i=}\frac{Y_J - Y_i}{Y_i}100 \quad (21)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hàm ước lượng phân bố N/D của Rkn ở 5 trạng thái khác nhau

3.*1.1. Hàm ước lượng phân bố N/D của trạng thái rừng Climax*

Hệ số xác định (R^2) và các sai lệch của 8 hàm ước lượng phân bố N/D đối với trạng thái rừng Climax được dẫn ra ở Bảng 5. Ở Bảng 5, hàm 3 được đề xuất bởi Lê Hồng Việt (2025) [12]. Số liệu ở Bảng 5 cho thấy 8 hàm này đều tồn tại; trong đó hệ số xác định cao nhất ở hàm 7 (R^2 = 99,1%), thấp nhất ở hàm 1 (R^2 = 93,6%). Hai thống kê sai lệch nhận giá trị thấp nhất ở hàm 7 (SSE = 309; SEE = ±5,6), cao nhất ở hàm 4 (SSE = 2.720; SEE = ±17,4). Các hàm 1÷6 nhận sai số hệ thống âm (ME < 0), còn hàm 7 và 8 nhận sai số hệ thống dương. Sai số trung bình theo phần trăm (MAPE) nhận giá trị thấp nhất ở hàm 8 (12,5%), cao nhất ở hàm 4 (69,0%). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min}, hạng 1 và 2 tương ứng là hàm 7 và 8, còn hạng 8 là hàm 4. Từ những phân tích sai lệch trên đây cho thấy, hàm 7 (Hàm Gompertz-Verhust) là hàm phù hợp để ước lượng phân bố N/D của trạng thái rừng Climax. Mô hình toán học có dạng như Hàm 22.

$$F_{D(Climax)} = (1 - \exp(-0{,}065398D))^{1{,}78485} \quad (22)$$

Bảng 5. Sai lệch của các hàm ước lượng phân bố N/D của trạng thái rừng Climax

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(1)	93,6	2.144	14,6	12,0	59,0	-2,5	-48,4	7
(2)	98,9	377	6,1	3,9	13,3	-0,3	-3,6	5
(3)	98,9	371	6,4	3,9	14,0	-0,001	-0,04	3
(4)	91,9	2.720	17,4	13,7	69,0	-2,9	-57,2	8
(5)	98,9	377	6,4	3,9	13,2	-0,2	-3,1	5
(6)	95,1	1.629	12,7	9,9	40,3	-0,7	-29,3	6
(7)	99,1	309	5,6	3,4	13,5	0,0001	-0,9	1
(8)	99,0	344	8,3	4,3	12,5	0,0001	1,5	2

3.1.2. Hàm ước lượng phân bố N/D của 4 trạng thái rừng bị suy thoái

Phân tích các sai lệch của 8 hàm ước lượng phân bố N/D (Bảng 6÷9) cho thấy hàm 6 (Hàm mũ nghịch đảo) là hàm phù hợp (SSE_{Min}) để ước lượng phân bố N/D của trạng thái rừng IIIA3A. Hàm 5 (Hàm mũ tổng quát) là hàm phù hợp (SSE_{Min}) để ước lượng phân bố N/D của trạng thái rừng IIIA2A(1). Hàm 7 (Hàm Gompertz-Verhust) là hàm phù hợp (SSE_{Min}) để ước lượng phân bố N/D của trạng thái rừng IIIA2A(2). Hàm 3 (Hàm mũ biến đổi) là hàm phù hợp (SSE_{Min}) để ước lượng phân bố N/D của trạng thái rừng IIIA1A. Mô hình toán học của 4 hàm phân bố N/D đối với 4 trạng thái rừng bị suy thoái có dạng như Hàm 23÷26.

