



# Ứng dụng dữ liệu LiDAR UAV đánh giá mối liên hệ giữa cấu trúc tán rừng và môi trường ánh sáng dưới tán rừng tại khu bảo tồn thiên nhiên Sơn Trà - Đà Nẵng

Lê Thị Kim Dung<sup>1\*</sup>, Lê Huy Nam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội  
<sup>2</sup>Công ty TNHH MTV Trắc địa Bản đồ/Cục Tác chiến/BTTM  
Email tác giả liên hệ: [kimdungnghe@gmail.com](mailto:kimdungnghe@gmail.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18186613>

## Tóm tắt:

Cấu trúc không gian ba chiều (3D) của rừng có vai trò quan trọng trong hình thành môi trường sống cho các loài, trong đó sự phân bố không đồng nhất của ánh sáng dưới tán là yếu tố quyết định, ảnh hưởng trực tiếp đến sự tái sinh và đa dạng sinh học. Tuy nhiên, các phương pháp đo đạc truyền thống như khảo sát thực địa hay chụp ảnh mặt đất gặp nhiều hạn chế về quy mô không gian và tính liên tục, gây khó khăn trong việc giám sát toàn diện hệ sinh thái rừng. Bài báo giới thiệu quy trình sử dụng dữ liệu LiDAR thu thập từ máy bay không người lái (UAV) để định lượng sự không đồng nhất của cấu trúc tán cây và mô hình hóa mối quan hệ giữa cấu trúc 3D với sự phân bố ánh sáng. Quy trình bao gồm việc thu thập dữ liệu đám mây điểm LiDAR mật độ cao, xử lý thành các mô hình số (DTM, DSM, CHM), tính toán mô hình chiều cao cây, độ che phủ tán rừng, áp dụng phương pháp thống kê đánh giá mối liên hệ giữa chiều cao tán cây, cấu trúc bề mặt tán cây đối với môi trường ánh sáng dưới tán. Bài báo này khẳng định giá trị của công nghệ UAV LiDAR như một công cụ hiệu quả để lập bản đồ cấu trúc rừng ở độ phân giải cao, mở ra nhiều ứng dụng trong quản lý rừng bền vững.

**Từ khóa:** LiDAR, UAV, Mô hình chiều cao tán cây (CHM), Độ che phủ tán rừng (FCC).

Ngày nhận bài: 22/10/2025 Ngày sửa lại: 10/11/2025 Ngày chấp nhận đăng: 11/11/2025 Ngày xuất bản: 31/12/2025

## Application of UAV LiDAR Data to Assess the Relationship Between Forest Canopy Structure and Understory Light Environment in the Son Tra Nature Reserve, Da Nang

Le Thi Kim Dung<sup>1\*</sup>, Leu Huy Nam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Natural Resources and Environment

<sup>2</sup>Survey and Aerial Mapping One Member Limited Liability Company/Department of Operations/General Staff  
Corresponding Author Email: [kimdungnghe@gmail.com](mailto:kimdungnghe@gmail.com)

## Abstract:

The three-dimensional (3D) structure of forest canopies plays a critical role in determining habitat conditions for living organisms, in which the heterogeneous distribution of understory light is a key factor directly influencing forest regeneration and biodiversity. However, conventional field surveys and ground-based imaging methods are limited in spatial coverage, posing challenges for comprehensive ecosystem monitoring. This study introduces a methodological framework utilizing LiDAR data acquired from unmanned aerial vehicles (UAVs) to quantify canopy structural heterogeneity and model the relationship between 3D canopy structure and light distribution. The workflow includes collecting high-density LiDAR point clouds, generating digital terrain, surface, and canopy height models (DTM, DSM, CHM), and calculating canopy height and canopy cover metrics. Statistical analyses are then conducted to evaluate the relationships between canopy height, canopy surface structure, and understory light conditions. The results demonstrate that UAV-based LiDAR is an effective tool for high-resolution forest structural mapping, providing valuable potential for applications in sustainable forest management.

**Keywords:** LiDAR, UAV, Canopy Height Model (CHM), Forest Canopy Cover (FCC).

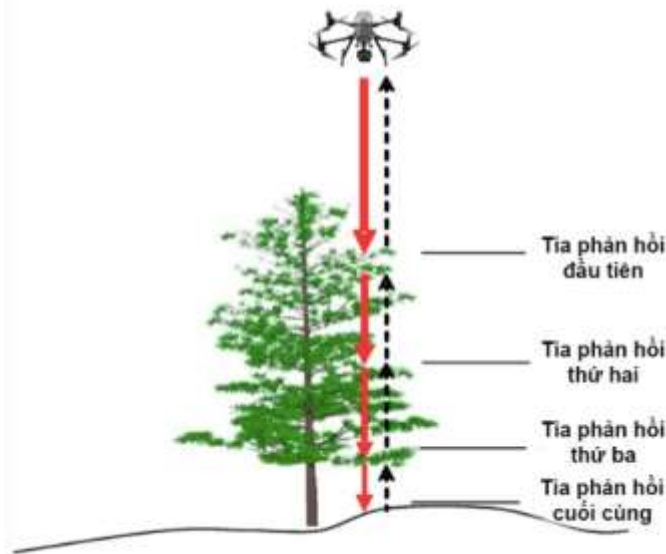
Submission received: 22/10/2025 Revised: 10/11/2025 Accepted: 11/11/2025 Published: 31/12/2025