Bảng 6. Sai lệch của các hàm ước lượng phân bố N/D của trạng thái IIIA3A

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(1)	99,6	561	8,9	6,9	26,9	-2,6	-24,4	4
(2)	99,3	950	11,6	9,5	34,5	5,2	31,9	6
(3)	99,8	231	5,9	4,3	17,7	0,001	-8,3	2
(4)	99,1	1.368	15,1	10,9	44,1	-4,1	-40,0	8
(5)	99,8	258	6,5	4,7	18,3	2,3	16,6	3
(6)	99,9	149	4,6	3,6	14,2	1,4	12,2	1
(7)	99,4	866	11,1	6,7	13,3	0,0001	3,2	5
(8)	99,3	1.121	12,7	7,5	15,2	0,0001	3,8	7

Bảng 7. Sai lệch của các hàm ước lượng phân bố N/D của trạng thái IIIA2A-1

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(1)	98,7	489	8,3	7,1	26,0	-1,7	-19,8	7
(2)	99,3	281	6,3	4,9	15,1	1,6	12,3	6
(3)	99,7	244	4,3	2,8	7,6	0,0001	-2,4	5
(4)	97,9	804	11,5	9,0	33,5	-2,2	-26,1	8
(5)	99,9	32	2,3	1,5	3,7	-0,1	-0,9	1
(6)	99,7	106	3,8	3,2	10,0	-0,4	-6,4	2
(7)	99,6	171	4,9	3,1	54,5	0,0001	-37,0	3
(8)	99,6	190	5,2	4,0	43,2	0,0001	-25,3	4

Bảng 8. Sai lệch của các hàm ước lượng phân bố N/D của trạng thái IIIA2A-2

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(1)	99,6	554	6,6	7,6	65,7	-3,0	-61,3	6
(2)	99,5	609	10,1	7,3	30,2	3,1	27,6	7
(3)	99,7	443	9,1	6,0	31,8	0,0003	-19,9	5
(4)	99,3	923	13,5	9,7	85,6	-3,5	-80,1	8
(5)	99,7	385	8,8	5,7	24,8	2,0	17,4	4
(6)	99,8	244	6,4	4,5	22,4	1,1	9,4	3
(7)	99,9	50	3,2	2,1	17,2	0,0001	-1,3	1
(8)	99,8	88	4,2	2,9	20,9	0,0001	1,7	2

Bảng 9. Sai lệch của các hàm ước lượng phân bố N/D của trạng thái IIIA1A

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(1)	98,5	223	6,1	3,9	70,8	-0,3	-57,6	2
(2)	97,5	400	8,2	5,5	42,4	2,6	29,9	8
(3)	98,5	181	6,8	4,1	99,5	-0,001	-81,0	1
(4)	98,4	247	7,0	4,4	90,3	-0,5	-78,1	4
(5)	98,5	241	6,9	3,8	43,3	0,6	-17,1	3
(6)	98,1	300	7,1	4,3	34,2	1,3	6,6	5
(7)	97,7	357	8,5	5,1	84,6	0,0001	-59,9	6
(8)	97,6	369	8,6	5,2	80,0	0,0001	-55,7	7

$$N_{IIIA3A}\ (\text{cây/ha}) = \frac{(494{,}1445\exp(-0{,}077932D))}{1 - \exp(-0{,}077932D)} \quad (23)$$

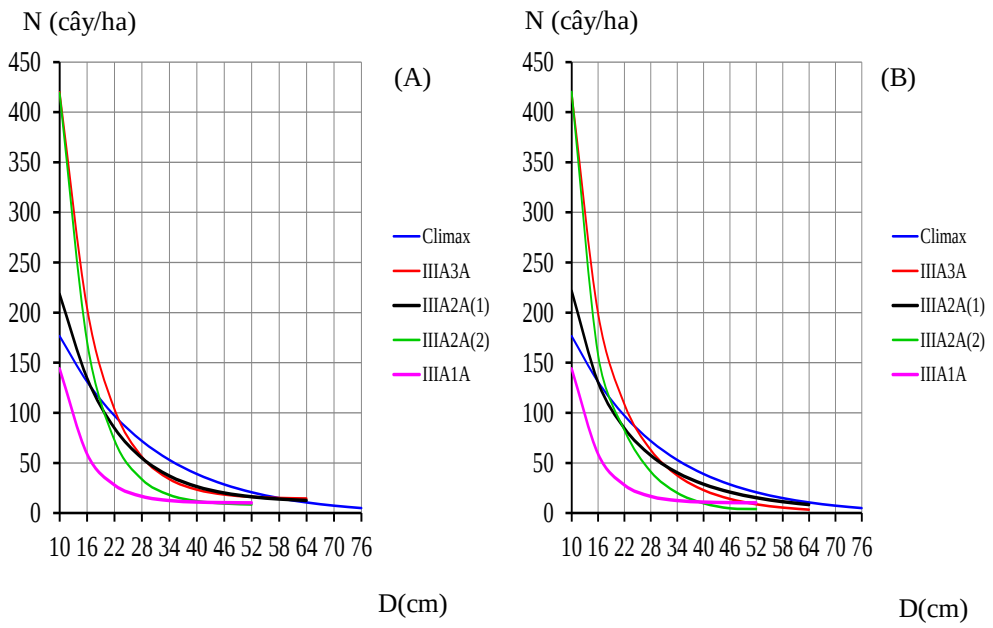
$$N_{IIIA2A\text{-}1}\ (\text{cây/ha}) = 1390{,}05D^{-0{,}628466}\exp(-0{,}0389658D) \quad (24)$$

$$F_{DIIIA2A\text{-}2} = (1 - \exp(-0{,}122058D))^{1{,}62223} \quad (25)$$

$$N_{IIIA1A}\ (\text{cây/ha}) = 718{,}36\exp(-0{,}168D) + 10{,}1 \quad (26)$$

3.1.3. Thảo luận về hàm ước lượng phân bố N/D của 5 trạng thái rừng khác nhau

Phân bố N/D của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái đều có dạng phân bố giảm theo hình chũ "J" ngược từ cấp D nhỏ đến cấp D lớn. Lê Hồng Việt (2025) [12] đã mô tả phân bố N/D của các trạng thái rừng này bằng hàm phân bố mũ biến đổi. Để xác định hàm phù hợp nhất, nghiên cứu này đã làm phù hợp 8 hàm dự tuyển khác nhau (Bảng 3) với phân bố N/D thực nghiệm của các trạng thái rừng này. Kết quả nghiên cứu cho thấy không có một hàm phân bố duy nhất nào mô tả tốt nhất phân bố N/D của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái. Nhận định này phù hợp với nghiên cứu của De Lima (2015) [8]. Điều đó chứng tỏ hình dạng của đường cong phân bố N/D của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái là khác nhau. Phân bố mũ biến đổi chỉ mô tả tốt phân bố N/D của trạng thái rừng IIIA1A. Sau khi so sánh sai lệch của 8 hàm phân bố này với phân bố N/D thực nghiệm, theo tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min}, nghiên cứu này đã chọn được 5 hàm phù hợp để ước lượng số cây trong các cấp D của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái (Hàm 22÷26). Nói chung, hàm Gompertz-Verhust (1825) mô tả tốt phân bố N/D của rừng Climax và trạng thái rừng IIIA2A(2). Trái lại, phân bố N/D của 3 trạng thái rừng IIIA3A, IIIA2A(1) và III1A1A được mô tả tốt tương ứng bằng hàm phân bố mũ nghịch đảo, hàm phân bố mũ tổng quát và hàm phân bố mũ biến đổi. So với số liệu của nghiên cứu này, sai lệch về số cây ước lương theo các hàm của Lê Hồng Việt (2025) [12] lớn hơn từ 1,2 lần đối với rừng Climax đến 8,9 lần đối với trạng thái IIIA2A(2). Sự khác biệt giữa hai phương pháp này được biểu diễn ở Hình 1.