## 1. Mở đầu

Rừng là một hệ sinh thái có cấu trúc không gian ba chiều (3D) phức tạp, được hình thành từ sự sắp xếp theo chiều đứng và chiều ngang của thân cây, cành lá và các khoảng trống trong tán. Cấu trúc này đóng vai trò chi phối quá trình sinh thái rừng, trong đó ánh sáng là nhân tố quan trọng trong cạnh tranh sinh thái giữa các loài [1]. Sự phân bố không đồng nhất của ánh sáng dưới tán được xem là một trong những cơ chế góp phần duy trì tính đa dạng loài và ổn định của hệ sinh thái rừng [1]. Do đó, việc định lượng đồng thời cấu trúc tán và môi trường ánh sáng dưới tán có ý nghĩa quan trọng trong nghiên cứu quá trình sinh thái và quản

lý rừng.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu khoa học việc mô tả chi tiết cấu trúc 3D và điều kiện ánh sáng dưới tán vẫn là thách thức lớn. Các phương pháp truyền thống như đo điều tra ngoài thực địa hoặc chụp ảnh bán cầu thường chỉ phản ánh thông tin tại một số điểm đại diện, khó mở rộng ra quy mô cảnh quan, đồng thời đòi hỏi nhiều thời gian và nhân lực, đặc biệt ở các khu vực rừng có địa hình dốc và tán dày [2,3]. Vì vậy, công nghệ quét laser hàng không (LiDAR) đã mở ra hướng tiếp cận hiệu quả để thu nhận thông tin cấu trúc rừng với độ chính xác cao. Khi tích hợp LiDAR trên hệ thống máy bay không người lái (UAV) ta có thể thu được dữ liệu đám mây điểm mật độ cao, có khả năng xuyên qua nhiều tầng tán, cho phép mô tả cấu trúc từ ngọn tán đến lớp thảm thực vật và mặt địa hình bên dưới [4-6]. Và quan trọng nhất, đó là UAV LiDAR cho phép triển khai linh hoạt, chi phí hợp lý và đặc biệt phù hợp với khu vực địa hình phức tạp [5,7].



Hình 1. Công nghệ thu nhận dữ liệu LiDAR hàng không

Các phương pháp tích hợp dữ liệu cấu trúc ba chiều (3D) từ LiDAR với mô hình ánh sáng đã được phát triển nhằm phân tích mối quan hệ giữa cấu trúc tán rừng và phân bố ánh sáng trong không gian. Một số nghiên cứu đã sử dụng mô hình chiều cao thảm thực vật kết hợp ảnh bán cầu để mô phỏng quá trình truyền sáng theo phương thẳng đứng trong rừng hỗn giao [3]. Dữ liệu UAV LiDAR cũng đã được áp dụng để xác định độ khép tán với độ chính xác cao và sai số thấp [4]. Đặc biệt, bộ công cụ FLApy cho phép đánh giá định lượng sự dị thể ánh sáng trong không gian 3D trực tiếp từ dữ liệu điểm LiDAR, hỗ trợ phân tích cơ chế tác động của cấu trúc tán rừng đến môi trường ánh sáng ở quy mô chi tiết [6].

Theo báo cáo bay quét tại Khu bảo tồn thiên nhiên Sơn Trà cho thấy công nghệ bay quét UAV LiDAR thành lập các mô hình 3D phù hợp với điều kiện rừng nhiệt đới núi đá và cho phép thu nhận cấu trúc tán cây với độ chi tiết cao [8]. Tuy nhiên, các nghiên cứu tích hợp dữ liệu UAV LiDAR để mô hình hóa và phân tích mối quan hệ giữa cấu trúc tán 3D và ánh sáng dưới tán trong rừng nhiệt đới ở Việt Nam hiện vẫn còn hạn chế, đặc biệt đối với các hệ sinh thái có tính phân tầng mạnh và biến động địa hình lớn.