Hình 1. Phân bố N/D của rừng Climax và rừng bị suy thoái
(A) Ước lượng theo hàm của Lê Hồng Việt và cộng sự (2025)
(B) Ước lượng theo hàm của nghiên cứu này

Kết quả nghiên cứu cho thấy rừng Climax chỉ có khoảng 27,0% số cây ở cấp D ≤ 10 cm, 60,0% số cây ở cấp D = 16÷40 cm và 13,0% số cây ở cấp D > 60 cm. Trái lại, rừng bị suy thoái mạnh (IIIA2A2) và rừng bị suy thoái rất mạnh (IIIA1A) có khoảng 50,0% số cây ở cấp D ≤ 10 cm, 42,0% số cây ở cấp D = 16÷40 cm và 8,0% số cây ở cấp D > 60 cm. Sở dĩ các rừng bị suy thoái có nhiều cây ở cấp D ≤ 10 cm là vì chúng được phục hồi lại thông qua tái sinh tự nhiên sau khi khai thác chọn.

3.2. Hàm ước lượng phân bố N/H của Rkn ở 5 trạng thái khác nhau

3.2.1. Hàm ước lượng phân bố N/H của trạng thái rừng Climax

Hệ số xác định (R^2) và các sai lệch của 4 hàm ước lượng phân bố N/H của trạng thái rừng Climax được dẫn ra ở Bảng 10. Hàm 11 được đề xuất bởi Lê Hồng Việt (2025) [12]. Phân tích số liệu ở Bảng 7 cho thấy 4 hàm này đều tồn tại; trong đó hệ số R^2 cao nhất ở hàm 11 (99,7%), thấp nhất ở hàm 10 (98,1%). Hai thống kê sai lệch nhận giá trị thấp nhất ở hàm 11 (SSE = 0,002; SEE = ±0,023), cao nhất ở hàm 10 (SSE = 0,014; SEE = ±0,053). Hàm 10 nhận sai số hệ thống âm (ME < 0), còn các hàm khác nhận sai số hệ thống dương. Sai số trung bình theo phần trăm (MAPE) nhận giá trị thấp nhất ở hàm 11 (1,1%), cao nhất ở hàm 10 (13,1%). Theo tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min}, hạng 1 và 2 tương ứng là hàm 11 và 12, còn hạng 4 là hàm 10. Những phân tích trên đây cho thấy hàm 11 (Hàm Richards, 1980) là hàm phù hợp để ước lượng phân bố F_H của trạng thái rừng Climax. Mô hình toán học có dạng như Hàm 27.

$$F_{H(Climax)}\ (1 + \exp(-(H - 12{,}85)/3{,}85))^{-1{,}5} \quad (27)$$

Bảng 10. Sai lệch của 4 hàm ước lượng phân bố N/H của trạng thái rừng Climax

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(9)	99,2	0,0058	0,0342	0,0244	9,8	0,0115	5,9	3
(10)	98,1	0,0140	0,0529	0,0389	13,1	-0,0002	-8,4	4
(11)	99,7	0,0022	0,0234	0,0164	4,1	0,0024	0,9	1
(12)	99,6	0,0025	0,0251	0,0171	5,1	0,0022	1,3	2

3.2.2. Hàm ước lượng phân bố N/H của 4 trạng thái rừng bị suy thoái

Phân tích các sai lệch của 8 hàm ước lượng phân bố N/D (Bảng 11-14) cho thấy hàm 9 (Hàm Gompertz-Verhust) là hàm phù hợp (SSE_{Min}) để ước lượng phân bố F_H của trạng thái rừng IIIA3A. Hàm 9 (Hàm Gompertz-Verhust) là hàm phù hợp (SSE_{Min}) để ước lượng phân bố F_H của trạng thái rừng IIIA2A-1. Hàm 9 (Hàm Gompertz-Verhust) là hàm phù hợp (SSE_{Min}) để ước lượng phân bố F_H của trạng thái rừng IIIA2A-2. Hàm 9 (Hàm Gompertz-Verhust) là hàm phù hợp (SSE_{Min}) để ước lượng phân bố F_H của trạng thái rừng IIIA1A. Mô hình toán học của 4 hàm phân bố N/H đối với 4 trạng thái rừng bị suy thoái có dạng như Hàm 28-31.