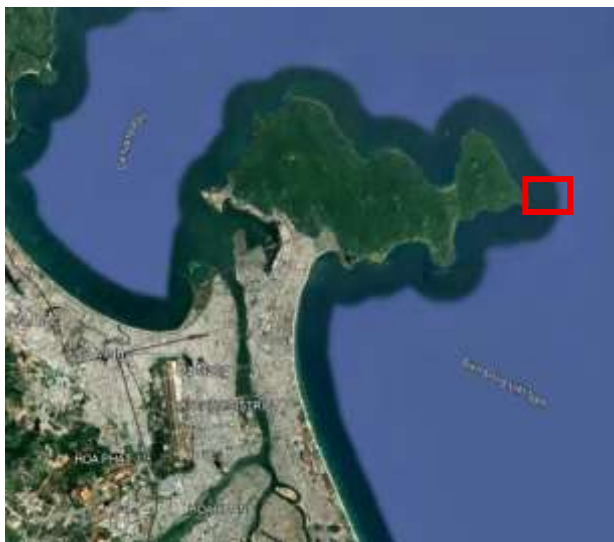
Trên cơ sở đó, bài báo này được thực hiện với mục tiêu: (1) Giới thiệu quy trình xử lý dữ liệu UAV LiDAR nhằm trích xuất các chỉ số mô tả sự không đồng nhất của cấu trúc tán rừng; và (2) Phân tích mối quan hệ không gian giữa cấu trúc tán 3D và sự phân bố ánh sáng dưới tán tại khu vực rừng nhiệt đới có đặc điểm địa hình phức tạp. Tính mới của nghiên cứu này nằm ở việc lần đầu tiên tích hợp UAV LiDAR với mô hình ánh sáng 3D tại rừng Việt Nam, đồng thời đề xuất bộ chỉ số cấu trúc - ánh sáng có khả năng ứng dụng trong giám sát

rừng, đánh giá sinh cảnh và hỗ trợ ra quyết định trong quản lý và bảo tồn.

## 2. Dữ liệu và Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

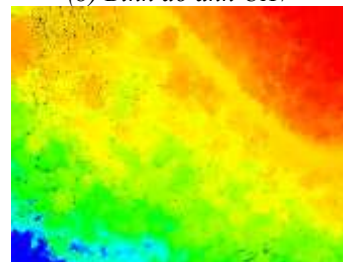
Khu bảo tồn thiên nhiên Sơn Trà nằm ở bán đảo Sơn Trà, thuộc địa phận quận Sơn Trà, thành phố Đà Nẵng. Nằm cách trung tâm thành phố khoảng 10 km về phía Đông Bắc, khu bảo tồn có diện tích khoảng 4.400 ha, bao gồm cả hệ thống rừng tự nhiên, đồi núi và đường bờ biển trải dài. Sơn Trà được ví như “lá phổi xanh” của Đà Nẵng, góp phần điều hòa khí hậu và bảo vệ môi trường đô thị. Đặc biệt, Sơn Trà sở hữu hệ sinh thái rừng nguyên sinh ven biển hiếm có, là nơi sinh sống của hơn 1.000 loài thực vật và gần 300 loài động vật, trong đó có Voọc chà vá chân nâu - loài linh trưởng quý hiếm được xem là biểu tượng của Đà Nẵng.



(a) Sơ đồ phạm vi trên Google Earth



(b) Bình đồ ảnh UAV



(c) Mô hình đám mây điểm

Hình 2. Phạm vi khu vực nghiên cứu

Thảm thực phủ trên bán đảo Sơn Trà với độ che phủ rừng tự nhiên đạt trên 60% mang đặc trưng của kiểu rừng nhiệt đới đa tầng bao gồm tầng cây cao từ 20–30 m với nhiều loài gỗ quý như Dầu, Kiền Kiền, Gõ, Chò Chỉ, cùng các tầng cây bụi, dây leo và thảm cỏ dưới tán rừng phát triển phong phú. Sự đa dạng về địa hình và vi khí hậu đã tạo điều kiện cho sự tồn tại của hàng trăm loài thực vật, trong đó có nhiều loài đặc hữu và quý hiếm.

### 2.2. Thu thập và xử lý dữ liệu

Dữ liệu LiDAR được thu thập vào tháng 7 năm 2023 bằng hệ thống LiDAR Zenmuse L1 tích hợp trên UAV DJI Matrice 300 RTK. Độ cao bay trung bình 130 mét so với mặt đất, tốc độ 8 m/s và độ phủ dọc và ngang là lớn hơn 70%, đảm bảo mật độ điểm trung bình đạt trên 50 điểm/m<sup>2</sup> [8].

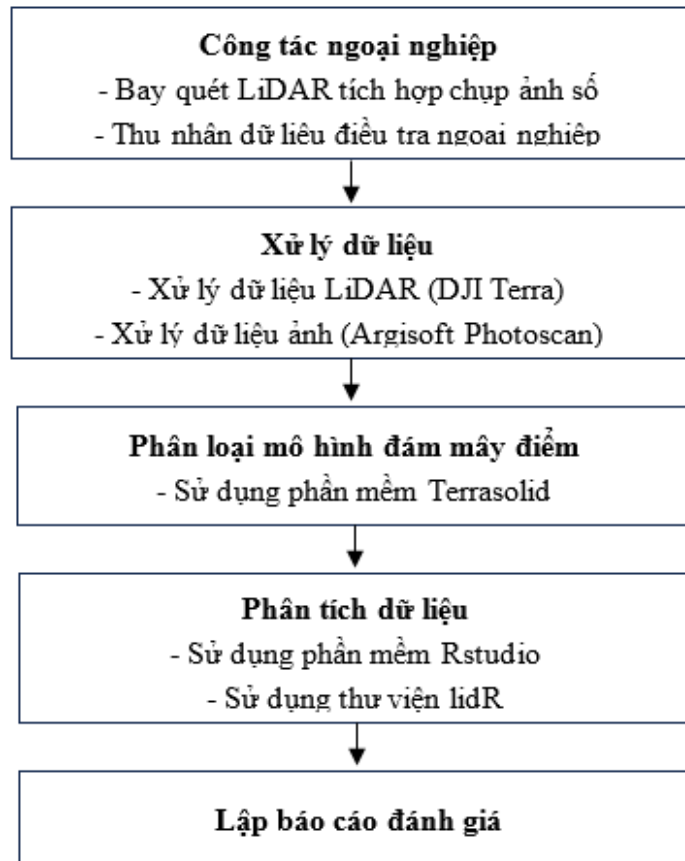
Kết quả xử lý dữ liệu UAV LiDAR:

TT	Nội dung	Độ chính xác	Ghi chú
1	Kết quả xử lý quỹ đạo bay	< 5cm	
2	Kết quả xử lý dữ liệu đám mây điểm (hơn 22 triệu điểm) và so sánh với điểm đo khống chế ngoại nghiệp	Độ cao: 5-10cm Mặt bằng: <5cm	

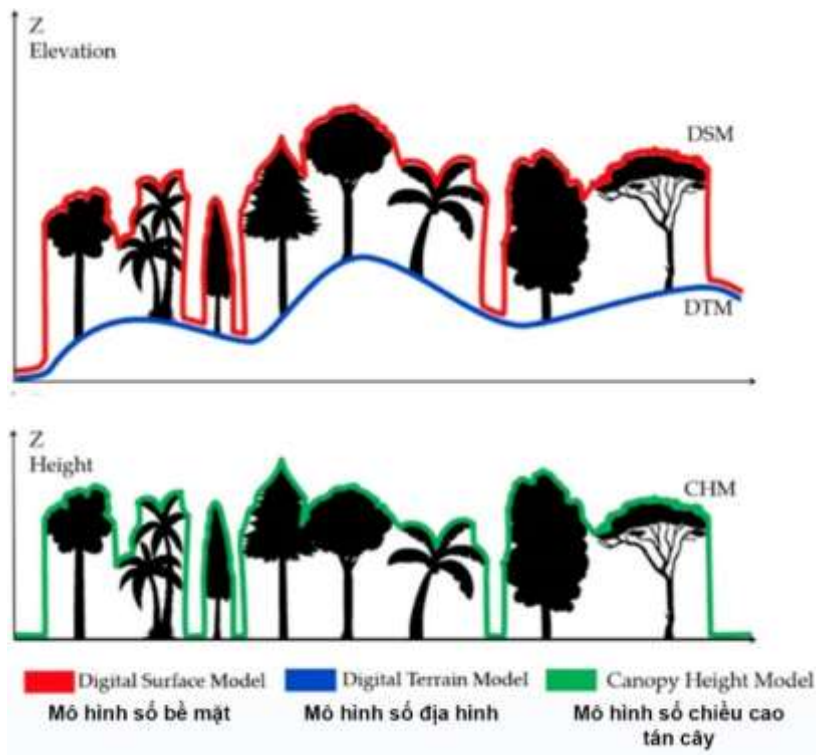
Dữ liệu đám mây điểm sau khi xử lý sẽ được lọc nhiễu để loại bỏ các điểm có sai số thô. Sau đó sẽ tiến hành phân loại tự động các điểm LiDAR thành hai lớp chính: điểm mặt đất và điểm không phải mặt đất bằng phần mềm Terrasolid phục vụ công tác phân tích đánh giá.

Từ các điểm đã được phân loại, thành lập 3 mô hình số độ cao: Mô hình số địa hình (DTM) được nội suy từ các điểm mặt đất. Mô hình số bề mặt (DSM) được nội suy từ các điểm phản xạ đầu tiên, thể hiện bề mặt bao gồm cả ngọn cây. Cuối cùng đó là mô hình chiều cao

tán cây (CHM) được tính bằng cách lấy mô hình DSM trừ đi mô hình DTM ( $CHM = DSM - DTM$ ) nhằm mục đích biểu diễn chiều cao thực của thảm thực vật so với mặt đất.



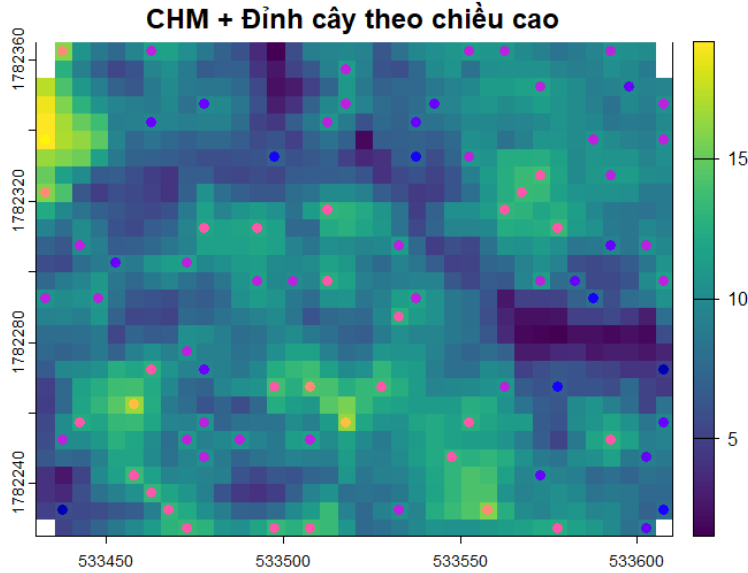
Hình 3. Quy trình xử lý dữ liệu bay quét LiDAR tích hợp chụp ảnh số