Bảng 11. Sai lệch của 4 hàm ước lượng phân bố N/H của trạng thái IIIA3A

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(9)	99,8	0,0007	0,0130	0,0102	2,0	-0,0018	-0,8	1
(10)	94,8	0,0061	0,0390	0,0260	6,8	-0,0114	-4,2	3
(11)	96,2	0,0180	0,0774	0,0480	10,0	-0,0186	-5,8	4
(12)	99,2	0,0037	0,0351	0,0186	2,2	0,0044	0,4	2

Bảng 12. Sai lệch của 4 hàm ước lượng phân bố N/H của trạng thái IIIA2A-1

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(9)	99,1	0,0044	0,0333	0,0234	5,4	-0,0021	-2,2	1
(10)	97,8	0,0108	0,0519	0,0334	9,9	-0,0084	-5,6	4
(11)	98,8	0,0060	0,0447	0,0274	6,6	-0,0048	-3,0	2
(12)	98,4	0,0081	0,0447	0,0303	3,9	0,0088	0,7	3

Bảng 13. Sai lệch của các hàm ước lượng phân bố N/H của trạng thái IIIA2A-2

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(9)	99,9	0,0001	0,0039	0,0024	0,3	-0,0012	-0,1	1
(10)	96,9	0,0201	0,0709	0,0385	25,5	-0,0090	-21	4
(11)	99,1	0,0057	0,0437	0,0167	1,9	-0,0166	-1,7	2
(12)	98,6	0,0091	0,0500	0,0342	5,2	0,0126	1,9	3

Bảng 14. Sai lệch của các hàm ước lượng phân bố N/H của trạng thái IIIA1A

Hàm	R^2	SSE	±SEE	MAE	MAPE	ME	MPE	Hạng
(9)	99,9	0,0004	0,0104	0,0072	2,7	-0,0002	-1,6	1
(10)	98,3	0,0113	0,0530	0,0271	22,7	-0,0099	-19,9	4
(11)	99,8	0,0007	0,0153	0,0088	3,9	-0,0017	-2,7	2
(12)	99,8	0,0011	0,0191	0,0127	3,3	0,0024	-1,4	3

$$F_{H(IIIA3A)} = (1 - \exp(-0{,}27877H))^{13{,}7236} \quad (28)$$

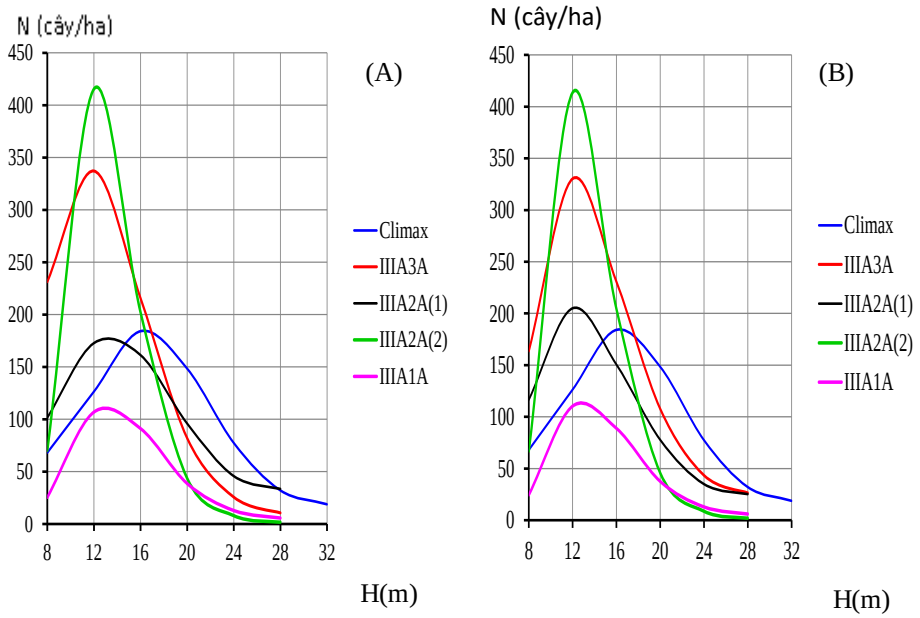
$$F_{H(IIIA2A1)} = (1 - \exp(-0{,}22371H))^{9{,}05312} \quad (29)$$