Hình 4. Các mô hình số sử dụng cho phân tích dữ liệu

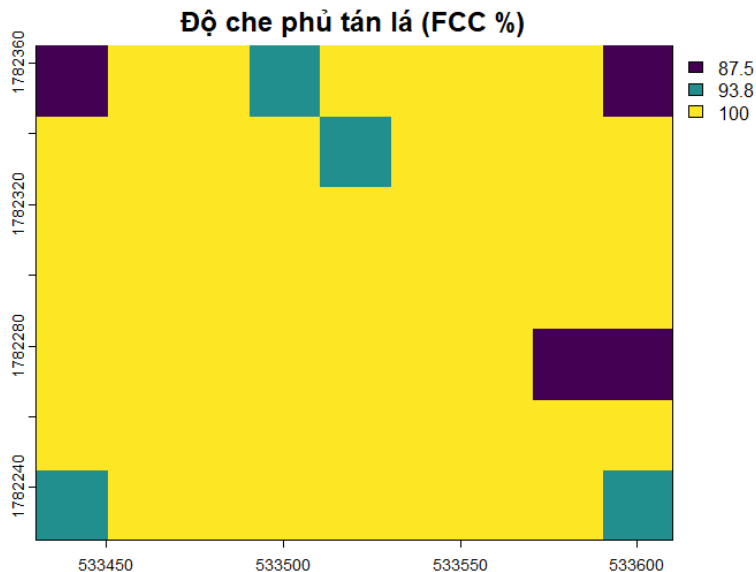
### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Từ đám mây điểm LiDAR đã được chuẩn hóa và mô hình chiều cao tán cây (CHM), bài báo sử dụng phần mềm RStudio cùng thư viện lidR để trích xuất các chỉ số cấu trúc 3D đặc trưng của rừng. Các chỉ số này được chia thành hai nhóm chính: (1) nhóm chỉ số cơ bản, gồm chiều cao tán cây trung bình và độ che phủ tán lá; (2) nhóm chỉ số phản ánh mức độ không đồng nhất, gồm độ lệch chuẩn chiều cao tán cây và các phần trăm chiều cao đặc trưng và được sử dụng làm biến giải thích trong mô hình mô tả mối tương quan giữa cấu trúc tán và điều kiện ánh sáng dưới tán



Hình 5. Mô hình chiều cao tán cây và đỉnh cây được phân loại

Từ mô hình CHM nhận thấy giá trị độ che phủ tán lá của khu vực nghiên cứu đạt 90,86%, phản ánh mức độ dày đặc của tán rừng theo phương ngang. Giá trị này cho thấy phần lớn diện tích bề mặt đất bị tán cây che phủ, làm giảm lượng ánh sáng truyền xuống tầng dưới và ảnh hưởng đến vi khí hậu rừng. Phân tích bản đồ độ che phủ tán lá (Forest Canopy Closure - FCC) cho thấy mức độ khép tán cao tập trung ở các sườn dốc và thung lũng, trong khi các khu vực sườn núi thoáng hoặc có cây thấp tầng thể hiện giá trị FCC thấp hơn.



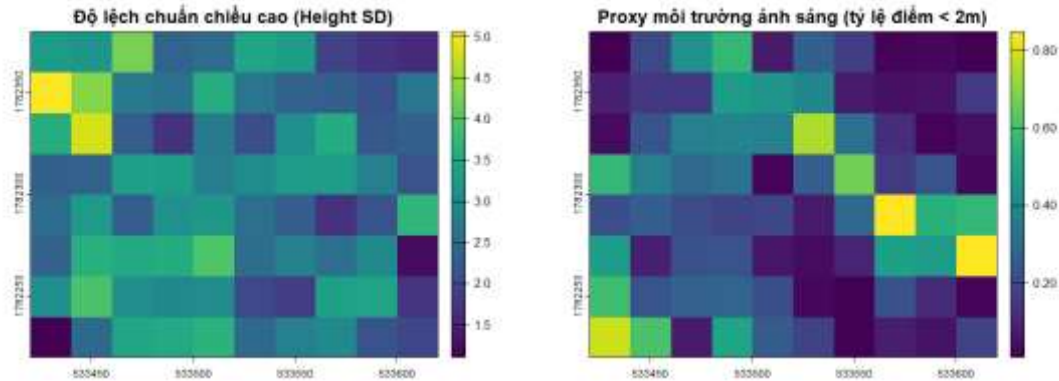
Hình 6. Độ che phủ tán lá khu vực nghiên cứu

Giá trị FCC cao phản ánh cấu trúc tán rừng khép kín, hạn chế ánh sáng xuyên xuống mặt đất, tạo môi trường ẩm mát và ổn định cho các loài ưa bóng râm phát triển. Ngược lại, vùng có FCC thấp thể hiện tán rừng mở, lượng ánh sáng xuyên qua nhiều hơn, thuận lợi cho quá trình tái sinh tự nhiên của các loài ưa sáng. Các chỉ số này đóng vai trò cơ bản trong việc mô hình hóa mối quan hệ giữa cấu trúc thẳng đứng và môi trường ánh sáng dưới tán trong giai đoạn phân tích tiếp theo.

### 2.3.1. Mô hình hóa môi trường ánh sáng và phân tích thống kê

#### Phương pháp mô hình hóa

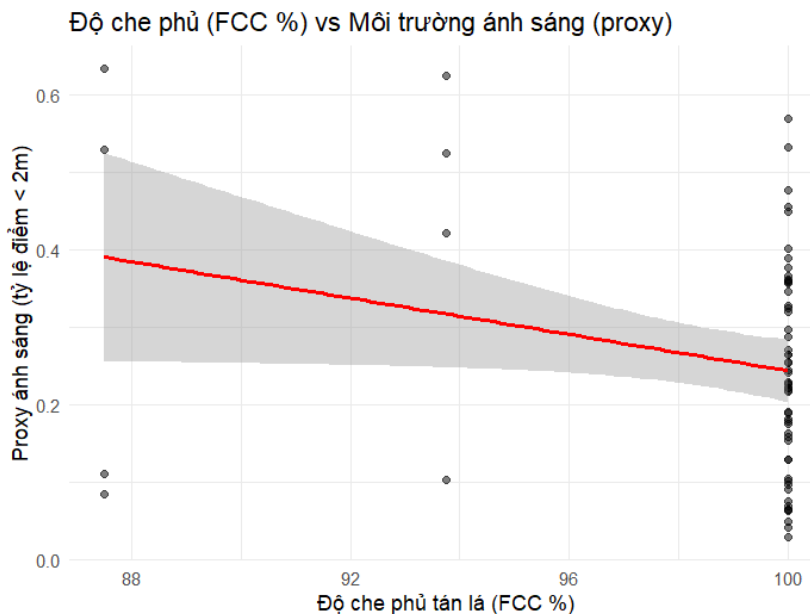
Môi trường ánh sáng dưới tán được mô hình hóa thông qua giá trị chỉ số đại diện ánh sáng dưới tán, được tính bằng tỷ lệ các điểm LiDAR có độ cao dưới 2 m trong mỗi ô lưới 1 m<sup>2</sup>, phản ánh mức độ bức xạ xuyên qua tán cây đến tầng thấp. Dữ liệu này được kết hợp với các chỉ số cấu trúc rừng để phân tích tương quan và hồi quy tuyến tính đa biến, làm rõ mối quan hệ giữa đặc điểm hình thái tán rừng và phân bố ánh sáng trong không gian.



Hình 7. Độ lệch chuẩn chiều cao tán cây và chỉ số ánh sáng dưới tán

#### Kết quả mô hình hóa

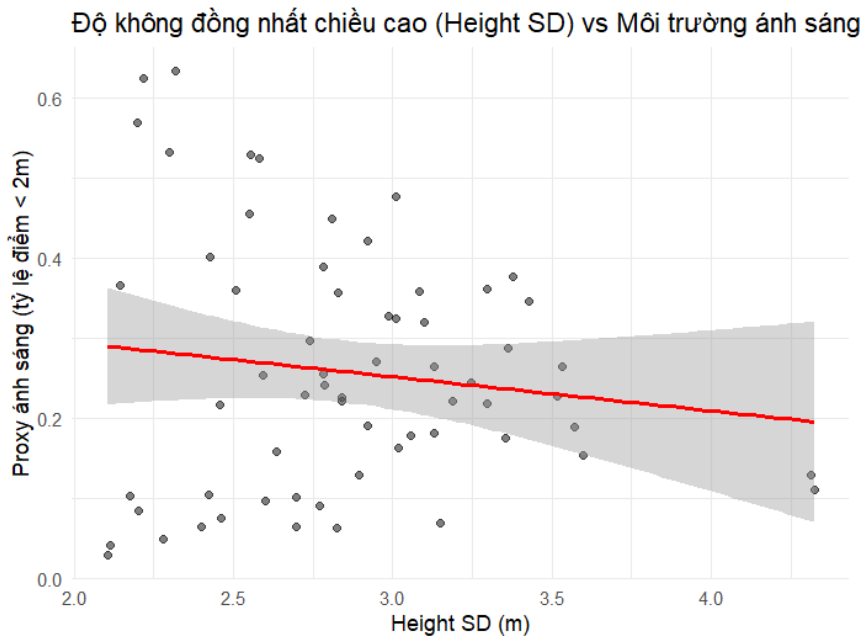
Độ lệch chuẩn chiều cao tán cây (Height SD) có giá trị lớn dao động từ 1,5 mét đến 5,0 mét, phản ánh sự không đồng nhất cao trong cấu trúc thẳng đứng, với nhiều tầng cây chồng lấn. Cấu trúc rừng đa tầng này được xác nhận qua khảo sát thực địa đó là tồn tại đồng thời tầng cây gỗ cao, cây trung bình, cây bụi và thảm cỏ dưới tán, tạo nên một cấu trúc rừng phức tạp và liên tục.