$$F_{H(IIIA2A2)} = (1 - \exp(-0{,}42515H))^{70{,}9606} \quad (30)$$

$$F_{H(IIIA1A)} = (1 - \exp(-0{,}29235H))^{24{,}0338} \quad (31)$$

3.2.3. Thảo luận về hàm ước lượng phân bố N/H của 5 trạng thái rừng khác nhau

Phân bố N/H của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái đều có dạng phân bố một đỉnh lệch trái. Lê Hồng Việt (2025) [12] đã sử dụng hàm phân bố Richards (1980) để mô tả phân bố N/H của các trạng thái rừng này. Để xác định hàm phù hợp nhất, nghiên cứu này đã làm phù hợp 4 hàm dự tuyển khác nhau (Bảng 4) với phân bố N/H thực nghiệm của 5 trạng thái rừng này.



Hình 2. Phân bố N/H của rừng Climax và rừng bị suy thoái

(A) Ước lượng theo hàm của Lê Hồng Việt và cộng sự (2025)

(B) Ước lượng theo hàm của nghiên cứu này

Kết quả nghiên cứu cho thấy không có một hàm phân bố duy nhất nào mô tả tốt nhất phân bố N/H của 5 trạng thái rừng này. Điều đó chứng tỏ hình dạng của đường cong phân bố N/H của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái là khác nhau. Sau khi so sánh sai lệch của 4 hàm dự tuyển với phân bố N/H thực nghiệm, theo tiêu chuẩn SSE_{Min} và SEE_{Min}, nghiên cứu này đã chọn được 5 hàm phù hợp để ước lượng số cây trong các cấp H của rừng Climax và 4 trạng thái rừng bị suy thoái (Hàm 27-31). So với số liệu của nghiên cứu này, sai lệch về số cây ước lương theo các hàm của Lê Hồng Việt (2025) [12] lớn hơn từ 1,4 lần đối với trạng thái IIIA2A-1 đến 94,6 lần đối với trang thái IIIA2A-2. Sự khác biệt giữa hai phương pháp này được biểu diễn ở Hình 2.

4. KẾT LUẬN

Cấu trúc của rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới ở khu vực Tân Phú thuộc tỉnh Đồng Nai thay đổi tùy theo trạng thái rừng. Đường cong phân bố N/D của rừng Climax và rừng bị suy thoái đều có dạng hình chữ "J" ngược. Phân bố N/H có dạng một đỉnh lệch trái. Để chọn hàm phân bố mô tả tốt phân bố N/D và phân bố N/H của rừng Climax và rừng bị suy thoái, nghiên cứu này đã làm phù hợp 8 hàm phân bố với phân bố N/D thực nghiệm và 4 hàm phân bố với phân bố N/H thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy phân bố N/D và phân bố N/H của rừng Climax và rừng bị suy thoái không phù hợp với một hàm phân bố duy nhất nào. Hàm phân bố Gompertz-Verhust (1825) mô tả tốt phân bố N/D của rừng Climax và trạng thái rừng IIIA2A-2. Trái lại, hàm phân bố mũ nghịch đảo, hàm phân bố mũ tổng quát và hàm phân bố mũ biến đổi mô tả tốt tương ứng phân bố N/D của trạng thái rừng IIIA3A, IIIA2A-1 và IIIA1A. Hàm phân bố Richards (1980) mô tả tốt phân bố N/H của rừng Climax. Trái lại, hàm phân bố Gompertz-Verhust (1825) mô tả tốt phân bố N/H của 4 trạng thái rừng bị suy thoái. Nhóm tác giả kiến nghị Ban Quản lý rừng phòng hộ Tân Phú và những nơi có điều kiện tương tự có thể sử dụng các hàm 22 - 31 để ước lượng số cây trong các cấp D và cấp H của rừng Climax và rừng bị suy thoái.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Thái Văn Trừng (1998). Những hệ sinh thái rừng nhiệt đới ở Việt Nam. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.