Hình 8. Mối quan hệ độ che phủ và môi trường ánh sáng dưới tán

Biểu đồ hồi quy tuyến tính cho thấy mối quan hệ nghịch giữa FCC và chỉ số đại diện ánh sáng dưới tán, thể hiện xu hướng ánh sáng giảm khi độ khép tán tăng. Các khu vực có FCC > 95% chỉ cho phép ánh sáng xuyên xuống tầng thấp với chỉ số khoảng 0,2–0,3, trong khi vùng có FCC 88–92% cho phép ánh sáng cao hơn, đạt 0,4–0,5. Bên cạnh đó, mối quan hệ giữa độ lệch chuẩn chiều cao tán cây và chỉ số đại diện ánh sáng dưới tán cũng thể hiện xu hướng độ lệch chuẩn chiều cao tán cây càng cao (tán rừng càng phức tạp), ánh sáng dưới tán càng bị hạn chế. Điều này cho thấy cấu trúc thẳng đứng của rừng đóng vai trò điều tiết chính cường độ và phân bố ánh sáng trong hệ sinh thái.

Các kết quả mô hình hóa khẳng định khả năng của dữ liệu UAV LiDAR trong việc phân ánh đồng thời cấu trúc hình thái và vi khí hậu ánh sáng. Việc tích hợp các chỉ số này giúp định lượng mối liên hệ giữa cấu trúc rừng 3D và điều kiện ánh sáng, qua đó cung cấp cơ sở khoa học cho đánh giá sinh thái, quản lý tái sinh và đề xuất phương án cải tạo và lựa chọn loài cây trồng phù hợp với vi khí hậu hiện hữu, hướng tới quản lý và phục hồi rừng bền vững dựa trên dữ liệu định lượng.



Hình 9. Mối quan hệ giữa độ lệch chuẩn chiều cao và môi trường ánh sáng dưới tán

### 2.3.2 Thảo luận

Độ chính xác của kết quả phân tích cấu trúc tán rừng phụ thuộc đáng kể vào chất lượng dữ liệu LiDAR, bao gồm mật độ điểm quét, cường độ phản xạ và khả năng xuyên thấu của xung laser trong môi trường tán rừng. Trong khu vực nghiên cứu, tại các vị trí có chiều cao cây đo thực địa từ 15–20 m, mô hình CHM thu được từ chênh lệch giữa điểm phản hồi đầu tiên và điểm phản hồi cuối chỉ dao động dưới 15 m, cho thấy có sự suy giảm độ xuyên thấu và thiếu phản hồi mặt đất tại các khu vực tán dày. Điều này dẫn đến độ cao địa hình trong mô hình DTM bị nâng cao so với thực tế, dẫn đến sai số ước lượng chiều cao cây dao động từ 1,5–3,2 m (tương đương 8–18% so với chiều cao thực tế), ảnh hưởng trực tiếp đến các chỉ số cấu trúc như CHM và độ che phủ tán FCC.

Như vậy, để đảm bảo độ chính xác mô hình hóa cấu trúc tán, cần duy trì mật độ điểm quét dao động từ 40–50 điểm/m<sup>2</sup>, đảm bảo phân tách lớp cây tầng dưới và phân tích cấu trúc cây tầng thấp >100 điểm/m<sup>2</sup> [9,10], đồng thời cần tối ưu thuật toán phân loại điểm mặt đất nhằm hạn chế sai số lan truyền từ DTM sang CHM và các chỉ số cấu trúc rừng liên quan.

#### 4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh khả năng ứng dụng hiệu quả của công nghệ UAV LiDAR trong đánh giá và mô hình hóa cấu trúc không gian ba chiều (3D) của rừng tại Khu bảo tồn thiên nhiên Sơn Trà - Đà Nẵng. Dữ liệu LiDAR với mật độ quét trung bình 40-50 điểm/m<sup>2</sup> cho phép phân biệt rõ các tầng tán và mặt đất, đồng thời trích xuất các chỉ số cấu trúc rừng với độ chính xác cao: mô hình chiều cao tán cây (CHM) sai số  $\pm 1,5-3,2$  m, mô hình độ che phủ tán lá (FCC) sai số  $< 5\%$ . Việc mô hình hóa ánh sáng dưới tán từ dữ liệu này phản ánh rõ xu hướng nghịch giữa độ che phủ tán và cường độ ánh sáng, cung cấp cơ sở định lượng để phân tích vi khí hậu và mối quan hệ giữa cấu trúc thẳng đứng và phân bố năng lượng ánh sáng trong hệ sinh thái.