[2]. J. P. Kimmins (1998). Forest ecology. Prentice-Hall, New Jersey.

[3]. Nguyễn Văn Thêm & Phạm Minh Toại (2024). Sinh thái rừng. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[4]. Nguyễn Văn Trương (1983). Quy luật cấu trúc rừng gỗ hỗn loài. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[5]. Gupta, D Rameshwar & Debasis Kundu (1999). Theory & methods: Generalized exponential distributions. Australian New Zealand Journal of Statistics. 41(2): 173-188.

[6]. Y Lei (2008). Evaluation of three methods for estimating the Weibull distribution parameters of Chinese pine (Pinus tabulaeformis). Journal of Forest Science. 54(12): 566-571.

[7]. L. N Schmidt, M. N. I Sanquetta, J. P McTague, G. F da Silva, C. V Fraga Filho, C. R Sanquetta & J. R Soares Scolforo (2020). On the use of the Weibull distribution in modeling and describing diameter distributions of clonal eucalypt stands. Canadian Journal of Forest Research. 50(10): 1050-1063.

[8]. R. A. F de Lima, J. L. F Batista & P. I Prado (2015). Modeling tree diameter distributions in natural forests: an evaluation of 10 statistical models. Forest Science. 61(2): 320-327.

[9]. Đào Thị Thùy Dương (2019). Đặc điểm sinh thái tái sinh của Dầu con rái (Dipterocarpus alatus Roxb) dưới tán rừng kín thường xanh ẩm nhiệt đới ở khu vực Tân Phú thuộc tỉnh Đồng Nai. Luận án tiến sĩ lâm nghiệp. Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.

[10]. Lê Văn Long (2019). Đặc điểm lâm học của những loại hình quần xã thực vật thuộc kiểu rừng kín thường xanh ẩm nhiệt đới ở khu vực Tân Phú thuộc tỉnh Đồng Nai. Luận án tiến sĩ lâm nghiệp. Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.

[11]. Lê Hồng Việt (2021). Đặc điểm tái sinh tự nhiên của Sến mủ (Shorea roxburghii G.Don) dưới tán rừng kín thường xanh howi ẩm nhiệt đới ở khu vực Tân Phú, tỉnh Đồng Nai. Luận án tiến sĩ lâm nghiệp. Trường Đại học Lâm Nghiệp.

[12]. Lê Hồng Việt, Nguyễn Văn Thêm, Ngô Thị Thu Thủy & Nguyễn Văn Quý (2025). Kết cấu loài cây gỗ và cấu trúc của một số trạng thái rừng kín thường xanh hơi ẩm nhiệt đới ở khu vực Tân Phú thuộc tỉnh Đồng Nai. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. 14(4): 79-89. DOI: 10.55250/Jo.vnuf.14.4.2025.079-089

[13]. Nguyễn Văn Thêm (2023). Một số quan điểm và đề xuất phân loại các trạng thái của rừng gỗ tự nhiên tại Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp. 12(6): 046-055. DOI: 10.55250/jo.vnuf.12.5.2023.046-055

[14]. Nguyễn Văn Thêm, Đào Thị Thùy Dương, Trần Thị Ngoan & Nguyễn Xuân Hùng (2021). Những cách thức và phương pháp xử lí số liệu trong lâm học. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.