Nghiên cứu cũng nhấn mạnh rằng độ chính xác của các mô hình phụ thuộc vào chất lượng quét, mật độ điểm và khả năng xuyên tán của xung laser. Trong các khu vực tán dày hoặc khi mật độ điểm thấp, số lượng phản hồi cuối từ mặt đất giảm, dẫn đến mô hình địa hình (DTM) bị nâng cao giả tạo và giảm độ chính xác của CHM. Khi mật độ điểm đủ cao ( $\geq 40$  điểm/m<sup>2</sup>) và phản xạ ổn định, các mô hình tán rừng và địa hình được tái tạo với sai số thấp, nâng cao độ tin cậy trong việc mô phỏng các chỉ số sinh thái và phân tích vi khí hậu.

Mặc dù kết quả đạt được khả quan, nghiên cứu hiện chỉ thực hiện tại một khu vực nhỏ của Khu bảo tồn Sơn Trà. Do đó, cần mở rộng phạm vi khảo sát và tăng số lượng mẫu thực địa để đánh giá cấu trúc rừng một cách toàn diện và hỗ trợ lập phương án quản lý, phục hồi rừng chính xác hơn. Việc kết hợp UAV LiDAR với dữ liệu vi khí hậu như nhiệt độ, độ ẩm và sinh trưởng thực vật mở ra hướng tiếp cận mới trong quản lý và phục hồi rừng dựa trên cơ sở sinh thái học, đồng thời hỗ trợ xác định loài cây phù hợp, đề xuất các phương án cải tạo và ổn định cấu trúc rừng, góp phần xây dựng hệ sinh thái bền vững và đa dạng sinh học lâu dài.

**Lời cảm ơn:** Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Xí nghiệp Chụp ảnh Hàng không đã cung cấp dữ liệu UAV LiDAR. Đồng thời, xin chân thành cảm ơn GS. TS Cameron Proctor (Đại học Windsor) đã hỗ trợ trong quá trình phân tích đánh giá kết quả xử lý dữ liệu.

**Cam kết của tác giả:** Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Helbach, J., Frey, J., Messier, C., Mörsdorf, M., & Scherer-Lorenzen, M. (2022). Light heterogeneity affects understory plant species richness in temperate forests supporting the heterogeneity–diversity hypothesis. *Ecology and Evolution*, 12(2), e8534.
- [2] McGaughey, R.J. FUSION/LDV: Software for LiDAR Data Analysis and Visualization; USDA Forest Service Pacific Northwest Research Station: Seattle, WA, USA, 2018.
- [3] Brüllhardt, M., Rotach, P., Schleppei, P., & Bugmann, H. (2020). Vertical light transmission profiles in structured mixed deciduous forest canopies assessed by UAV-based hemispherical photography and photogrammetric vegetation height models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 281, 107843.
- [4] Gao, T.; Gao, Z.; Sun, B.; Qin, P.; Li, Y.; Yan, Z. An Integrated Method for Estimating Forest-Canopy Closure Based on UAV LiDAR Data. *Remote Sens.* 2022, 14, 4317.
- [5] Moe, K.T.; Owari, T.; Furuya, N.; Hiroshima, T.; Morimoto, J. Application of UAV Photogrammetry with LiDAR Data to Facilitate the Estimation of Tree Locations and DBH Values for High-Value Timber Species in Northern Japanese Mixed-Wood Forests. *Remote Sens.* 2020, 12, 2865.
- [6] Wang, B., Proctor, C., Yao, Z., Li, N., Chen, Q., Liu, W., Ma, S., Jing, C., Zhou, Z., Liu, W., Ma, Y., Wang, Z., Zhang, Z., & Lin, L. (2024). FLApy: A Python package for evaluating the 3D light availability heterogeneity within forest communities. *Methods in Ecology and Evolution*, 15, 1540–1552.
- [7] Shi, Y.; Wang, T.; Skidmore, A.K.; Heurich, M. Improving LiDAR-based tree species mapping in Central European mixed forests using multi-temporal digital aerial colour-infrared photographs. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2020, 84, 101970.
- [8] Báo cáo Tổng kết kỹ thuật Sản phẩm bay quét UAV LiDAR, chụp ảnh số, xử lý dữ liệu khu vực Sơn Trà,



TP Đà Nẵng, Xí nghiệp Chụp ảnh Hàng không - Công ty TNHH MTV Trắc địa Bản đồ - Cục Tác chiến, năm 2025.

- [9] Zhou, M., Li, C. & Li, Z. Extraction of individual tree attributes using ultra-high-density point clouds acquired by low-cost UAV-LiDAR in Eucalyptus plantations. *Annals of Forest Science* 82, 20 (2025).
- [10] Watt, M.S.; Jayathunga, S.; Hartley, R.J.L.; Pearse, G.D.; Massam, P.D.; Cajés, D.; Steer, B.S.C.; Estarija, H.J.C. Use of a Consumer-Grade UAV Laser Scanner to Identify Trees and Estimate Key Tree Attributes across a Point Density Range. *Forests* 2024.

[Article © 2025 by Magazine of Geodesy - Cartography is licensed under CC BY 4.0](#)

